

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

N° :



DOMAINE : Science et technologie
FILIERE : Electromécanique
OPTION : maintenance des équipements industriels

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Présentés par: HADJI ATTAHIR

FANTAZI ABDELHAFID

Intitulé

**ETUDE ET ANALYSE DE LA MAINTENANCE
D'UN SYSTEME ELECTROMECHANIQUE**

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. DEFDAF MABROUK	Université M'sila	Président
Pr. GHEMARI ZINE	Université M'sila	Rapporteur
Dr. MABRAK SAMIR	Université M'sila	Examineur

Année universitaire : 2021 /2022

REMERCIEMENTS

Nous voulons exprimer par ces quelques lignes de remerciements notre gratitude envers tous ceux en qui par leur présence, leur soutien, leur disponibilité

et leurs conseils, nous avons eu courage d'accomplir ce projet.

Nous commençons par remercier Monsieur GHEMARI Zine qui nous a fait l'honneur d'être notre encadreur.

Nous le remercions profondément pour son encouragement continue et aussi d'être toujours là pour nous écouter, nous aider et nous guider à retrouver

Le bon chemin par sa sagesse et ses précieux conseils,

Ainsi que son soutien moral et sa preuve de compréhension, ce qui nous a donné

la force et le courage d'accomplir ce projet.

Nous tenons à remercier également toute l'équipe de la faculté de la technologie,

et plus particulièrement, le département d'électrique.

Nous tenons d'autre part à remercier les respectables membres du jury pour bien vouloir nous accorder de leur temps précieux pour commenter,

discuter et juger notre travail.

En fin, nous ne pouvons achever ce mémoire sans exprimer notre gratitude à tous les professeurs de département d'électrique, pour leur dévouement et leur assistance tout au long de nos études universitaires.

Table des matières

<i>REMERCIEMENTS</i>	2
Liste des tableaux.....	4
Liste des figures.....	4
Liste d'abréviation.....	5
Introduction Générale	1
Chapitre I : Maintenance industrielle et leurs types	3
I.1. Introduction :.....	3
I.2. Définition de la maintenance:.....	3
I.3. Objectifs de la maintenance:.....	3
I.4. Les types de maintenance :.....	5
I.5. Caractéristique des activités de maintenance.	10
I.6. Conclusion :.....	11
Chapitre II : les lois de calculs de la fiabilité, la maintenabilité et de la disponibilité	12
II.1. Introduction :.....	12
II.3. Conclusion :.....	26
Chapitre III : Présentation de la société ALGAL PLUS	27
III. Introduction :.....	27
III.1 Description de l'entreprise ALGAL PLUS.....	27
III.1.1 Présentation de la société ALGAL PLUS.....	27
III.1.2 Les activités de cette société :.....	29
III.1.3 Cartographies des processus ALGAL PLUS.....	29
III.1.4 Les unités d'entreprise.....	30
III.1.5 Les étapes de fabrication :.....	30
III.1.5.1 Unité de recyclage et valorisation.....	30
III.1.5.3 Le four d'homogénéisation :.....	32
III.1.5.4 La chambre de refroidissement :.....	32
III.1.5.5 Sciage et stockage des billettes.....	33
III.2. Evolution de la maintenance :.....	35
III.3. Conclusion:.....	36
Chapitre IV : Application de maintenance sur la pompe principale	37
IV.1. Introduction :.....	37
IV.2. Historique des pannes :.....	37
IV.3. Calcul des paramètres de Weibull.....	38
IV.4. Les paramètres de loi de WEIBULL :.....	44
IV.5. Étude du modèle de Weibull.....	46
Conclusion.....	60
Conclusion Générale :.....	65
Bibliographie :.....	66
ANNEX	

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Les paramètres de la sûreté de fonctionnement	12
Tableau IV.2. Historique de panne de la pompe principale de la société algal plus +	38
Tableau IV.3. Fonction de réparation réelle et théorique.....	41
Tableau IV.4 : les paramètres de la méthode de Wei bull	41
Tableau IV.5 : Fonction de réparation réelle et théorique.....	44
Tableau IV.9 Calcul du taux de défaillance.....	54
Tableau IV.10. Calculs de la maintenabilité.....	57
Tableau IV.11. de disponibilité instantanée	60

Liste des figures

Figure I.1 : schéma des objectifs de maintenance	4
Figure I.2 : Schémas type de maintenance	5
Figure I.3 : <i>Equilibre maintenance curative/préventive</i>	10
Figure II.4 : Taux de défaillance, Courbe en baignoire	14
Figure II. 5: <i>Principales propriétés de la distribution de Wei bull</i>	16
Figure II.6. <i>Représentation sur graphique à échelle fonctionnelle de la distribution de Weibull</i>	17
Figure II.7 : Redressement de la courbe par translation	18
Figure II.8 : Composants en série.....	19
Figure II.9 : Composants en parallèle.....	20
Figure II.10 : Effet de la maintenance sur la fiabilité.....	21
Figure II.12 : <i>probabilité de réparation au cours de temps</i>	22
Figure II.13: La Courbe ABC	24
Figure II.14 : La relation entre MUT, MTBF, et MTTR.....	25
Figure II.15 : Relation entre les paramètres FMD	25
Figure III.1 : Cartographie de la chaîne de valeurs ALGAL PLUS.	28
Figure III.2 : Cartographie des processus ALGAL PLUS.....	29
Figure III.3 : Représentation la situation du service de maintenance dans une entreprise.....	30
Figure III.4 : four de fusion	31
Figure III.5 : moules des billettes	32
Figure III.6 : four d'homogénéisation.....	32
Figure III.7 : chambre de refroidissement	32
Figure III.8 : Scie à billettes	33
Figure III.9 : Principe d'extrusion.....	33
Figure III.10 : Principe de l'anodisation.....	34
Figure III.11 : Principe de laquage.....	34
Figure IV.1: papier de Wei Bull. en logiciel minitab18	41
Figure IV.2 : Le courbe de fonction de répartition.....	50
Figure IV.3. Les courbes de la fonction de fiabilité	52
Figure IV. 4 . Les courbes du taux de défaillance	54
Figure IV.5. Les courbes de maintenabilité.....	57

Liste d'abréviation

MBF	Maintenance basé sur la fiabilité.
MTBF	La durée moyenne entre deux défaillances consécutives.
MTTR	Le temps moyen mis pour réparer le système.
$\lambda(t)$	Taux de défaillance.
TBF	Temps de bon fonctionnement entre deux défaillances.
f(t)	Densité de probabilité.
F(t)	La fonction de répartition.
R(t)	La fonction de fiabilité.
M(t)	Fonction maintenabilité.
D(t)	Fonction de disponibilité.
Di	Disponibilité intrinsèque.
B	paramètre de forme.
Γ	Paramètre de position.
MTBF	La durée moyenne entre deux défaillances consécutives.
Dn	La différence de test de Kolmogorov Smirnov.
$\mu(t)$	Taux de réparation.
a et b	nombre réel.
FMD	Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité.
Γ	Paramètre de position.
β	Paramètre de forme
η	Paramètre d'échelle
γ	Paramètre de position
μ	Taux de réparation

***Introduction
Générale***

Introduction Générale

La maintenance industrielle peut se définir comme le fait de maintenir ou de rétablir un équipement de production dans un état défini en amont afin que celui-ci soit en mesure d'assurer le service prévu. Lorsqu'une entreprise installe un système pour maintenir ses équipements de production, cela lui permet de prévenir un grand nombre de problèmes et de diminuer les pertes de productivité. [1]

Le mot Maintenance est apparu dans le vocabulaire industriel dans les années 1950, par contre les concepts de maintenance, tels que nous les connaissons aujourd'hui, remontent en fait à la plus haute antiquité, depuis le développement de l'homme des premières machines. Pour souligner l'importance de la maintenance dans le fonctionnement de l'entreprise, elle est nommée « Fonction maintenance ». Il s'agit même d'une fonction vitale puisque, sans maintenance, tout processus industriel cesse, généralement à court terme, de produire les biens ou les services pour lesquels il a été conçu. La fonction maintenance a été considérée pendant longtemps comme une activité secondaire à l'intérieur de l'entreprise, qui génère des dépenses non productives. Assimilée souvent à l'entretien qui consistait aux réparations subites et aux dépannages des outils de production. L'Association Française de la Normalisation AFNOR, définit la maintenance comme étant « L'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé » AFNOR X-60-010. Dans cette définition, l'aspect économique de la fonction maintenance n'apparaît pas, chose qui a été traitée dans le document d'introduction X 60-000 : « bien maintenir, c'est assurer ces opérations au coût global optimal ».

Dans le nouveau contexte industriel, les entreprises sont sujettes de grandes pressions de la part de leurs clients. Ces derniers sont de plus en plus exigeants, demandant des produits et des services de qualité, à moindre coût et dans les délais impartis. Pour cela, les entreprises doivent assurer au coût minimal, la disponibilité et la fiabilité de leurs outils de production, par une bonne gestion de maintenance bien choisie et adaptée. Ce n'est pas une tâche facile. Certes, les concepts de maintenance proposent des façons pour optimiser la performance globale de l'entreprise, mais cela nécessite des ressources humaines compétentes, des moyens matériels adaptés aux équipements à maintenir, des systèmes de gestion de pièces de rechange et d'informations adéquats. [2]

Dans notre travail, on étudiera et analysera la maintenance d'un système électromécanique pour évaluer leurs paramètres de la sûreté de fonctionnement. Pour atteindre cet objectif, le mémoire est structuré en quatre chapitres résumés comme suit :

- Le premier chapitre présentera les notions de base sur la maintenance : définitions et classification de leurs types.
- Le deuxième chapitre exposera les lois de calculs de la fiabilité, la disponibilité et la maintenabilité
- Le troisième chapitre est consacré à la présentation de l'entreprise ALGAL+ dans la wilaya de M'sila, qu'on va faire notre stage pratique.
- Le quatrième chapitre est notre partie spéciale dans ce mémoire, on appliquera les différentes lois de la maintenance au système électromécanique choisi

Introduction générale :.....

- A la fin, une conclusion exposera tous ce qu'on va faire dans ce mémoire, et elle montra l'intérêt des résultats qu'on va obtenir.

Chapitre I

Maintenance industrielle et leurs types

Chapitre I :Maintenance industrielle et leurs types

Chapitre I : Maintenance industrielle et leurs types

I.1. Introduction :

Le maintien des équipements de production est un enjeu clé pour la productivité des usines aussi bien que pour la qualité des produits. C'est un défi industriel impliquant la remise en cause des structures figées actuelles et la promotion de méthodes adaptées à la nature nouvelle des matériels.

I.2. Définition de la maintenance:

D'après l'AFNOR (NF X 60-010), la maintenance est définie comme un ensemble des actions permettant de *maintenir* ou de *rétablir* un bien dans *un état spécifié* ou en mesure d'assurer *un service déterminé*. Bien maintenir, c'est assurer ces opérations au coût optimal.
Commentaires:

-Maintenir : contient la notion de «prévention» sur un système en fonctionnement.

-Rétablir : contient la notion de «correction» consécutive à une perte de fonction.

-État spécifié ou service déterminé : implique la prédétermination d'objectif à atteindre, avec quantification des niveaux caractéristiques.

-Coût optimal : qui conditionne l'ensemble des opérations dans un souci d'efficacité [7].

I.3. Objectifs de la maintenance:

La maintenance a les objectifs suivants (voir figure (I.1)) :

- Assurer la qualité et la quantité des produits fabriqués, tout en respectant les délais.
- Optimiser les actions de maintenance (exemple : réduire la fréquence des pannes)
- Contribuer à la création et au maintien de la sécurité au travail.
- Consolider la compétitivité de l'entreprise (exemple: améliorer la productivité).

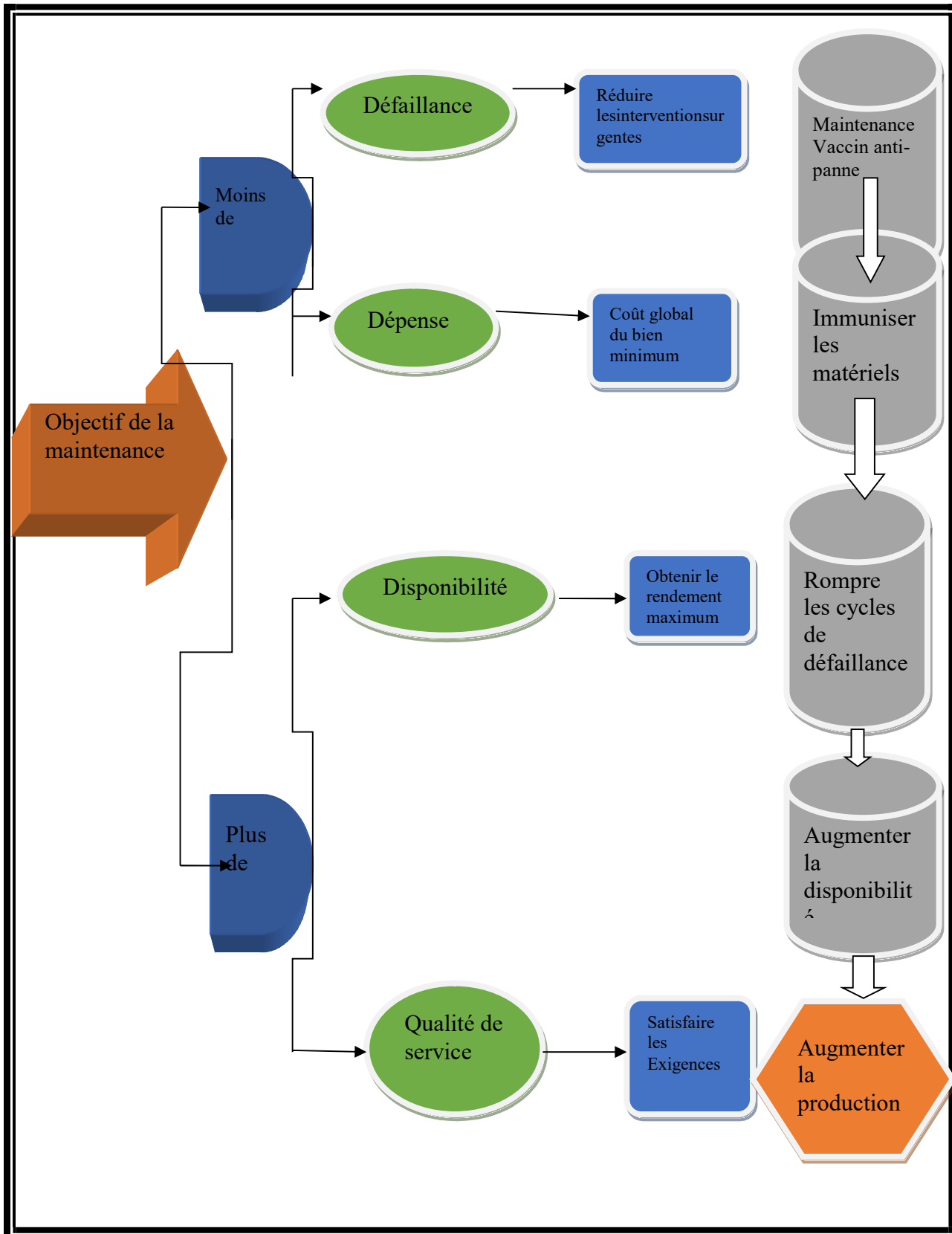


Figure I.1 : schéma des objectifs de maintenance

I.4. Les types de maintenance :

Généralement, il y a deux méthodes de maintenance :

- La maintenance corrective et la maintenance préventive. La maintenance corrective est celle que le système subit lorsque la panne est déjà présente et qu'il faut réparer.
- La maintenance préventive est celle qui permet d'anticiper et de prévenir les défaillances. [6]

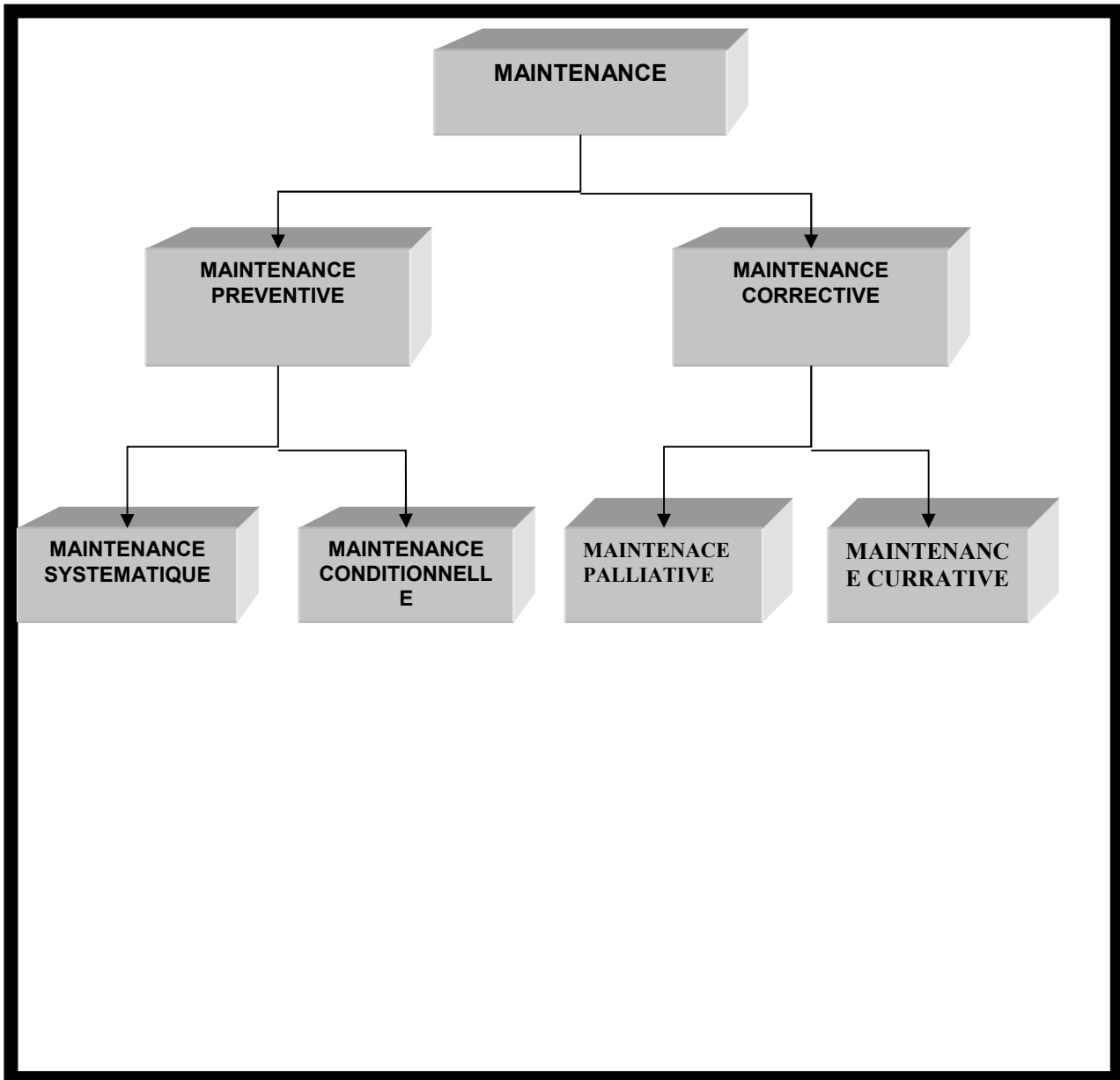


Figure I.2 : Schémas type de maintenance

I.4.1. La maintenance corrective :

Définition AFNOR (norme X 60-010) : «Opération de maintenance effectuée après défaillance ».

La maintenance corrective correspond à une attitude de défense (**subir**) dans l'attente d'une défaillance fortuite, attitude caractéristique de l'entretien traditionnel.

Chapitre I :.....Maintenance industrielle et leurs types

I.4.2. Opérations de la maintenance corrective :

Après apparition d'une défaillance, le maintenance doit mettre en œuvre un certain nombre d'opérations dont les définitions sont données ci-dessous.

Ces opérations s'effectuent par étapes (dans l'ordre) :

- test : c'est à dire la comparaison des mesures avec une référence.
- détection ou action de déceler l'apparition d'une défaillance.
- Localisation ou action conduisant à rechercher précisément les éléments par lesquels la défaillance se manifeste.
- diagnostic ou identification et analyse des causes de la défaillance.
- dépannage, réparation ou remise en état (avec ou sans modification).
- contrôle du bon fonctionnement après intervention.
- amélioration éventuelle : c'est à dire éviter la réapparition de la panne.
- Historique ou mise en mémoire de l'intervention pour une exploitation ultérieure.

Les actions de maintenance corrective étant très diverses, il est toujours difficile de prévoir la durée d'intervention :

- Elle peut être faible (de quelques secondes pour réarmer un disjoncteur ou changer un fusible à quelques minutes pour changer un joint qui fuit).
- Elle peut être très importante (de 0,5 à plusieurs heures) dans le cas du changement de plusieurs organes simultanément (moteur noyé par une inondation).
- Elle peut être majeure en cas de mort d'homme (plusieurs jours si enquête de police).[7]

I.4.3. Différents types de maintenance corrective :

I.4.3.1. La maintenance palliative :

« Activité de maintenance corrective destinées à permettre de bien d'accomplir provisoirement tout ou une partie d'une fonction requise.

Appelée couramment dépannage, cette maintenance palliative est principalement constituée d'action à caractère provisoire qui devront être suivies d'action curative »

I.4.3.2. La maintenance curative:

C'est une activité ayant pour objet de rétablir un bien dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Le résultat des activités réalisées doit présenter un caractère permanent. Ces activités peuvent être des réparations, des modifications ou aménagement ayant pour objet de supprimer la ou les défaillances. .

La maintenance optimale est donc un mélange harmonieux d'entretien préventif systématique et d'entretien correctif. [5]

Chapitre I :.....Maintenance industrielle et leurs types

I.4.4.Maintenance préventive :

D'après l'Afnor (FD X 60-000), « la *maintenance* est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise ».

Dans une entreprise, *maintenir*, c'est donc effectuer des opérations (dépannage, réparation, graissage, contrôle, etc.) qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la production avec efficacité et qualité. [7]

I.4.5. Objectifs de la maintenance préventive :

➤ Améliorer la fiabilité du matériel:

La mise en œuvre de la maintenance préventive nécessite les analyses techniques du comportement du matériel. Cela permet à la fois de pratiquer une maintenance préventive optimale et de supprimer complètement certaines défaillances.

➤ Garantir la qualité des produits :

La surveillance quotidienne est pratiquée pour détecter les symptômes de défaillance et veiller à ce que les paramètres de réglage et de fonctionnement soient respectés. Le contrôle des jeux et de la géométrie de la machine permet d'éviter les aléas de fonctionnement. La qualité des produits est ainsi assurée avec l'absence des rebuts.

➤ Améliorer l'ordonnancement des travaux:

La planification des interventions de la maintenance préventive, correspondant au planning d'arrêt machine, devra être validée par la production. Cela implique la collaboration de ce service, ce qui facilite la tâche de la maintenance.

Les techniciens de maintenance sont souvent mécontents lorsque le responsable de fabrication ne permet pas l'arrêt de l'installation alors qu'il a reçu un bon de travail pour l'intervention. Une bonne coordination prévoit un arrêt selon un planning défini à l'avance et prend en compte les impossibilités en fonction des impératifs de production.

➤ Assurer la sécurité humaine:

La préparation des interventions de maintenance préventive ne consiste pas seulement à respecter le planning. Elle doit tenir compte des critères de sécurité pour éviter les imprévus dangereux.

Par ailleurs le programme de maintenance doit aussi tenir compte des visites réglementaires.

➤ Améliorer la gestion des stocks:

La maintenance préventive est planifiable. Elle maîtrise les échéances de remplacement des organes ou pièces, ce qui facilite la tâche de gestion des stocks.

Chapitre I :.....Maintenance industrielle et leurs types

On pourra aussi éviter de mettre en stock certaines pièces et ne les commander que le moment venu.

➤ **Améliorer le climat de relation humaine**

Une panne imprévue est souvent génératrice de tension. Le dépannage doit être rapide pour éviter la perte de production. Certains problèmes, comme par exemple le manque de pièces de rechange, entraîne l'immobilisation de la machine pendant longtemps. La tension peut monter entre la maintenance et la production.

En résumé, il faudra examiner les différents services rendus pour apprécier les enjeux de la maintenance préventive :

- La sécurité : diminution des avaries en service ayant pour conséquence des catastrophes ;
- La fiabilité : amélioration, connaissance des matériels ;
- La production : moins de pannes en production. [4]

Différents types de maintenance préventive

I.4.5. La maintenance préventive systématique :

C'est la Maintenance préventive effectuée selon un échancier établi selon le temps ou le nombre d'unités d'usage. Même si le temps est l'unité la plus répandue, d'autres unités peuvent être retenues telles que : la quantité, la longueur et la masse des produits fabriqués, la distance parcourue, le nombre de cycles effectués, etc.

Cette périodicité d'intervention est déterminée à partir de la mise en service ou après une révision complète ou partielle.

Cette méthode nécessite de connaître :

- Le comportement du matériel.
- Les modes de dégradation.
- Le temps moyen de bon fonctionnement entre 2 avaries.

Cas d'application :

- Equipements soumis à une législation en vigueur (sécurité réglementée): appareils de levage, extincteurs, réservoirs sous pression, convoyeurs, ascenseurs, monte-charge, etc.....
- Equipements dont la panne risque de provoquer des accidents graves : tout matériel assurant le transport en commun des personnes, avions, trains, etc.....
- Equipement ayant un coût de défaillance élevé : éléments d'une chaîne de production automatisée, processus fonctionnant en continu (industries chimiques ou métallurgiques).
- Equipements dont les dépenses de fonctionnement deviennent anormalement élevées au cours de leur temps de service : consommation excessive d'énergie, éclairage par lampes usagées, allumage et carburation déréglés (moteurs thermiques), etc.....

Chapitre I :.....Maintenance industrielle et leurs types

I.5.6. La maintenance préventive conditionnelle :

On l'appelle aussi maintenance prédictive (terme non normalisé). C'est la maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé (auto diagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure, etc....).

La maintenance conditionnelle est donc une maintenance dépendante de l'expérience et faisant intervenir des informations recueillies en temps réel. Elle se caractérise par la mise en évidence des points faibles.

Suivant le cas, il est souhaitable de les mettre sous surveillance et, à partir de là, de décider d'une intervention lorsqu'un certain seuil est atteint. Mais les contrôles demeurent systématiques et font partie des moyens de contrôle non destructifs.

Tout le matériel est concerné ; cette maintenance préventive conditionnelle se fait par des mesures pertinentes sur le matériel en fonctionnement.

Les paramètres mesurés peuvent porter sur :

- Le niveau et la qualité de l'huile.
- Les températures et les pressions.
- La tension et l'intensité du matériel électrique.
- Les vibrations et les jeux mécaniques.
- Le matériel nécessaire pour assurer la maintenance préventive conditionnelle devra être fiable pour ne pas perdre sa raison d'être. Il est souvent onéreux, mais pour des cas bien choisis, il est rentabilisé rapidement. [7]

I.4.7. Opérations de la maintenance préventive :

Ces opérations trouvent leurs définitions dans la norme NF X 60-010 et NF EN 13306.

- **Inspection** : contrôle de conformité réalisé en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques significatives d'un bien ; elle permet de relever des anomalies et d'exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique, ni d'arrêt de la production ou des équipements (pas de démontage).
- **Contrôle** : vérification de la conformité à des données préétablies, suivie d'un jugement.

Ce contrôle peut déboucher sur une action de maintenance corrective ou alors inclure une décision de refus, d'acceptation ou d'ajournement.

- **Visite** : examen détaillé et prédéterminé de tout (visite générale) ou partie (visite limitée) des différents éléments du bien et pouvant impliquer des opérations de maintenance du premier et du deuxième niveau ; il peut également déboucher sur la maintenance corrective.

Chapitre I :.....Maintenance industrielle et leurs types

- **Test** : comparaison des réponses d'un système par rapport à un système de référence ou à un phénomène physique significatif d'une marche correcte.
- **Echange standard** : remplacement d'une pièce ou d'un sous-ensemble défectueux par pièce identique, neuve ou remise en état préalablement, conformément aux prescriptions du constructeur.
- **Révision** : ensemble complet d'examens et d'actions réalisées afin de maintenir le niveau de disponibilité et de sécurité d'un bien.

Une révision est souvent conduite à des intervalles prescrits du temps ou après un nombre déterminé d'opérations. Une révision demande un démontage total ou partiel du bien. Le terme révision ne doit donc pas être confondu avec surveillance. Une révision est une action de maintenance de niveau 4.

Les trois premières opérations sont encore appelées « **opérations de surveillance** ».

Elles caractérisent parfaitement la phase d'apprentissage et sont absolument nécessaires si on veut maîtriser l'évolution de l'état réel d'un bien. On accepte donc de payer pour savoir puis pour prévenir. Elles sont effectuées de manière continue ou à intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou sur le nombre d'unités d'usage. [7]

I.5. Caractéristique des activités de maintenance.

Dans le milieu industriel, en général, une maintenance mixte est appliquée aux systèmes. En effet, la maintenance préventive est destinée à réduire la probabilité de défaillance, mais il subsiste une part de maintenance corrective incompressible. Il est donc nécessaire de considérer des stratégies qui combinent les deux : maintenance corrective et maintenance préventive.

De plus l'optimisation de la maintenance consiste à trouver la balance optimale entre maintenance préventive et corrective tout en respectant les objectifs fixés. L'entreprise doit rechercher un compromis afin d'optimiser les relations entre les coûts de maintenance liés à l'investissement humain et matériel, et les pertes consécutives aux arrêts de la production.

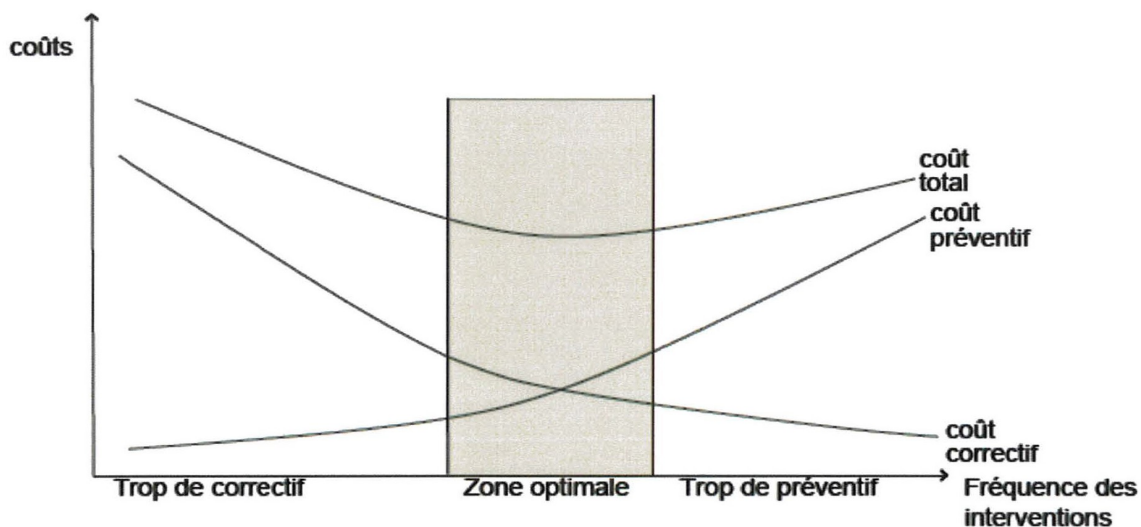


Figure I.3 : *Equilibre maintenance curative/préventive*

Chapitre I :.....Maintenance industrielle et leurs types

La figure illustre les effets de la fréquence des opérations de maintenance sur les coûts liés soit à la maintenance corrective, soit à la maintenance préventive. L'augmentation du nombre d'interventions sur le système permet de réduire les effets indésirables engendrés par une panne mais pénalise le fonctionnement du système. Il peut donc entraîner une augmentation du coût global d'exploitation du système dans la mesure où chaque opération de maintenance engendre un coût.

I.6. Conclusion :

La maintenance est une fonction essentielle de l'entreprise ; ses objectifs vont au-delà de remettre en état l'outil de travail, mais surtout d'anticiper des événements qui interviennent dans un environnement d'incertitudes, et de contribuer à la performance globale du système de production.

Dans ce chapitre, nous avons définis la maintenance, vu leurs méthodes (corrective et préventive) et cité leurs objectifs. Dans le prochain chapitre, on va voir les outils de maintenance préventive et les paramètres de la sureté de fonctionnement.

Chapitre II

Les lois de calculs de la fiabilité, la maintenabilité et de la disponibilité

Chapitre II : Les lois de calculs de la fiabilité, la maintenabilité et de la disponibilité

Chapitre II : les lois de calculs de la fiabilité, la maintenabilité et de la disponibilité

II.1. Introduction :

Dans sa définition originelle La maintenance et la sûreté de fonctionnement, le terme "sûreté de fonctionnement" représente "l'ensemble des aptitudes d'un produit qui lui permettent de disposer des performances fonctionnelles spécifiées, au moment voulu, pendant la durée prévue, sans dommage pour lui-même et son environnement". La sûreté de fonctionnement couvre ainsi les quatre notions que sont la fiabilité, la sécurité, la maintenabilité et la disponibilité, auxquelles on peut ajouter, selon les applications, la serviabilité et l'invulnérabilité.

La sûreté dans son ensemble doit être étudiée d'un bout à l'autre de la conception du système. Elle se fera par:

- le choix des composants de la partie opérative : puissance et distribution d'énergie
- L'implantation des composants
- Le choix de la partie commande et de son câblage
- Les procédures de fonctionnement [12]

Sûreté de fonctionnement : aptitude assurer de service spécifique		
Fiabilité : Aptitude à ne pas présenter De défaillance Dans de durée déterminer	Maintenabilité : Aptitude à être Remise en service dans une durée donnée	Disponibilité : Aptitude à être en état de marche à instant donnée Ou pendant intervalle donnée

Tableau 0.1 : Les paramètres de la sûreté de fonctionnement

II.2. Etude de FMD :

II.2.1. La fiabilité :

La fiabilité est l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, dans des conditions et pour une durée donnée. Cette définition peut être formulée différemment :

la fiabilité d'une entité est la probabilité moyenne de non défaillance de cette entité sur un intervalle de temps donné. Les paramètres importants de la fiabilité sont donc les conditions d'utilisation du système, le temps ou le nombre de cycles.

La fiabilité d'un dispositif dépend aussi de la fonction remplie par ce dispositif.

Chapitre II : Les lois de calculs de la fiabilité, la maintenabilité et de la disponibilité

II.2.1.1. Les différents types de fiabilité:

- **Fiabilité intrinsèque** : elle est propre à un matériel et à un environnement donné et ne dépend que de ce matériel.
- **Fiabilité extrinsèque** : elle résulte des conditions d'exploitation, de la qualité de la maintenance, d'une manière générale d'événement relatif à l'intervention humaine.
- **Fiabilité implicite**: basée sur l'expérience et dont le but est de réduire la fréquence et la durée des arrêts.
- **Fiabilité explicite**: dont le concept est formé mathématiquement, elle permet de déterminer rigoureusement le degré de confiance dans le matériel.

II.2.1.2. Paramètres nécessaires alla mesure de fiabilité :

II.2.1.2.1. 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.

II.2.1.2.2. Densité de probabilité :

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

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

II.2.1.2.3. La fonction de répartition :

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

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (\text{II— 2})$$

II.2.1.2.4 . 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).

La probabilité d'avoir au moins une défaillance avant le temps (t), qui représente la probabilité cumulative des défaillances, est appelé : « probabilité de défaillance »

Chapitre II : Les lois de calculs de la fiabilité, la maintenabilité et de la disponibilité

II.2.1.2.5. 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 :

$$\lambda(t) \cdot dt = \frac{F(t+dt)}{R(t)} = \frac{dF(t)}{1-F(t)} = \lambda(t) = \beta \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (\text{II-3})$$

Avec : $\lambda(t)$ taux de défaillance de la pièce d'âge t . [13]

On a donc :

$$\lambda(t) = \frac{F(t)}{R(t)} \quad (\text{II-4})$$

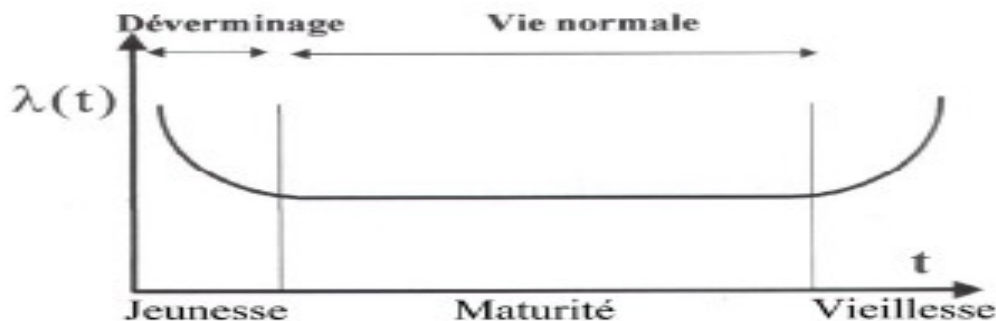


Figure 0.4 : Taux de défaillance, Courbe en baignoire

La vie d'un composant peut donc être divisée en trois périodes : - période de jeunesse, défaillances précoces - période de vie utile, taux de défaillance sensiblement constant - période de vieillesse, défaillances d'usure.

- **Lors de la période de jeunesse**, le taux de défaillance diminue : la probabilité de panne d'un composant décroît avec le temps, les défaillances sont dues à des problèmes de qualité (mise en place des procédés et déverminage).
- **La période de vie utile** est représentée par un taux de défaillance constant : la probabilité d'une panne est indépendante du nombre d'heures de fonctionnement de l'équipement (pannes aléatoires). Cette période, souvent inexistante pour la mécanique, est celle de référence pour l'électronique.
- **Lors de la période de vieillesse**, la probabilité de panne augmente avec le nombre d'heures de fonctionnement : plus l'équipement est vieux, plus il est probable d'avoir une défaillance. Ce type de comportement est caractéristique des systèmes soumis à usure ou autres détériorations progressives qui correspondent à des taux de défaillance croissants. La fiabilité se limite généralement à l'étude des phases 2 et 3, on exclut les problèmes de qualité en ne tenant pas compte du déverminage qui a lieu lors de la première phase. [12]

Chapitre II : Les lois de calculs de la fiabilité, la maintenabilité et de la disponibilité

II.2.1.2.6. La MTBF :

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

est :

$$MTBF = \frac{\Sigma \text{Nombre de bon fonction}}{\text{Nombre de interval de temps bon fonction}} \quad (\text{II} - 5)$$

$$[17] \quad MTBF = \int_0^t R(t) dt$$

II.2.1.3. 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 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 :

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

Fonction de répartition :

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II} - 8)$$

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II} - 9)$$

Loi de fiabilité:

Taux de défaillance :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-F(t)} = \frac{\frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}}{e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}} \Rightarrow \lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (\text{II} - 10)$$

Remarque si :

$$\begin{cases} \gamma=0 \\ B=1 \end{cases} \Rightarrow \lambda(t) = \frac{1}{\eta} = \frac{1}{MTBF} \quad (\text{II} - 11)$$

$$a = \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \text{ et de } b = \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)} \quad (\text{II} - 12)$$

Chapitre II : Les lois de calculs de la fiabilité, la maintenabilité et de la disponibilité

Moyenne des temps de bon fonctionnement : $MTBF = \gamma + \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$ (II— 13)

En fonction de β ; d'où $MTBF = \gamma + a \eta$

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

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II— 15})$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II— 16})$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II— 17})$$

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (\text{II— 18})$$

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 illustrées sur la (Figure II-3)

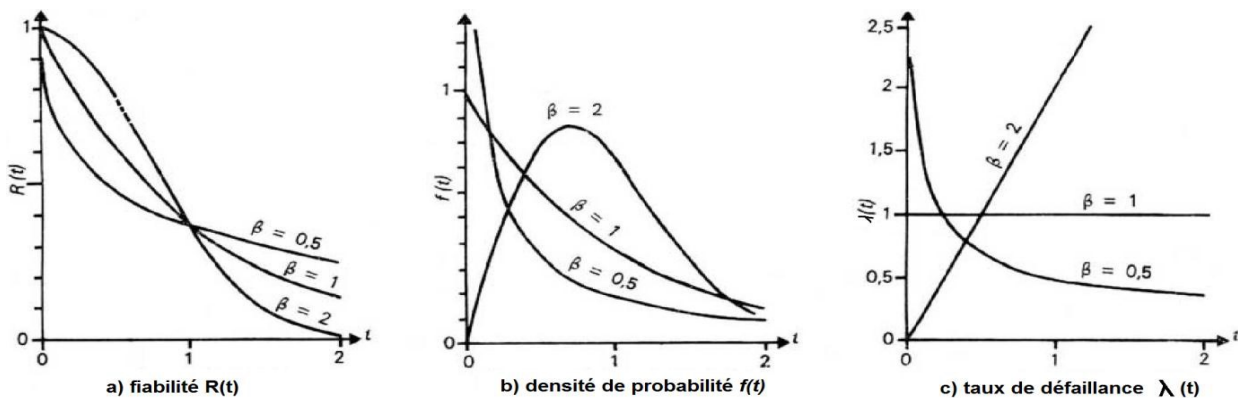


Figure II. 5: Principales propriétés de la distribution de Weibull

II.2.1.3.1. Application à la fiabilité

Suivant les valeurs de β , le taux de défaillance est

Soit décroissant ($\beta < 1$),

Soit constant ($\beta = 1$),

Soit croissant ($\beta > 1$).

Chapitre II : Les lois de calculs de la fiabilité, la maintenabilité et de la disponibilité

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 .

II.2.1.3.2. Estimation des paramètres de la loi de Weibull

Un des problèmes essentiels 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:

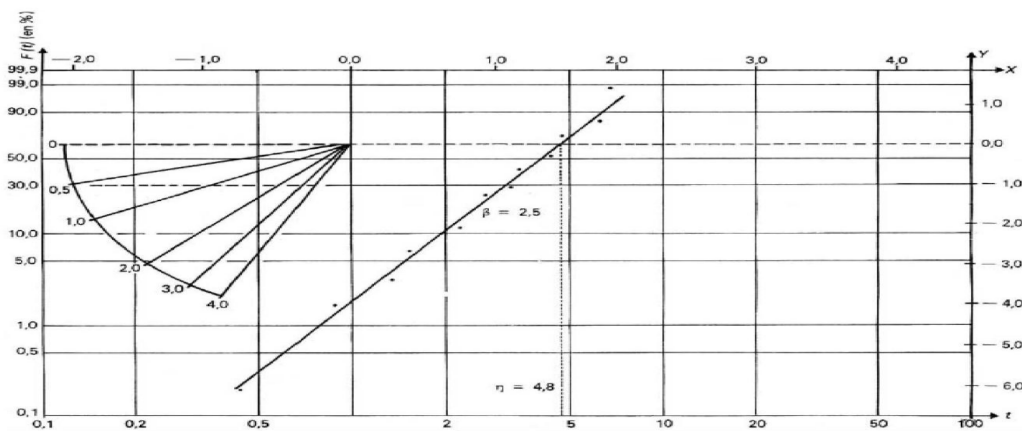


Figure 0.6. Représentation sur graphique à échelle fonctionnelle de la distribution de Weibull

- 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 bêta (Y = bêta X)
- (Sur Figure II-11)

L'historique permet de déterminer des Temps de bon fonctionnement et des fréquences cumulées de défaillance $F(i)$, approximation de $F(t)$.

II.2.1.3.3. 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 :

Chapitre II : Les lois de calculs de la fiabilité, la maintenabilité et de la disponibilité

$$F(i) = \frac{Ni}{N} = \sum \frac{Ri}{N} \approx F(t) \quad (\text{II-19})$$

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

$$F(i) = \frac{Ni}{N+1} \approx F(t) \quad (\text{II-20})$$

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

$$F(i) = \frac{Ni - 0.3}{N + 0.4} \approx F(t) \quad (\text{II-21})$$

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.

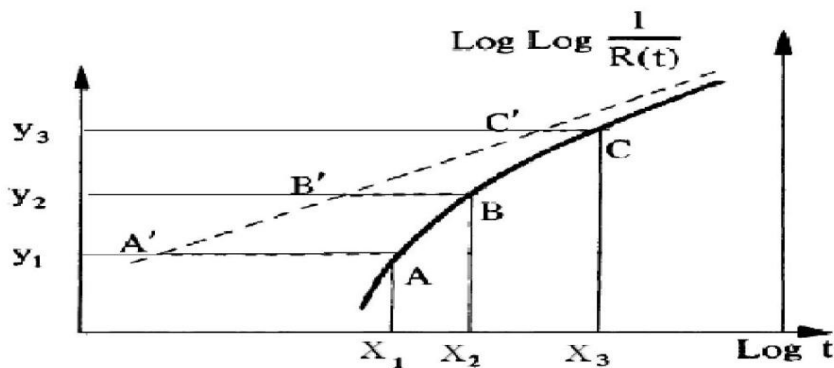


Figure 0.7 : Redressement de la courbe par translation

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

$$\gamma = \frac{X_3 * X_1 - X_2^2}{X_3 + X_1 - 2X_2} \quad (\text{II-22})$$

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

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_3 > Y_2 > Y_1 \\ 2Y_2 = Y_1 + Y_3 \end{array} \right.$$

En arrangeant on obtient

$$\gamma = \frac{(X_3 - X_2) * (X_2 - X_1)}{(X_3 - X_2) - (X_2 - X_1)} \quad (\text{II-23})$$

Chapitre II : Les lois de calculs de la fiabilité, la maintenabilité et de la disponibilité

➤ Recherche de η :

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

➤ Recherche de β :

□□ β 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 Ensuite β sur l'axe B. [15]

II.2.1.4. Fiabilité d'un système

La détermination de la fiabilité d'un système électronique, mécanique ou autre nécessite tout d'abord de connaître la loi de la fiabilité (ou la loi de défaillance) de chacun des composants intervenant dans le système.

Ceci est simple pour certains types de systèmes tels que les systèmes électroniques, or ce n'est pas le cas pour des systèmes mécaniques à cause de la complexité de la structure du système étudié. Les systèmes mécaniques sont des ensembles d'éléments technologiques liés par des relations statiques et dynamiques assez complexes.

Pour un système électronique chaque composant a un poids important dans la fiabilité du système, la fiabilité du système est donc calculée en fonction de la fiabilité de tous ses composants. Les calculs sont effectués sous l'hypothèse que les taux de défaillance sont constants dans le temps, une hypothèse acceptable pour la plupart des composants, ce qui rend les calculs beaucoup plus simples. La détermination des taux de défaillance des composants est effectuée soit à partir des modèles développés dans des bases de données disponibles, soit à partir d'essais effectués sur les composants ou bien à partir des résultats d'exploitation des produits.

La fiabilité d'un système mécanique, contrairement à l'électronique, repose sur la fiabilité de quelques composants élémentaires responsables de son dysfonctionnement, dits composants "responsables" ou "critiques" (parfois un seul).

II.2.1.4.1. Fiabilité de système constitué de plusieurs composants

➤ En série

La fiabilité R_s d'un ensemble de n constituants connectés en série est égale au produit des fiabilités respectives R_A, R_B, R_C, R_n de chaque composant.

$$R_s = R_A * R_B * R_C * \dots * R_n$$

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



Figure II.8 : Composants en série.

Chapitre II : Les lois de calculs de la fiabilité, la maintenabilité et de la disponibilité

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

$$R(t) = (e^{-\int_0^t \lambda(t) dt})(e^{-\int_0^t \lambda(t) dt})(e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}) \quad (\text{II—24})$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda A + \lambda B + \lambda C + \dots + \lambda n} \quad (\text{II—25})$$

Si en plus, les composants sont identiques : $\lambda A = \lambda B = \lambda C = \dots = \lambda n$

$$R(t) = (e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}) \quad \text{et} \quad \lambda = \frac{1}{n * MTBF} \quad (\text{II—26})$$

➤ En parallèle

La fiabilité d'un système peut être augmentée en plaçant les composants en parallèle. Un dispositif constitué de **n** composants en parallèle ne peut tomber en panne que si les **n** composants tombent en panne au même moment.

Si **Fi** est la probabilité de panne d'un composant, la fiabilité associée **Ri** est son complémentaire :

$$F_i = 1 - R_i \quad (\text{II—17})$$

Fi représentant la fiabilité associée.

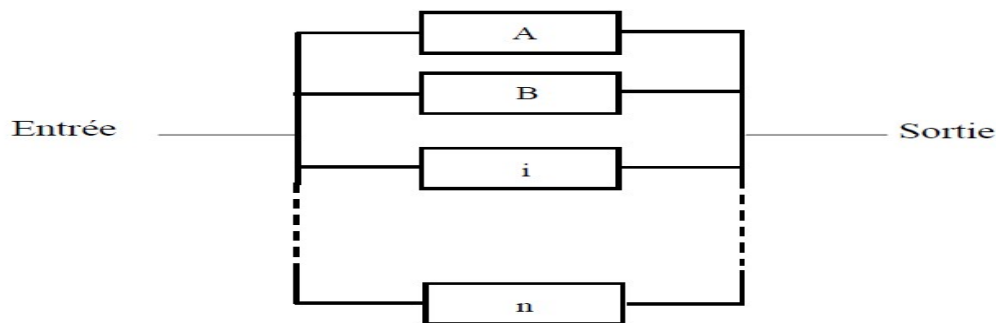


Figure II.9 : Composants en parallèle.

Soit les "n" composants de la figure ci-dessous montés en parallèle. Si la probabilité de panne pour chaque composant repéré (i) est notée **Fi** alors:

$$R(s) = 1 - (1 - R)^n$$

Le cas particulier de deux dispositifs en parallèle si λ est constant **RS** est obtenu par :

$$R(s) = 1 - (1 - R_A)(1 - R_B)$$

II.2.1.5. Rôle de La maintenance préventive constituée

On examine les effets de la maintenance préventive sur la fiabilité d'un système ou un composant.

Chapitre II : Les lois de calculs de la fiabilité, la maintenabilité et de la disponibilité

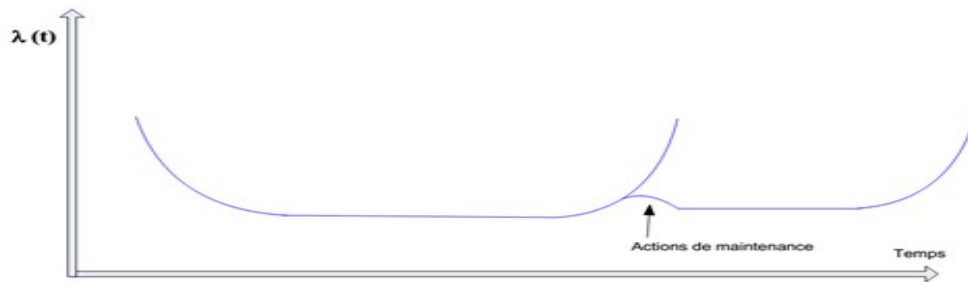


Figure II.10 : Effet de la maintenance sur la fiabilité

La prolongation de la durée de vie d'un matériel ne peut se faire que par des actions de maintenance. Figure 0:11 schématise ces actions.

La maintenance peut:

1. diminuer la fiabilité (erreur humaines dues à l'intervention)
2. N'avoir aucun effet (aucun mécanisme de vieillissement, aucun phénomène d'usure)
3. Améliorer la fiabilité (présence de mécanisme de vieillissement, de phénomène d'usure) [17]

II.2.1.6. La maintenabilité :

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 ».

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 :

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{N} \quad (II-28)$$

II.2.1.6.1. Taux de réparation μ :

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (II-29)$$

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.

Il s'y ajoute le temps de réparation proprement dit (Figure II-17) donne l'allure de la probabilité de réparation d'un composant tombé en panne en $t=0$.

Chapitre II : Les lois de calculs de la fiabilité, la maintenabilité et de la disponibilité

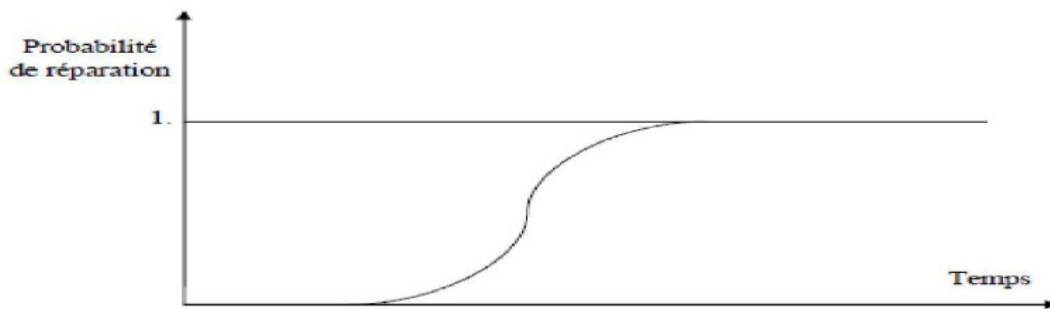


Figure II.12 : *probabilité de réparation au cours de temps*

II.2.1.6.2. Amélioration de la maintenabilité :

L'amélioration de la maintenabilité passe par :

- Le développement des documents d'aide à l'intervention,
- L'aptitude de la machine au démontage (modification, risquant de coûter chère).
- L'accessibilité.
- L'interchangeabilité et la standardisation.
- La facilité de remplacement.
- L'aide au diagnostic.

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

Le maintenicien doit améliorer la maintenabilité par les actions suivantes:

- 1- disponibilité de la documentation tenue à jour du matériel.
- 2- utilisation des systèmes d'aide au diagnostic
- 3- utilisation des capteurs intégrés pour la localisation de la panne
- 4- disponibilité des accessoires outillages

II.2.1.7. La disponibilité :

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,

Chapitre II : Les lois de calculs de la fiabilité, la maintenabilité et de la disponibilité

- Être rapidement remis en état s'il est défaillant.

La disponibilité relie donc les notions de fiabilité et de maintenabilité.

II.2.1.7.1. Les type de disponibilité :

- **Disponibilité intrinsèque** : cette disponibilité est évaluée en prenant en compte les moyennes de bon fonctionnement et les moyennes de réparation, ce qui donne

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (\text{II} - 30)$$

- **Disponibilité instantanée**

Pour un système avec l'hypothèse d'un taux de défaillance λ constante et d'un taux de réparation μ [16] constant, la disponibilité instantanée est :

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (\text{II} - 31)$$

II.2.1.7.2. Amélioration de la disponibilité :

En améliorant la disponibilité, on améliore l'efficacité, donc la productivité et les résultats. Cela dit, il existe plusieurs manières d'agir sur la disponibilité. La première, c'est d'agir sur la disponibilité "constructeur", en prenant des matériels plus fiables, plus maintenables, et forcément plus onéreux. La seconde consiste à agir sur la disponibilité "opérationnelle". Celle-ci est directement liée à la politique de maintenance de l'utilisateur, de l'organisation et des moyens mis en œuvre. Par exemple, un ensemble de machines enchaînées disponibles peut s'avérer globalement indisponible si aucune coordination des interventions de réglage et de maintenance n'est effectuée. En investissant dans la maintenance, il est clair que l'industriel va améliorer la disponibilité "opérationnelle". Entre disponibilité "constructeur" et disponibilité "opérationnelle", l'industriel doit choisir quel est l'investissement le plus rentable. La question qui se pose est du style : « *Faut-il augmenter le temps d'utilisation pour augmenter l'efficacité globale ?* ». Le coût global optimum à rechercher impose de prendre en compte de très nombreux paramètres : le coût d'acquisition et d'installation, les coûts d'exploitation et de maintenance et bien sûr les pertes dues à l'indisponibilité des équipements.[12]

II .2.2. La courbe ABC :

II.2.2.1. Objectif

Le but est d'analyser un phénomène, en le représentant par un graphique qui permet de déterminer l'existence d'une relation entre deux groupes de données. La courbe ABC permette de classer les événements selon l'enjeu qu'elles représentent. Elle permette de visualiser rapidement les priorités d'action, de faire un choix et de se concentrer sur les problèmes à traiter en priorité. C'est un moyen simple de classer les phénomènes par ordre d'importance.

Chapitre II : Les lois de calculs de la fiabilité, la maintenabilité et de la disponibilité

II.2.2.2. Graphique sous forme d'histogramme

Les données chiffrées sont plus faciles à comprendre quand elles sont représentées sous forme de graphique que sous forme d'une suite de chiffres. Le graphique (synthèse visuelle) est un outil de choix pour l'établissement de tableaux de bord, d'illustrations de rapports, d'outils de contrôle et de prise de décision. L'histogramme est souvent utilisé car son format standardisé le rend compréhensible par tous.

II.2.2.3. Intérêt :

L'intérêt de la courbe ABC est de montrer, dans un premier temps, qu'il est plus payant de s'attaquer à la résolution des causes principales de défauts que de perdre un temps précieux à traiter des causes qui n'apparaissent que rarement. Il permet ainsi de distinguer facilement l'essentiel du secondaire. Dans un environnement industriel, tout et n'importe quoi pourrait être amélioré indéfiniment. Mais l'amélioration a un coût. Elle doit donc avoir une contrepartie : apporter une valeur ajoutée ou au minimum supprimer des pertes. Le diagramme de Pareto permet donc de justifier une action d'amélioration de la qualité.

II.2.2.4. Méthodologie

Elle consiste à classer les pannes par ordre décroissant de coûts, chaque panne se rapportant à une machine ou rubrique.

Puis à établir un graphe faisant correspondre le pourcentage de coûts, chaque panne se rapportant à une machine ou rubrique

Zone "A"

Dans la majorité des cas, on constate qu'environ 20% des pannes représente 80% des coûts, ceci constitue la zone A, zone des priorités.

Zone "B"

Dans cette tranche, les 30% des pannes suivantes ne coûtent 15% supplémentaire.

Zone "C"

Dans cette zone les 50% des pannes restantes ne représentent qu'à 5% de coûts.[21]

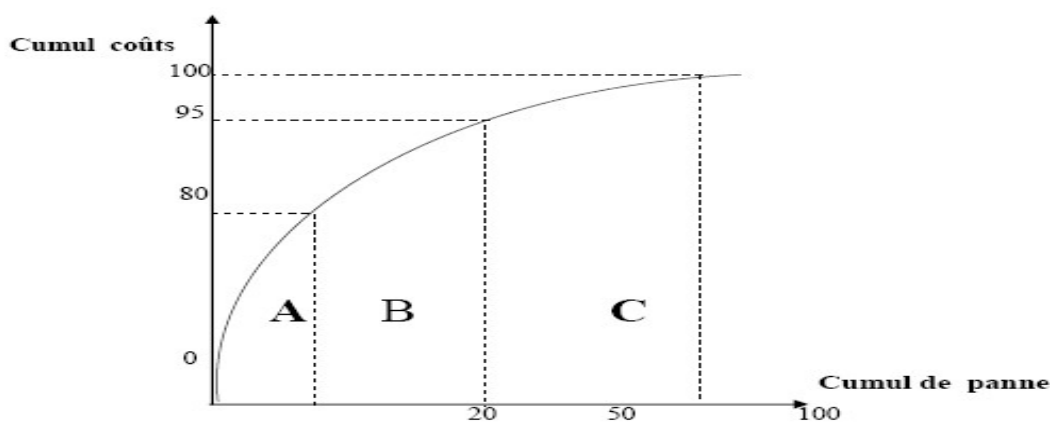


Figure II.13: La Courbe ABC

Chapitre II : Les lois de calculs de la fiabilité, la maintenabilité et de la disponibilité

II.2.3. La courbe ABC La relation entre MUT, MTBF, et MTTR

La figure suivante illustre la relation entre MUT, MTBF et MTTR :

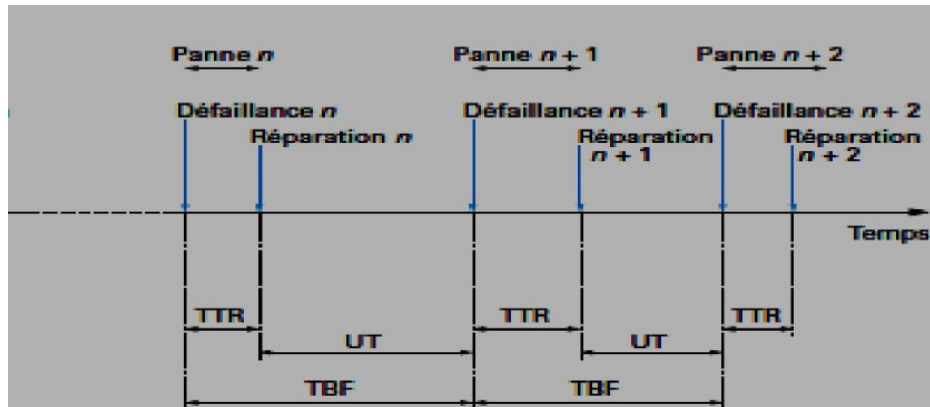


Figure II.14 : La relation entre MUT, MTBF, et MTTR

$$MTBF = MUT + MTTR$$

En général, on utilise les sigles d'origine américaine MTBF, MTTR et MUT, avec le risque de mal se comprendre évoqué au début du paragraphe ; on peut proposer les expressions Françaises suivantes pour utiliser exactement les mêmes notions en levant les ambiguïtés :

TTR temps de réparation,

TBF temps de bon fonctionnement,

UT temps entre défaillances

II.2.4. La relation entre les notions FMD :

La figure suivante montre la relation entre les paramètres de la sûreté de fonctionnement :

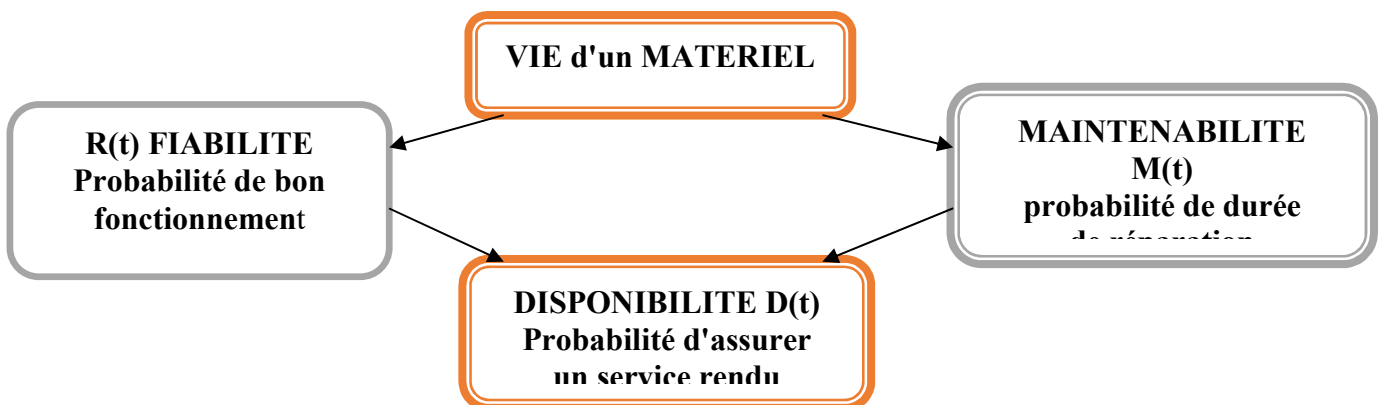


Figure II.15 : Relation entre les paramètres FMD

Chapitre II : Les lois de calculs de la fiabilité, la maintenabilité et de la disponibilité

Pour qu'un matériel soit disponible il faut s'assurer que sa fiabilité est optimum et qu'il est aussi maintenable [20]

II .3. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présentés les notions globales de la fiabilité, maintenabilité et la disponibilité et les différents outils d'aide à la décision pour choisir la politique de maintenance Adéquate au système choisi.

Chapitre III

*Présentation de la société ALGAL
PLUS*

Chapitre III : Présentation de la société ALGAL PLUS

III . Introduction :

La maintenance est devenue une nécessité dans les entreprises, elle consiste à conserver ou à remettre un équipement en état de bon fonctionnement. Dans ce sens, les entreprises font appel aux services de maintenance pour la bonne marche de l'exploitation de ses équipements. Ces services organisent les moyens humains et matériels pour accomplir leur fonction de maintenance.

Les installations, les équipements tendent à se détériorer dans le temps sous l'action de causes multiples telles que l'usure, la déformation due au fonctionnement ou l'action des agents corrosifs (agents chimiques, atmosphères, etc.). Ces détériorations peuvent provoquer l'arrêt de fonctionnement, diminuer les capacités de production, mettre en péril la sécurité des biens et des personnes, provoquer des rébus ou diminuer la qualité, augmenter les coûts de fonctionnement (augmentation de la consommation d'énergie, etc.) ou diminuer la valeur marchande de ces moyens. Maintenir c'est donc effectuer des opérations de dépannage, graissage, visite, réparation, amélioration etc., qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de la production. Bien maintenir c'est aussi ces opérations au coût global optimum. [I.1]

III.1 Description de l'entreprise ALGAL PLUS

III.1.1 Présentation de la société ALGAL PLUS

La société ALGAL+ est une société installée à M'sila située dans wilaya de M'SILA plus précisément dans la zone industrielle spécialisée à la transformation de l'aluminium. La fonction principale est la production des profilés d'aluminium de toutes les formes selon l'exigence du client en utilisant la technique de l'extrusion. Cette entreprise est un complexe industriel qui a été installée dans l'année 1985 par la société japonaise qu'est appelée UBE, il y a deux presses d'extrusion UBE à une commande automatique, une chaîne verticale de thermo laquage et faux bois, une chaîne d'anodisation et de coloration chimique, deux ateliers de fonderie (refonte), un atelier de tri/traitement de déchets et plus des ateliers en cours de constructions.



Figure III.1 : Cartographie de la chaine de valeurs ALGAL PLUS.

III.1.2 Les activités de cette société :

La production des plusieurs types des profilés d'aluminium. Traitement des surfaces, anodisation, coloration et laquage. Fournir des matériaux préliminaires comme les billettes, lingots, produits chimiques, les filières et pièces de rechanges. Produite les séries des profilés :29000, 41000, 42000 et de la longueur 600 mm La capacité de fabrication de 32 tonnes/jour. Exportation des profilés extrudé.

III.1.3 Cartographies des processus ALGAL PLUS

Avec une progression de 3000 tonnes/an sur les huit prochaines années, pour atteindre une capacité de production de l'ordre de 40000 tonnes/an aux dix années prochaines. Le complexe d'aluminium M'SILA conservera sa position de leader pour répondre à la demande croissante du marché. En effet, les installations déjà installées sur une superficie de 123000 m2, à savoir station électrique haute tension 63KV, station électrique moyenne tension 30KV, station essence, station de traitement des eaux, sont dimensionnées pour accueillir quatre autres presses en plus des presses en service.

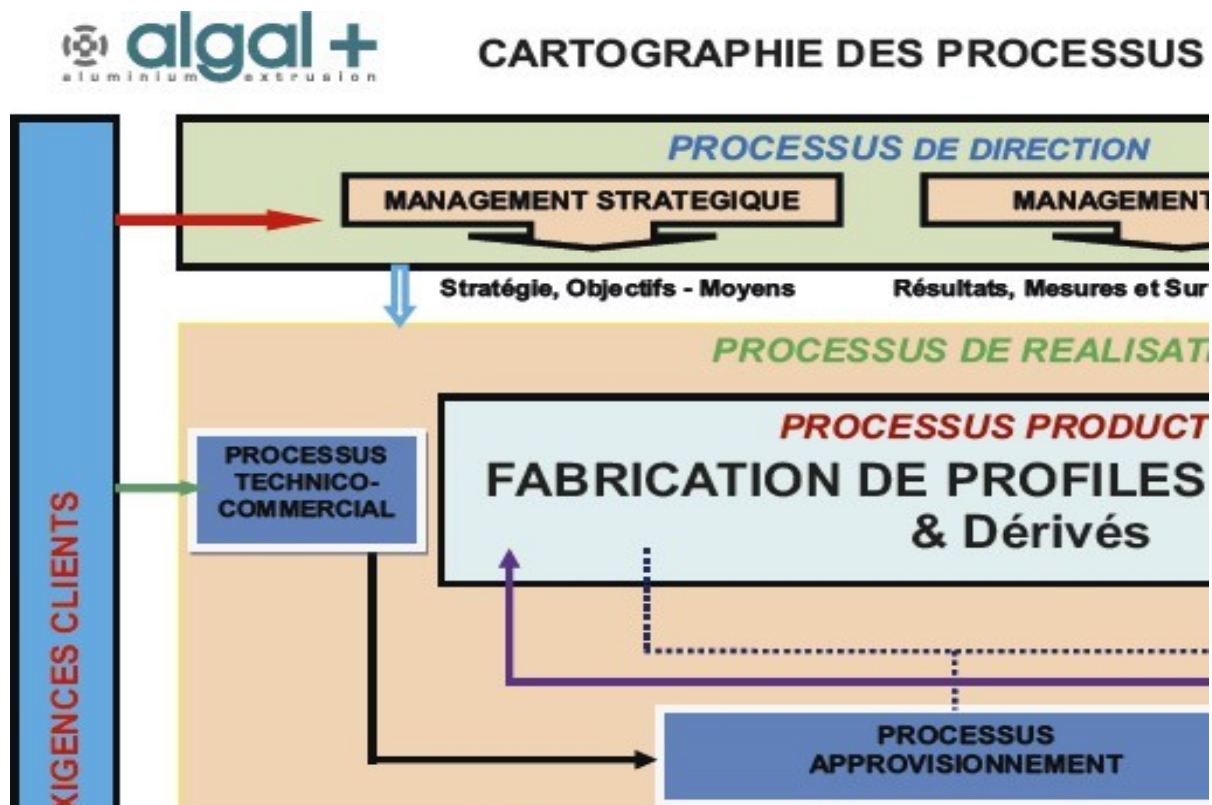


Figure III.2 : Cartographie des processus ALGAL PLUS

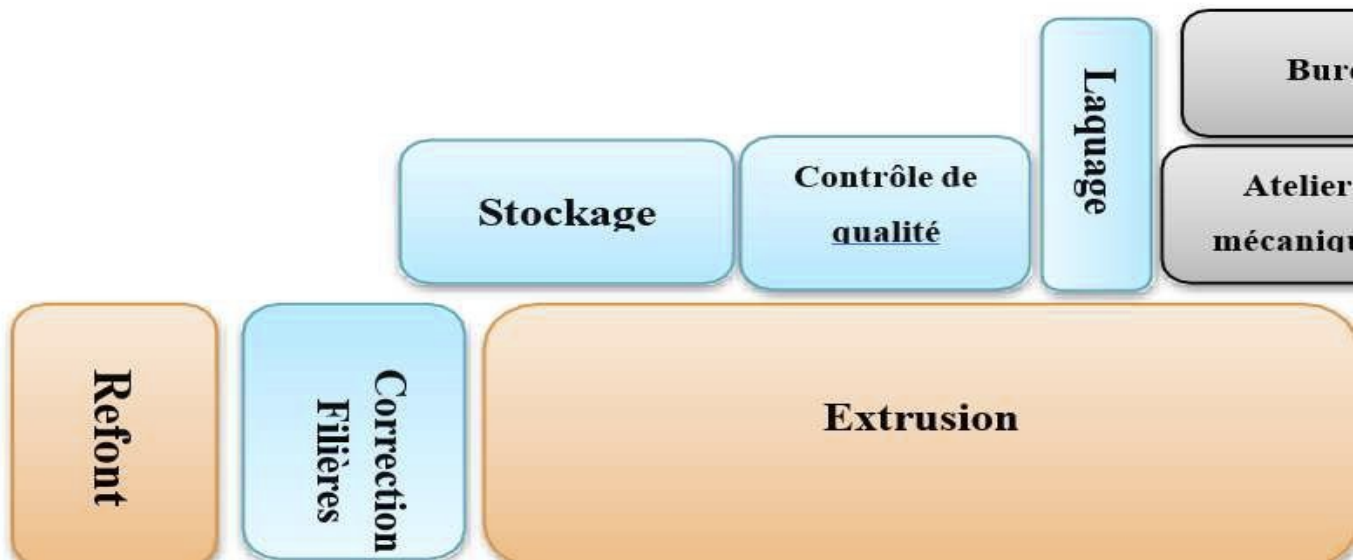


Figure III.3 : Représentation la situation du service de maintenance dans une entreprise.

III.1.4 Les unités d'entreprise

Le tableau suivant illustre la répartition géographique des différentes unités.

III.1.5 Les étapes de fabrication :

III.1.5.1 Unité de recyclage et valorisation

Dans cette unité, on refond (recycle) les produits défectueux apparus dans le processus de fabrication des profilés ainsi que les déchets en Aluminium provenant de l'extérieur, tout ça pour obtenir les billettes.

Il y a deux billettes sont réalisés :

- Billette de diamètre 172 mm et poids linéaire 62.8 kg/m.
- Billette de diamètre 216 mm et poids linéaire 98.9 kg/m.
- La longueur de billette est de 3700 mm max.

Pour fabriquer la billette il faut passe par les deux ateliers mentionnés ci-dessus.

III.1.5.1.1 L'atelier de tri :

Cet atelier chargé a découpé les pièces en l'aluminium des grandes dimensions a des petites, et après le découpage on faire sortir les éléments non désirés par des procédés comme le plastique, le fer, le cuivre pour garder la teneur de l'aluminium nette.

Ces pièces sont des déchets de l'extérieur (toute pièces en aluminium).

III.1.5.1.2 La refonte :

Dans cette unité, on refond (recycle) les produits défectueux apparus dans le processus de fabrication des profilés ainsi que les déchets en aluminium provenant de l'extérieur pour produire les billettes.

III.1.5.2 Le four de fusion :

dans la l'atelier de refont il y a deux fours de fusion de même construction et de même mission qui est la fusion de notre métal, donc le four est un récipient dans laquelle s'accumule l'aluminium fondu à haute température, les matériaux réfractaires en contact avec le métal fondu doivent supporter suffisamment l'atmosphère réductrice à haute température, le four porté à une température de l'atmosphère de 900 à 1000 °C et à une température du métal fondu de 720 à 750 °C , le four construite à l'intérieur par céramique et à l'extérieur par une superalliage à base de nickel.



Figure III.4 : four de fusion

Après la fusion d'aluminium on l'orienté à travers une conduite et on le décharger dans des moules prenant la forme d'une billette.

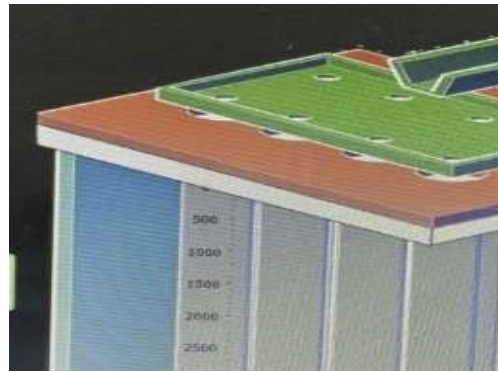


Figure III.5 : moules des billettes

III.1.5.3 Le four d'homogénéisation :

On oriente les billettes vers cette étape pour faire l'homogénéisation des phases de métal par le chauffage pour assurer la distribution uniforme pendant 7 heures de réchauffement et 4 autres heures de maintien sous haute température de 560 °C,



Figure III.6 : four d'homogénéisation

III.1.5.4 La chambre de refroidissement :

Après le réchauffement des billettes on les prend à une chambre de refroidissement, cette dernière assurée par turboventilateur.



Figure III.7 : Chambre de refroidissement

III.1.5.5 Sciage et stockage des billettes

Les deux bouts des billettes coulées par la machine de coulée ne sont pas lisses et possèdent une crique et un dépôt d'oxyde. Par conséquent, il y a lieu de couper leurs deux bouts. La machine à couper réservée à cet usage est généralement une scie circulaire. Pour le débitage du métal doux tel que l'aluminium, il faut que l'opération soit effectuée avec les dents plus espacés et à une grande vitesse de coupe.



Figure III.8 : Scie à billettes

Cette étape c'est la dernière dans l'unité de recyclage et valorisation, donc on saute à l'unité de l'extrusion.

III.1.5.6 Unité d'extrusion :

L'extrusion est un processus de déformation plastique dans lequel un bloc de métal (Billette) est forcé à s'écouler par compression à travers l'ouverture de filière d'une inférieure à celle de la billette d'origine, comme le montre la Figue. III.9. L'extrusion est un procédé de compression directe.

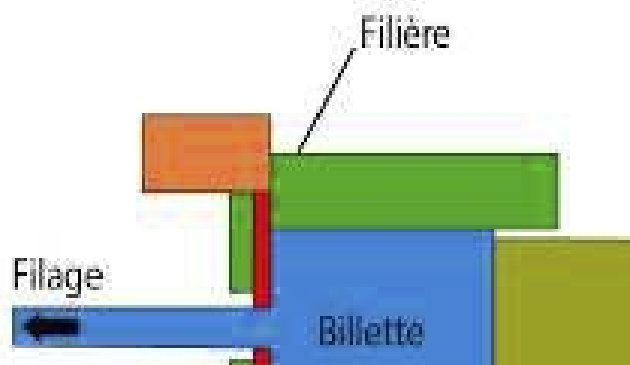


Figure III.9 : Principe d'extrusion.

III.1.5.7 L'unité de l'anodisation et laquage :

La coloration ou bien la peinture des profilés se fait dans cette unité, mais avant de faire ça il faut on fait polissage pour traiter la surface, elle retirera toute trace de coupe.

III.1.5.7.1 L'anodisation

S'agit d'une technique basée sur l'électrolyse qui dépose sur la surface de la pièce une couche protectrice alors les profilés deviennent plus durs et résistants.

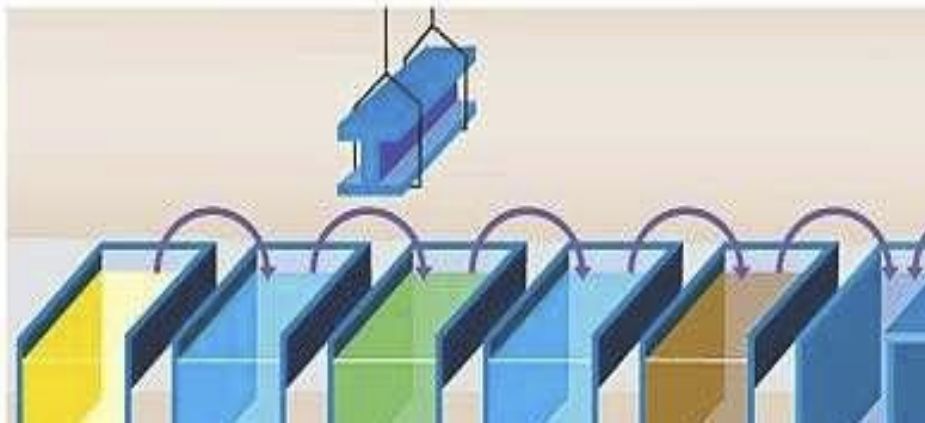


Figure III.10 : Principe de l'anodisation



Figure III.11 : Principe de laquage

III.1.5.7.2 Laquage de l'aluminium

Laquage de l'aluminium est un procédé par lequel on applique sur l'aluminium de la peinture (sous forme de poudre) qui est ensuite polymérisation et cuite. Avant de laquage, l'aluminium subi a différent étapes de traitement de surface (le dégraissage), le laquage de l'aluminium permet d'obtenir une très vaste palette de couleurs et rend le matériau particulièrement résistant aux rayures et aux chocs, donne les profilés une excellente durée de vie.

III.2. Evolution de la maintenance

Au fil du développement de la concurrence et de la course à la compétitivité qui entraine la recherche de la qualité totale et surtout la réduction des couts, au fur et à mesure de la complexification de l'automatisation des processus de production, la maintenance est devenue une des fonctions stratégiques de l'entreprise. Loin d'être aujourd'hui stabilisée, elle évolue au gre des nouvelles technologies de l'information et de communication NTIC, l'introduction de nouvelles méthodes digestion, du développement technologique des outils de production, en particulier dans les domaines de la mesure et du contrôlé de fonctionnement, de la systématisation progressive, de l'usage des normes set des procédures.

III.3. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'entreprise qu'on a fait notre stage, cette entreprise s'appelle ALGAL+, au cours de ce stage, nous avons pris des informations considérables sur les systèmes électromécaniques existants dans cette entreprise. La pompe principale est la machine que nous avons choisie grâce de leur importance dans la production. Dans le chapitre suivant, on va évaluer les paramètres de la sureté de fonctionnement tels que la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité et proposer des recommandations.

Chapitre IV

Application de maintenance sur la pompe principale

Chapitre IV : Application de la maintenance sur la pompe principale

Chapitre IV : Application de maintenance sur la pompe principale

IV .1. Introduction :

L'application de la maintenance au sein de l'appareil de production est un exercice difficile, comme il est toujours difficile de faire simple dans un environnement complexe. C'est l'objectif du dernier chapitre où on tente par l'exploitation de l'historique de panne de La société ALGAL+ de faire face à l'étude expérimentale des indicateurs FMD et de tracer les courbes de ces trois indicateurs.

IV.2. Historique des pannes

Le tableau suivant illustre l'historique de panne de la pompe centrale (tableau. IV.1)

Année	Mois	Description	Jours	Heure D'arrêt	Nb
2017	mars	pompe principale	23/03/2017	0:25	1
	mai	pompe principale	23/05/2017	0:15	1
			28/05/2017	1:30	1
	octobre	pompe principale	03/10/2017	7:55	1
			04/10/2017	0:20	1
novembre	pompe principale	13/11/2017	0:15	1	
2018	janvier	pompe principale	31/01/2018	0:30	1
	mars	pompe principale	07/03/2018	0:15	1
	juin	pompe principale	06/06/2018	0:25	1
			13/06/2018	0:20	1
			25/06/2018	0:45	1
			26/06/2018	0:15	1
	juillet	pompe principale	02/07/2018	1:10	1
			03/07/2018	1:00	1
			30/07/2018	0:40	1
	août	pompe principale	26/08/2018	0:20	1
	septembre	pompe principale	03/09/2018	0:20	1
			04/09/2018	1:10	1
			22/09/2018	8:10	1
			25/09/2018	0:10	1
octobre	pompe principale	28/10/2018	0:35	1	
2019	décembre	pompe principale	15/12/2019	2:10	1
2020	janvier	pompe principale	06/01/2020	0:50	1
			07/01/2020	1:15	1
			12/01/2020	0:50	1
			15/01/2020	0:15	1
			16/01/2020	0:40	1
			19/01/2020	1:15	1
			20/01/2020	1:50	1
			22/01/2020	1:00	1
			23/01/2020	1:20	1
26/01/2020	1:15	1			

	février	pompe principale	02/02/2020	0:45	1
			03/02/2020	2:15	1
			04/02/2020	0:50	1
			05/02/2020	0:15	1
			06/02/2020	1:50	1
			08-02-2020	0:30	1
			10/02/2020	1:55	1
	mars	pompe principale	05/03/2020	1:50	1
			06/03/2020	1:10	1
			09/03/2020	0:45	1
			10/03/2020	4:10	1
			11/03/2020	0:50	1
			13/03/2020	0:30	1
			16/03/2020	1:25	1
	21/03/2020	0:15	1		
	avril	pompe principale	02/04/2020	1:15	1
			14/04/2020	0:45	1
			15/04/2020	1:25	1
	juin	pompe principale	17/06/2020	0:40	1
			19/06/2020	0:15	1
			20/06/2020	0:40	1
septembre	pompe principale	04/09/2020	0:20	1	
		13/09/2020	0:15	1	
décembre	pompe principale	30/12/2020	0:20	1	

Tableau IV.1. Historique de panne de la pompe principale de la société algal plus +

IV.3. Calcul des paramètres de Weibull

Les deux tableaux suivants (tableau IV.2 et IV.3) comportent les TBF classés par ordre croissant, et les $F(i)$ calculés par la méthode des rangs moyen $F(i) = \frac{Ni}{N+1} \approx F(t)$ (Dans notre cas $N > 20$) puis on utilisera le papier de Weibull pour tracer la courbe $F(i)$ en fonction de TBF :

N°	TBF	F(i)	F(t)
1	19.83	0.0175	0.026982
2	21.75	0.0350	0.117883
3	22.17	0.0526	0.127525
4	22.17	0.0701	0.127525
5	22.58	0.1754	0.13597

6	22.67	0.1929	0.13778
7	22.75	0.2105	0.139244
8	22.83	0.2280	0.140745
9	22.83	0.2456	0.140745
10	23	0.2632	0.143853
11	23.17	0.2807	0.14686
12	23.17	0.3158	0.14686
13	23.33	0.3334	0.149604
14	23.33	0.4211	0.149604
15	23.67	0.4912	0.155186
16	23.75	0.5088	0.156454
17	23.75	0.5263	0.156454
18	46.08	0.5439	0.321710
19	47	0.5789	0.325681
20	47.5	0.6140	0.327798
21	47.5	0.6316	0.327798
22	47.75	0.6667	0.32885
23	70.58	0.7368	0.403964
24	70.75	0.7719	0.404414
25	70.75	0.8246	0.404414
26	71.25	0.8596	0.405731
27	71.25	0.8772	0.405731
28	71.83	0.8947	0.407246

29	1118.5	0.9298	0.49924
30	119.17	0.9825	0.50027
31	119.75	1	0.501148
32	143.83	1.0175	0.534285
33	167.25	1.0351	0.561385
34	167.67	1.0702	0.561834
35	191.67	1.1053	0.585702
36	215.75	1.1404	0.606667
37	286.75	1.1579	0.656305
38	287.25	1.1754	0.656605
39	287.25	1.2281	0.656605
40	423.83	1.2807	0.721933
41	527.17	1.3850	0.75677
42	574.17	1.4912	0.769964
43	647.33	1.5263	0.78802
44	647.67	1.6140	0.788099
45	791.42	1.6316	0.81614
46	951.75	1.6491	0.842864
47	1439.75	1.7018	0.890959
48	1511.33	1.7193	0.896081
49	1583.75	1.7544	0.90089
50	1823.67	1.7895	0.914581
51	1895.5	1.8070	0.9181203

52	1967.58	1.8246	0.921453
53	2183.58	1.8421	0.930306
54	2591.67	1.8596	0.943438
55	3064.08	1.8772	0.954587
56	9909.83	1.8947	0.994322

Tableau IV.3. Fonction de réparation réelle et théorique

A partir de papier de Weibull ou logiciel minitab18, On déduit les paramètres :

Diag. probab. de TBF

Weibull

Données complètes - Estimations des Mcarrés XY

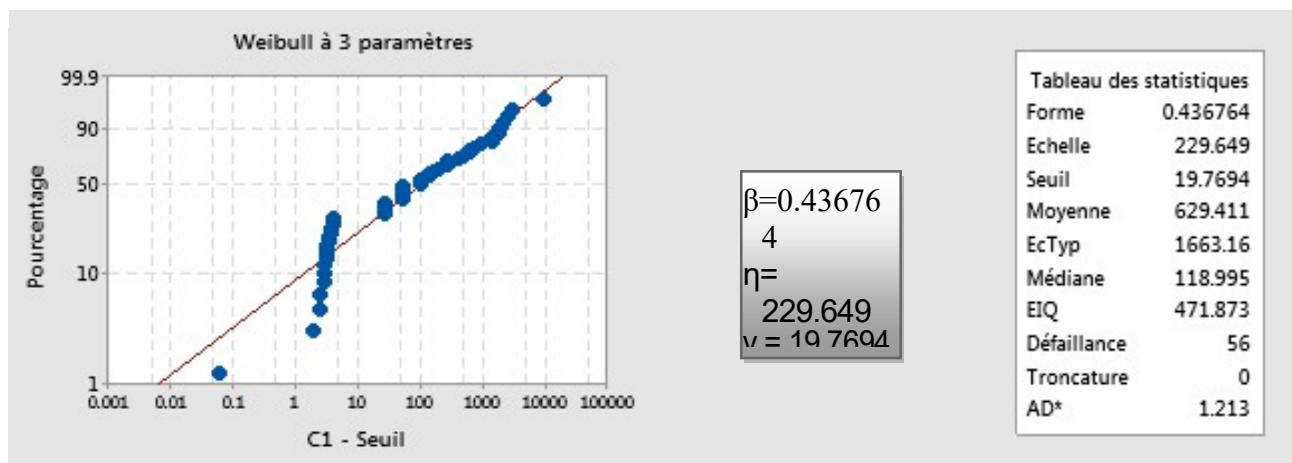


Figure IV.1: papier de Wei Bull. en logiciel minitab18

Paramètres	valeur
Beta	0.436764
Eta	229.649
Gamma	19.7694
MTBF	629.411

Tableau 0.4. Les paramètres de la méthode de Wei bull

IV.3.1. Test (KOLMOGOROV SMIRNOV)

Avant la validation de toutes les lois 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 $\alpha = 5\%$. Ce test consiste à calculer l'écart entre la fonction théorique $F(i)$ et la fonction réelle $F(t)$ puis prendre le maximum en valeur absolue $Dn.max$. Cette valeur est comparée avec $Dn.\alpha$ Qui est donnée par la table de Kolmogorov Smirnov. D'après le tableau de K-S:(voir annexe),

$Dn.max < Dn.\alpha$ Ce qui veut dire que le modèle de Weibull est accepté. Nous avons pris la valeur maximale $Dn.max = |F i - F t|$.

- Si $Dn.max > Dn.\alpha$ On refuse l'hypothèse.
- Si $Dn.max < Dn.\alpha$ On accepte l'hypothèse.

N°	TBF	F(t)	F(r)	Dn max
1	19.83	0.0175	0.026982	0.009482
2	21.75	0.0350	0.117883	0.082883
3	22.17	0.0526	0.127525	0.074925
4	22.17	0.0701	0.127525	0.057425
5	22.58	0.1754	0.13597	0.67173
6	22.67	0.1929	0.13778	0.03248
7	22.75	0.2105	0.139244	0.016444
8	22.83	0.2280	0.140745	0.000345
9	22.83	0.2456	0.140745	0.017155
10	23	0.2632	0.143853	0.031547
11	23.17	0.2807	0.14686	0.04614
12	23.17	0.3158	0.14686	0.06364
13	23.33	0.3334	0.149604	0.78496
14	23.33	0.4211	0.149604	0.095996
15	23.67	0.4912	0.155186	0.108014
16	23.75	0.5088	0.156454	0.124246

17	23.75	0.5263	0.156454	0.141746
18	46.08	0.5439	0.321710	0.00591
19	47	0.5789	0.325681	0.007619
20	47.5	0.6140	0.327798	0.023102
21	47.5	0.6316	0.327798	0.040602
22	47.75	0.6667	0.32885	0.05705
23	70.58	0.7368	0.403964	0.000464
24	70.75	0.7719	0.404414	0.016686
25	70.75	0.8246	0.404414	0.034186
26	71.25	0.8596	0.405731	0.050369
27	71.25	0.8772	0.405731	0.055669
28	71.83	0.8947	0.407246	0.066454
29	1118.5	0.9298	0.49924	0.00804
30	119.17	0.9825	0.50027	0.00853
31	119.75	1	0.501148	0.025152
32	143.83	1.0175	0.534285	0.009615
33	167.25	1.0351	0.561385	0.000015
34	167.67	1.0702	0.561834	0.017166
35	191.67	1.1053	0.585702	0.010798
36	215.75	1.1404	0.606667	0.007333
37	286.75	1.1579	0.656305	0.024705
38	287.25	1.1754	0.656605	0.007505
39	287.25	1.2281	0.656605	0.009995
40	423.83	1.2807	0.721933	0.037733
41	527.17	1.3850	0.75677	0.05497
42	574.17	1.4912	0.769964	0.050664
43	647.33	1.5263	0.78802	0.05122

44	647.67	1.6140	0.788099	0.033699
45	791.42	1.6316	0.81614	0.04424
46	951.75	1.6491	0.842864	0.053364
47	1439.75	1.7018	0.890959	0.083859
48	1511.33	1.7193	0.896081	0.071481
49	1583.75	1.7544	0.90089	0.05879
50	1823.67	1.7895	0.914581	0.054981
51	1895.5	1.8070	0.9181203	0.0409203
52	1967.58	1.8246	0.921453	0.026753
53	2183.58	1.8421	0.930306	0.018006
54	2591.67	1.8596	0.943438	0.013638
55	3064.08	1.8772	0.954587	0.010313
56	9909.83	1.8947	0.994322	0.011922

Tableau IV.5 : Fonction de réparation réelle et théorique

D'après le tableau de Kolmogorov-Smirnov :

$Dn.max < Dn.\alpha$ Ce qui veut dire que le modèle de Wei Bull est accepté.

Nous avons pris la valeur maximale $Dn.max = |F_i - F_t|$.

$Dn.max = 0.78496$ tandis que $Dn.\alpha = D_{13\ 0.05} = 0.81726$.

$0.78496 < 0.81726$ donc l'hypothèse du modèle de Weibull est acceptable.

IV.4. Les paramètres de loi de WEIBULL :

IV.4.1. Le MTBF :

La moyenne du temps de bon fonctionnement est exprimée par la formule suivante : a partir logiciel minitab18 on déduire le paramètre de MTBF :

$$MTBF = 629.411$$

IV.4.2. La densité de probabilité en fonction de MTBF

La densité de probabilité pour la moyenne du temps de bon fonctionnement est donnée comme suit :

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

A.N :

$$f(629.411) = 0.00025397 = 0.002 \%$$

IV.4.3. La fonction de répartition en fonction de MTBF

La fonction de répartition pour la moyenne du temps de bon fonctionnement est exprimée par la relation suivante :

$$F(\text{MTBF}) = 1 - e^{-\left[\frac{\text{MTBF}-\gamma}{\eta}\right]^\beta} \quad (\text{IV-2})$$

La fonction de répartition en fonction de moyenne du temps de bon fonctionnement est la suivante :

$$F(\text{MTBF}) = 0.783846 = 78.3846 \%$$

IV.4.4. La fiabilité en fonction de MTBF

La formule suivante permet de calculer la fiabilité pour un moyen du temps de bon fonctionnement (MTBF).

$$R(t=\text{MTBF}) = 1 - F(t= \text{MTBF}) \quad (\text{IV-3})$$

$$R(\text{MTBF}) = 1-F(\text{MTBF}) = 1- 0.783846 = 0.216154$$

$$R(\text{MTBF}) = 21.6154 \%$$

IV.4.5. Le taux de défaillance en fonction de MTBF :

$$\lambda(\text{MTBF}) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{\text{MTBF}-\delta}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (\text{IV-4})$$

A.N :

$$\lambda(\text{MTBF}) = 0.00109739 \text{ panne/min}$$

IV.4.6. Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique :

$$R(\text{MTBF}) = 85 \% \implies t = ?$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \implies \text{Ln } R(t) = \left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta = \ln (0.85)$$

$$[\text{Ln } R(t)]^{1/\beta} = t/\eta \implies t = n[\ln(1/ R(t))]^{1/\beta}$$

$$t = 229.649 \left[\ln\left(\frac{1}{0.21}\right)\right]^{1/0.436764} \implies$$

$$\text{Alors } t_{\text{sys}} = 636.28 \text{ min}$$

Pour garder la fiabilité de la pompe principale à la valeur 85%, il faut intervenir chaque **636.28 min**

IV.5. Étude du modèle de Weibull

A l'aide des temps de bon fonctionnement de la société ALGAL+ et les paramètres extraits par la méthode de Weibull, nous pouvons calculer les fonctions suivantes : la densité de probabilité, le taux de défaillance, la fonction de répartition, la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité.

IV.5.1. La fonction de la densité de probabilité

On peut définir la fonction de densité de probabilité en fonction des paramètres de méthode de Weibull par la relation suivante :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (\text{IV-5})$$

N°	TBF	F(t)	F(r)
1	19.83	0.0175	0.02672
2	21.75	0.0350	0.02425
3	22.17	0.0526	0.02154
4	22.17	0.0701	0.02154
5	22.58	0.1754	0.01953
6	22.67	0.1929	0.01915
7	22.75	0.2105	0.01882
8	22.83	0.2280	0.01851
9	22.83	0.2456	0.01851
10	23	0.2632	0.0179
11	23.17	0.2807	0.01733
12	23.17	0.3158	0.01733
13	23.33	0.3334	0.01683
14	23.33	0.4211	0.01683
15	23.67	0.4912	0.01589
16	23.75	0.5088	0.01569
17	23.75	0.5263	0.01569

18	46.08	0.5439	0.00438
19	47	0.5789	0.00427
20	47.5	0.6140	0.00421
21	47.5	0.6316	0.00421
22	47.75	0.6667	0.004191
23	70.58	0.7368	0.002664
24	70.75	0.7719	0.002657
25	70.75	0.8246	0.002657
26	71.25	0.8596	0.002637
27	71.25	0.8772	0.002637
28	71.83	0.8947	0.002613
29	1118.5	0.9298	0.001637
30	119.17	0.9825	0.001533
31	119.75	1	0.001525
32	143.83	1.0175	0.001261
33	167.25	1.0351	0.001078
34	167.67	1.0702	0.001075
35	191.67	1.1053	0.00093
36	215.75	1.1404	0.00082
37	286.75	1.1579	0.0006
38	287.25	1.1754	0.00063
39	287.25	1.2281	0.00063
40	423.83	1.2807	0.000387
41	527.17	1.3850	0.000297
42	574.17	1.4912	0.000267
43	647.33	1.5263	0.00023
44	647.67	1.6140	0.000229
45	791.42	1.6316	0.000176
46	951.75	1.6491	0.000137
47	1439.75	1.7018	0.0000743
48	1511.33	1.7193	0.0000688
49	1583.75	1.7544	0.0000639
50	1823.67	1.7895	0.0000507
51	1895.5	1.8070	0.0000475

52	1967.58	1.8246	0.0000446
53	2183.58	1.8421	0.0000372
54	2591.67	1.8596	0.0000273
55	3064.08	1.8772	0.0000199
56	9909.83	1.8947	0.0000012

Tableau IV.6. Calcul de la densité de probabilité

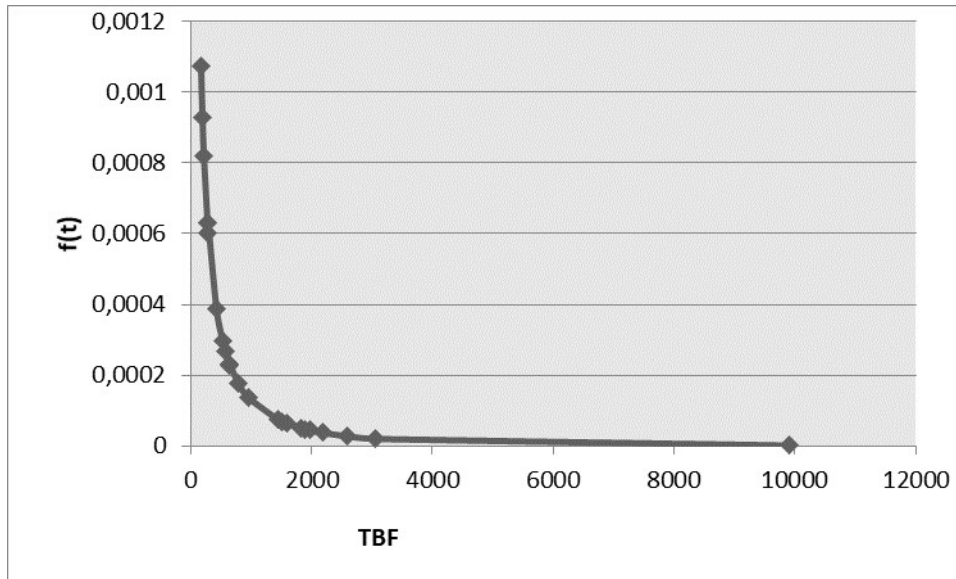


Figure IV.2 : La courbe de la densité de probabilité

La figure montre la densité de probabilité en fonction de TBF, nous remarquons d’après cette figure que la densité de probabilité est diminuée avec l’augmentation du temps de bon fonctionnement de la pompe centrale .

Fonction de répartition F(t) :

La fonction de répartition en fonction du temps de bon fonctionnement et les paramètres extraits par le modèle de Weibull est exprimée par l’équation suivante :

$$F(t) = 1 - e^{\left(\frac{-t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \tag{IV-6}$$

N°	TBF	F(t)
1	19.83	0.026982
2	21.75	0.117883
3	22.17	0.127525
4	22.17	0.127525
5	22.58	0.13597
6	22.67	0.13778
7	22.75	0.139244

8	22.83	0.140745
9	22.83	0.140745
10	23	0.143853
11	23.17	0.14686
12	23.17	0.14686
13	23.33	0.149604
14	23.33	0.149604
15	23.67	0.155186
16	23.75	0.156454
17	23.75	0.156454
18	46.08	0.32171
19	47	0.325681
20	47.5	0.327798
21	47.5	0.327798
22	47.75	0.32885
23	70.58	0.403964
24	70.75	0.404414
25	70.75	0.404414
26	71.25	0.405731
27	71.25	0.405731
28	71.83	0.407246
29	1118.5	0.49924
30	119.17	0.50027
31	119.75	0.501148
32	143.83	0.534285
33	167.25	0.561385
34	167.67	0.561834
35	191.67	0.585702
36	215.75	0.606667
37	286.75	0.656305
38	287.25	0.656605
39	287.25	0.656605
40	423.83	0.721933
41	527.17	0.75677
42	574.17	0.769964
43	647.33	0.78802
44	647.67	0.788099
45	791.42	0.81614
46	951.75	0.842864
47	1439.75	0.890959
48	1511.33	0.896081
49	1583.75	0.90089
50	1823.67	0.914581
51	1895.5	0.9181203
52	1967.58	0.921453

53	2183.58	0.930306
54	2591.67	0.943438
55	3064.08	0.954587
56	9909.83	0.994322

Tableau IV.7. Calcul de fonction de répartition

On utilise le tableaux IV.7 pour visualiser la courbe de la fonction de répartition. Les résultats de simulation sont illustrés par la figure suivante :

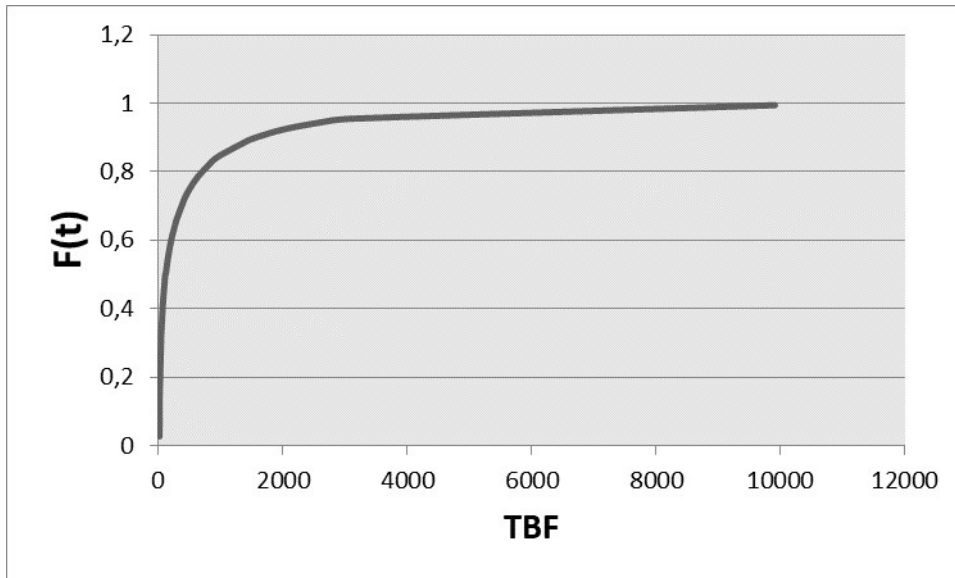


Figure IV.3 : Le courbe de fonction de répartition

La figure précédente Fig.IV.3. Illustre la fonction de répartition en fonction du temps de bon fonctionnement, on voit d’après ce courbe que la fonction de répartition augmente avec la croissance du temps de bon fonctionnement de la pompe.

IV.5.3. La fiabilité

La fiabilité en fonction de la fonction de répartition est donnée par l’expression suivante :

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

Les résultats de calculs et de simulation sont montrés par le tableau IV.8 et la figure suivante (Fig.IV.4):

Les calculs de la fiabilité en fonction du temps de bon fonctionnement et les paramètres du modèle de Weibull sont effectués par la formule suivante :

$$R(t) = e^{\left(\frac{-(t-\gamma)^\beta}{\eta}\right)} \tag{IV-7}$$

N°	TBF	R(t)
1	19.83	0.973018
2	21.75	0.882117
3	22.17	0.872475
4	22.17	0.872475
5	22.58	0.86403
6	22.67	0.86222
7	22.75	0.860756
8	22.83	0.859255
9	22.83	0.859255
10	23	0.856147
11	23.17	0.85314
12	23.17	0.85314
13	23.33	0.850396
14	23.33	0.850396
15	23.67	0.844814
16	23.75	0.843546
17	23.75	0.843546
18	46.08	0.67829
19	47	0.674319
20	47.5	0.672202
21	47.5	0.672202
22	47.75	0.67115
23	70.58	0.596036
24	70.75	0.595586
25	70.75	0.595586
26	71.25	0.594269
27	71.25	0.594269
28	71.83	0.592754
29	1118.5	0.50076
30	119.17	0.49973
31	119.75	0.498852
32	143.83	0.465715
33	167.25	0.438615
34	167.67	0.438166
35	191.67	0.414298
36	215.75	0.393333
37	286.75	0.343695
38	287.25	0.343395
39	287.25	0.343395
40	423.83	0.278067
41	527.17	0.24323
42	574.17	0.230036

43	647.33	0.21198
44	647.67	0.211901
45	791.42	0.18386
46	951.75	0.157136
47	1439.75	0.109041
48	1511.33	0.103919
49	1583.75	0.09911
50	1823.67	0.085419
51	1895.5	0.0818797
52	1967.58	0.078547
53	2183.58	0.069694
54	2591.67	0.056562
55	3064.08	0.045413
56	9909.83	0.994322

Tableau IV.8. Calcul de la fiabilité

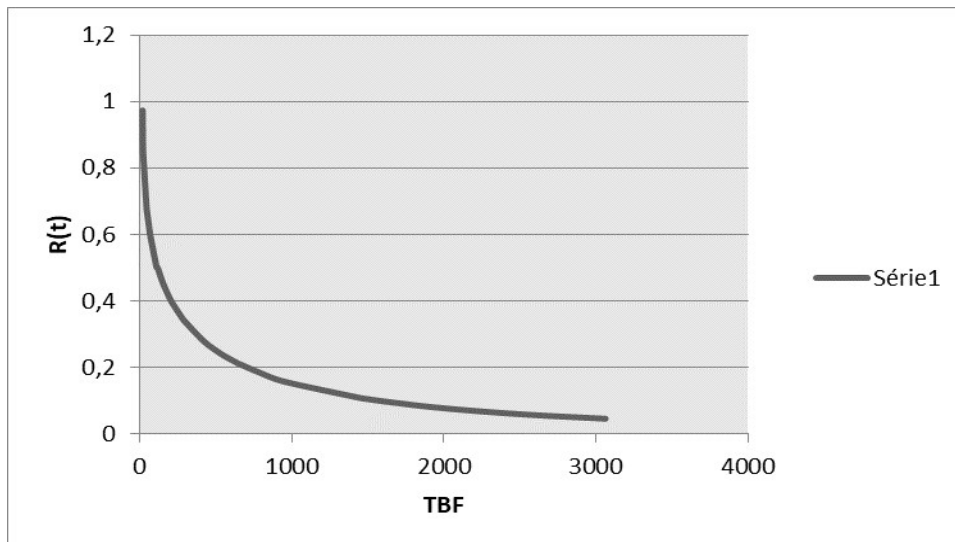


Figure IV.4. La courbe de la fonction de fiabilité

La figure IV.4 présente la fiabilité en fonction du temps de bon fonctionnement de la pompe centrale. On remarque d’après la courbe de cette figure que la fiabilité diminue avec le temps.

IV.5.4 Le taux de défaillance

Le calcul du taux de défaillance en fonction du temps de bon fonctionnement et les paramètres du modèle de Weibull est effectué par la formule suivante :

$$\lambda(t) = \beta \left(\frac{t-\tau}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (IV-8)$$

N°	TBF	$\lambda(t)$
1	19.83	0.001954
2	21.75	0.001938
3	22.17	0.001937
4	22.17	0.001937
5	22.58	0.001936
6	22.67	0.0019365
7	22.75	0.0019363
8	22.83	0.0019362
9	22.83	0.0019362
10	23	0.001935
11	23.17	0.0019357
12	23.17	0.0019357
13	23.33	0.0019355
14	23.33	0.0019355
15	23.67	0.0019351
16	23.75	0.001935
17	23.75	0.001935
18	46.08	0.001926
19	47	0.001925
20	47.5	0.0019258
21	47.5	0.0019258
22	47.75	0.00192582
23	70.58	0.001923
24	70.75	0.001923
25	70.75	0.001923
26	71.25	0.001922
27	71.25	0.001922
28	71.83	0.0019229
29	1118.5	0.001919
30	119.17	0.0019198
31	119.75	0.00191985
32	143.83	0.0019188
33	167.25	0.001918
34	167.67	0.00191802
35	191.67	0.001917
36	215.75	0.001916
37	286.75	0.001915
38	287.25	0.0019152
39	287.25	0.0019152
40	423.83	0.001913
41	527.17	0.001912
42	574.17	0.001911
43	647.33	0.0019112
44	647.67	0.0019112
45	791.42	0.00191
46	951.75	0.001909
47	1439.75	0.001907
48	1511.33	0.001907
49	1583.75	0.001907

50	1823.67	0.001906
51	1895.5	0.0019061
52	1967.58	0.001906
53	2183.58	0.001905
54	2591.67	0.001904
55	3064.08	0.001903
56	9909.83	0.001898

Tableau.IV.9 Calcul du taux de défaillance

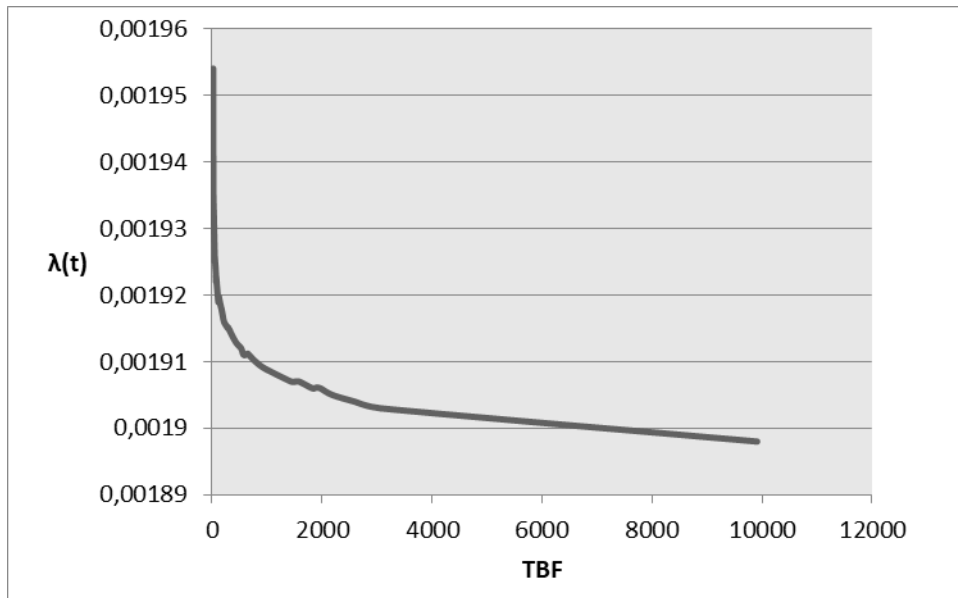


Figure IV.5 La courbe du taux de défaillance

On remarque d’après la courbe de cette figure que le taux de défaillance augmente avec le temps jusqu’à la dégradation de la pompe.

La maintenabilité

La maintenabilité en fonction du taux de réparation est donnée par la formule suivante :

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad \text{(IV-9)}$$

D’après l’historique de panne, on peut calculer la maintenabilité et les résultats de calculs et de simulation sont présentés par le tableau IV.10 et on a aussi la moyenne du temps de réparation exprimé par :

$$MTTR = \Sigma TTR / N$$

TTR : temps de réparation. Et **N** : nombre de panne.

$$MTTR = 54.95 / 56 = 0.98125 \text{ min}$$

$$\text{Avec } \mu = 1 / MTTR$$

$$\mu = 1 / 0.98125 = 1.0191 \text{ intervention / min}$$

N°	TTR	M(t)
1	0:10	0.096889
2	0:15	0.141754
3	0:15	0.141754
4	0:15	0.141754
5	0:15	0.141754
6	0:15	0.141754
7	0:15	0.141754
8	0:15	0.141754
9	0:15	0.141754
10	0:15	0.141754
11	0:20	0.18439
12	0:20	0.18439
13	0:20	0.18439
14	0:20	0.18439
15	0:20	0.18439
16	0:20	0.18439
17	0:25	0.224909
18	0:25	0.224909
19	0:30	0.263413
20	0:30	0.263413
21	0:30	0.263413
22	0:35	0.300007
23	0:40	0.334781
24	0:40	0.334781
25	0:40	0.334781

26	0:40	0.334781
27	0:45	0.367828
28	0:45	0.367828
29	0:45	0.367828
30	0:45	0.367828
31	0:50	0.399234
32	0:50	0.399234
33	0:50	0.399234
34	0:50	0.399234
35	1:00	0.63908
36	1:00	0.63908
37	1:10	0.674049
38	1:10	0.674049
39	1:10	0.674049
40	1:15	0.690242
41	1:15	0.690242
42	1:15	0.690242
43	1:15	0.690242
44	1:20	0.70563
45	1:25	0.720254
46	1:25	0.720254
47	1:30	0.734151
48	1:50	0.783171
49	1:50	0.783171
50	1:50	0.783171
51	1:55	0.793943
52	2:10	0.882358

53	2:15	0.888202
54	4:10	0.984675
55	7:55	0.99954
56	8:10	0.99973

Tableau IV.10. Calculs de la maintenabilité

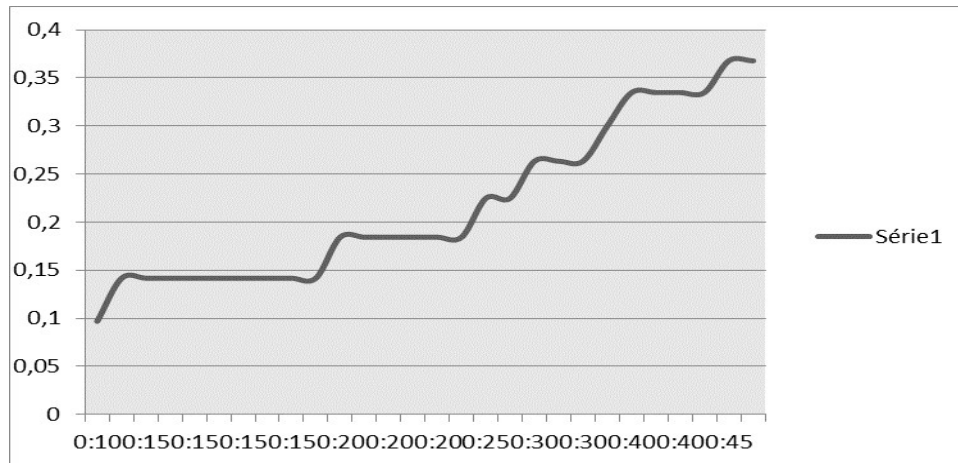


Figure IV.6. Les courbes de maintenabilité

Le figure IV.6 illustre la maintenabilité en fonction du temps de panne (TTR), on remarque d’après la courbe de cette figure que la maintenabilité augmente avec l’augmentation du temps de réparation (temps de panne).

IV.5.6. La disponibilité :

IV.5.6.1. La disponibilité intrinsèque théorique

La disponibilité intrinsèque théorique en fonction de moyenne de bon fonctionnement et de moyenne de réparation est exprimée par :

$$D = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \tag{IV-10}$$

A.N

$$D = \frac{629.411}{629.411+0.98125} \tag{IV-11}$$

Alors **D =0.998443**

IV.5.7.2. La disponibilité instantanée

La disponibilité instantanée en fonction du taux de défaillance et du taux de réparation est exprimée comme suit :

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (IV-12)$$

Les résultats de calculs et de simulation sont montrés par le tableau et la figure suivantes :

N°	TTR	D(t)
1	0:10	0.99984
2	0:15	0.99978
3	0:15	0.99978
4	0:15	0.99978
5	0:15	0.99978
6	0:15	0.99978
7	0:15	0.99978
8	0:15	0.99978
9	0:15	0.99978
10	0:15	0.99978
11	0:20	0.99971
12	0:20	0.99971
13	0:20	0.99971
14	0:20	0.99971
15	0:20	0.99971
16	0:20	0.99971
17	0:25	0.99965
18	0:25	0.99965
19	0:30	0.99959
20	0:30	0.99959
21	0:30	0.99959
22	0:35	0.99953
23	0:40	0.99948
24	0:40	0.99948

25	0:40	0.99948
26	0:40	0.99948
27	0:45	0.99942
28	0:45	0.99942
29	0:45	0.99942
30	0:45	0.99942
31	0:50	0.99938
32	0:50	0.99938
33	0:50	0.99938
34	0:50	0.99938
35	1:00	0.999009
36	1:00	0.999009
37	1:10	0.998955
38	1:10	0.998955
39	1:10	0.998955
40	1:15	0.9989306
41	1:15	0.9989306
42	1:15	0.9989306
43	1:15	0.9989306
44	1:20	0.9989068
45	1:25	0.9988842
46	1:25	0.9988842
47	1:30	0.9988626
48	1:50	0.9987868
49	1:50	0.9987868
50	1:50	0.9987868
51	1:55	0.9987702

52	2:10	0.9986335
53	2:15	0.9986244
54	4:10	0.9984755
55	7:55	0.9984527
56	8:10	0.9984524

Tableau IV.11. La disponibilité instantanée

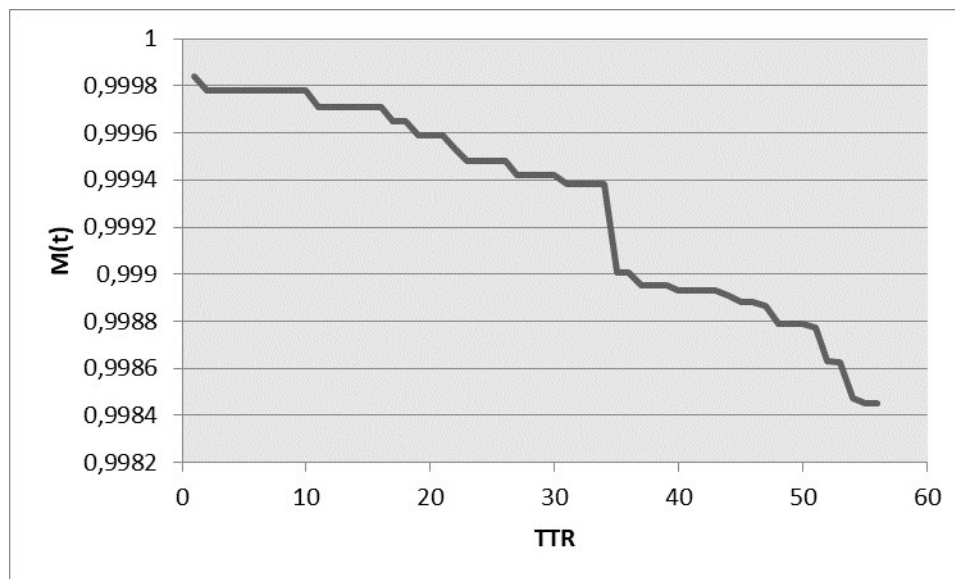


Figure IV.6. La courbe de la disponibilité instantanée

Enfin, nous pouvons conclure d’après les résultats obtenus que la fiabilité de la pompe centrale soit réduite, le temps de panne est très élevé et le taux de défaillance est considérable.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons apporté l’historique de panne de la pompe centrale de quatre années 2017, 2018, 2019 et 2020 grâce au stage qu’on a fait au sien de la société algal plus . A partir de cet historique, on a calculé les temps de bon fonctionnement à travers leurs conditions de fonctionnement. La fiabilité, le taux de défaillance, la fonction de répartition, la densité de probabilité, la maintenabilité et la disponibilité sont calculés à l’aide du logiciel Minitab, et les résultats obtenus ont montrés que la fiabilité de la pompe principale soit réduite et le temps de panne et le taux de défaillance soient croissants. Pour améliorer la fiabilité à une valeur souhaitée (80%), il faut appliquer les opérations et les différents techniques de la maintenance pour minimiser le temps de panne et maximiser le temps de bon fonctionnement.

Conclusion Générale

Conclusion Générale :.....

Conclusion Générale :

La maintenance a pour but d'améliorer les performances et le niveau de sureté de fonctionnement des systèmes par la réduction du temps de panne et l'amélioration du temps de bon fonctionnement.

Dans notre travail, nous avons étudié l'importance de la maintenance dans le domaine industriel et leur influence sur la production et le profit économique. L'application d'une politique de maintenance sur un système électromécanique permet de réduire sa probabilité de défaillance, améliorer sa disponibilité et augmenter son rendement.

Nous avons fait un stage pratique au sien de l'entreprise ALGAL+ de M'sila plus précisément dans la zone industrielle, pour avoir des connaissances pratiques sur leur fonctionnement de cette entreprise d'une part et d'extraire l'historique de panne de la chaine de production (Pompe principale) d'une autre part. L'historique de panne du système choisi a permis d'applique la méthode nécessitée qui permet de choisir entre plusieurs problèmes ceux qui doivent être traite en priorité. Pour choisir la méthode de calculs de fonction de répartition, de fiabilité, de densité de probabilité et du taux de défaillance, les paramètres de la loi de Weibull ont été calculés puis validé par le test de KOLMOGOROV SMIRNOV (détermine l'écart entre la fonction théorique et la fonction réel). On a utilisé le logiciel MINITAB pour trouver les paramètres de Weibull et les programmes sous EXCEL pour visualiser les courbes de fonction de répartition, de densité de probabilité, de fiabilité, du taux de défaillance, de maintenabilité et de disponibilité. La fiabilité de la pompe principale est réduite et pour l'améliorer à une valeur de 80 %, il faut intervenir chaque temps systématique 636.28 min.

On a recommandé à la société Algale plus à exploiter la nouvelle technique de la maintenance pour détecter les défaillances. Dans les travaux futurs, nous allons améliorer le rendement des équipements de l'entreprise par la proposition d'une stratégie de maintenance efficace pour garantir la continuité de fonctionnement et avoir un diagnostic précoce dans le cas d'apparaitre d'un défaut.

*Références
Bibliographiques*

Bibliographie :.....

Bibliographie :

- [1]. Abdallah KABOUCHE, « Techniques de Maintenance Prédicative pour l'Amélioration de la disponibilité des Installations » Doctorat d'état, université de Annaba, 2013.
- [2]. Abdelhadi Benkhelifa "Fiabilité Des Equipements De D.T.M., Analyse Fonctionnelle Et Implications Organisationnelles De La Fonction Maintenance De Transport" Mémoire De Master, Université D'Ouargla 2011.
- [3]. Ahmad ALALI ALHOUAIJ « Contribution à l'optimisation de la maintenance dans un contexte distribué », [Maintenance industrielle : Définition, applications, métiers, formation, etc. \(amalo-recrutement.fr\)](http://amalo-recrutement.fr), Thèse de doctorat, Institut polytechnique de Grenoble, Université de Grenoble, 2010.
- [4]. Bolaers F, Dron J.P, Rasolofondraibe L, «Prédiction et suivi de l'évolution d'un 134 écaillage de fatigue de roulement par analyse vibratoire». XVIème Congrès Français de mécanique, Nice, (2003).
- [5]. Houssam CHOUIKHI, « Optimisation des stratégies de maintenance verte pour les systèmes de production de biens et de services », Thèse de doctorat, l'Université de Lorraine, 2012, France.
- [6]. ISET Nabeul, « cours Approche de la Maintenance Industrielle », 2013/2014.
- [7]. Jean HENGE. « Pratique de maintenance préventive », livre, (dunod).
- [8]. Jérémy Laurens « Mise en place d'un plan de maintenance préventive sur un site de production pharmaceutique », mémoire de doctorat UNIVERSITÉ JOSEPH FOURIER, Année 2011.
- [9]. KADI Mohammed / GANA Djamel Eddine « ETUDE ET AMELIORATION FMD D'UNE MOTOPOMPE CENTRIFUGE ».Mémoire master professionnelle. Université Kasdi Merbah–Ouargla.08/06/2014.
- [10]. Landolsi Foued, «Cours De Techniques de Surveillance, Partie I Surveillance Des Machines Par Analyse Vibratoire».
- [11]. M .T. Nabti, « Etude de l'évolution des indicateurs spectraux et cestreaux dans la détection des défauts mécaniques ».Mémoire de Magister. Université Ferhat Abbas Sétif (2011).
- [12]. MICHEL DEMERS « DÉVELOPPEMENT D'UNE MÉTHODOLOGIE D'OPTIMISATION DE LA MAINTENANCE PAR LA FIABILITÉ POUR LES SYSTÈMES COMPLEXES: APPLICATION À UN GROUPE ÉLECTROGÈNE DIESEL DE SECOURS »UNIVERSITÉ DU QUÉBEC, AOUT 1998.
- [13]. Omar DJEBILI ; «Contribution à la maintenance prédictive par analyse vibratoire des composants mécaniques tournants. Application aux butées à billes soumises à la fatigue de contact de roulement». Thèse de doctorat, Université De Reims Champagne Ardenne (2013).
- [14]. TAWAFOQ ishaq «Extraction d'indicateurs robustes pour le diagnostic des défauts mécaniques : Comparaison de L'EMD et des ondelettes (WT) » mémoire de magister, UNIVERSITE FERHAT ABBAS – SETIF.
- [15]. Techniques D'ingénieur (T 4 300-30) Fiabilité. Maintenabilité.

ANNEX

Annexe 01 : Tableau de loi Kolmogorov-Smirnov

N Taille de l'échan tillon	Niveau de signification de D				N Taille de l'écha ntillon	Niveau de signification de D			
	bilatéral		unilatéral			bilatéral		unilatéral	
	0,05	0,01	0,05	0,01		0,05	0,01	0,05	0,01
5	0,56 5	0,669	0,509	0,62 7	24	0,269	0,323	0,242	0,301
6	0,52 1	0,618	0,468	0,57 7	25	0,264	0,317	0,238	0,295
7	0,48 6	0,577	0,436	0,53 8	26	0,259	0,311	0,233	0,290
8	0,45 7	0,543	0,410	0,50 7	27	0,254	0,305	0,229	0,284
9	0,43 2	0,514	0,388	0,48 0	28	0,250	0,300	0,225	0,279
10	0,41 0	0,490	0,369	0,45 7	29	0,246	0,295	0,221	0,275
11	0,39 1	0,468	0,352	0,43 7	30	0,242	0,290	0,18	0,270
12	0,37 5	0,450	0,338	0,41 9	31	0,238	0,285	0,214	0,266
13	0,36 1	0,433	0,326	0,40 4	32	0,234	0,281	0,211	0,262
14	0,34 9	0,418	0,314	0,39 0	33	0,231	0,277	0,208	0,258
15	0,33 8	0,404	0,304	0,37 7	34	0,227	0,273	0,205	0,254
16	0,32 8	0,392	0,295	0,36 6	35	0,224	0,269	0,202	0,251
17	0,31 8	0,381	0,286	0,35 5	36	0,221	0,265	0,199	0,247
18	0,30 9	0,371	0,279	0,34 6	37	0,218	0,262	0,197	0,244
19	0,30 1	0,363	0,271	0,33 7	38	0,215	0,258	0,194	0,241
20	0,29 4	0,356	0,265	0,32 9	39	0,213	0,255	0,192	0,238
21	0,28 7	0,344	0,259	0,31 2	40	0,210	0,252	0,189	0,235
22	0,28 1	0,337	0,253	0,31 4	>40	1,36/ racine(N)	1,63/ racine(N)	1,22/ racine(N)	1,52/ racin e(N)

ANNEXE :.....

23	0,27 5	0,330		0,248	0,30 7						
----	-----------	-------	--	-------	-----------	--	--	--	--	--	--

Annexe 02 : Historique de panne de la société

2017	mars	pompe principal	23/03/2017	0:25	1
	mai	pompe principal	23/05/2017	0:15	1
			28/05/2017	1:30	1
	octobre	pompe principal	03/10/2017	7:55	6
			04/10/2017	0:20	1
novembre	pompe principal	13/11/2017	0:15	1	
2018	janvier	pompe principal	31/01/2018	0:30	1
	mars	pompe principal	07/03/2018	0:15	1
	juin	pompe principal	06/06/2018	0:25	1
			13/06/2018	0:20	1
			25/06/2018	0:45	2
			26/06/2018	0:15	1
	juillet	pompe principal	02/07/2018	1:10	5
			03/07/2018	1:00	4
			30/07/2018	0:40	1
	août	pompe principal	26/08/2018	0:20	1
	SeptembreMM/	pompe principal	03/09/2018	0:20	1
			04/09/2018	1:10	2
			22/09/2018	8:10	2
			25/09/2018	0:10	1
	octobre	pompe principal	28/10/2018	0:35	2
2019	décembre	pompe principal	15/12/2019	2:10	4
2020	janvier	pompe principal	06/01/2020	0:50	2
			07/01/2020	1:15	3
			12/01/2020	0:50	2
			15/01/2020	0:15	1
			16/01/2020	0:40	1
			19/01/2020	1:15	2
			20/01/2020	1:50	3
			22/01/2020	1:00	1
			23/01/2020	1:20	1
			26/01/2020	1:15	1
	février	pompe principal	02/02/2020	0:45	1
			03/02/2020	2:15	2
			04/02/2020	0:50	2
			05/02/2020	0:15	2
			06/02/2020	1:50	1
			08-02-2020	0:30	1
			10/02/2020	1:55	3
	mars	pompe principal	05/03/2020	1:50	3
			06/03/2020	1:10	6

ANNEXE :.....

			09/03/2020	0:45	2
			10/03/2020	4:10	5
			11/03/2020	0:50	1
			13/03/2020	0:30	1
			16/03/2020	1:25	3
			21/03/2020	0:15	1
avril	pompe principal		02/04/2020	1:15	2
			14/04/2020	0:45	2
			15/04/2020	1:25	1
juin	pompe principal		17/06/2020	0:40	1
			19/06/2020	0:15	1
			20/06/2020	0:40	3
septembre	pompe principal		04/09/2020	0:20	1
			13/09/2020	0:15	1
décembre	pompe principal		30/12/2020	0:20	1

Le tableau suivant représente les valeurs de A et B en fonction de β

β	A	B	β	A	B	β	A	B
0.50	2.0000	4.470	1.50	0.9027	0.613	3.00	0.8930	0.325
0.55	1.7024	3.350	1.55	0.8994	0.593	3.10	0.8943	0.316
0.60	1.5046	2.650	1.60	0.8966	0.574	3.20	0.8957	0.307
0.65	1.3663	2.180	1.65	0.8942	0.556	3.30	0.8970	0.299
0.70	1.2638	1.850	1.70	0.8922	0.540	3.40	0.8984	0.292
0.75	1.1906	1.610	1.75	0.8906	0.525	3.50	0.8997	0.285
0.80	1.1330	1.430	1.80	0.8893	0.511	3.60	0.9011	0.278
0.85	1.0880	1.290	1.85	0.8882	0.498	3.70	0.9025	0.272
0.90	1.0522	1.770	1.90	0.8874	0.486	3.80	0.9038	0.266
0.95	1.0234	1.080	1.95	0.8867	0.474	3.90	0.9051	0.260
1.00	1.0000	1.000	2.00	0.8862	0.463	4.00	0.9064	0.254
1.05	0.9803	0.934	2.10	0.8857	0.443	4.10	0.9077	0.249
1.10	0.9649	0.878	2.20	0.8856	0.425	4.20	0.9089	0.244
1.15	0.9517	0.830	2.30	0.8859	0.409	4.30	0.9102	0.239
1.20	0.9407	0.787	2.40	0.8865	0.393	4.40	0.9114	0.235
1.25	0.9314	0.750	2.50	0.8873	0.380	4.50	0.9126	0.230
1.30	0.9236	0.716	2.60	0.8882	0.367	4.60	0.9137	0.226
1.35	0.9170	0.687	2.70	0.8893	0.355	4.70	0.9147	0.222
1.40	0.9114	0.660	2.80	0.8905	0.344	4.80	0.9160	0.218
1.45	0.9067	0.635	2.90	0.8917	0.334	4.90	0.9171	0.214

Table de valeurs de A et B en fonction de β .

ANNEXE :

α	0.20	0.15	0.10	0.05	0.01
N					
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	0.610
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	0.338	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	0.258	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	0.21	0.22	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.20	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.19	0.21	0.23	0.27
> 35	$1.07/\sqrt{N}$	$1.14/\sqrt{N}$	$1.22/\sqrt{N}$	$1.36/\sqrt{N}$	$1.63/\sqrt{N}$

Table d'ajustement de Kolmogorov-Smirnov .

ملخص

تعتبر الصيانة الصناعية مهمة للغاية بالنسبة للشركات، والتي تهدف إلى ضمان التشغيل السليم واستمرارية مرافق الإنتاج، وهي وظيفة استراتيجية في مجال الأعمال التطبيقية. ترتبط ارتباطًا وثيقًا بالتطور التكنولوجي المستمر. في هذا العمل؛ سنقوم بتحسين معايير السلامة التشغيلية للمحرك الهيدروليكي لشركة (Algal) في المسيلة بفضل دراسة إحصائية لأعطال هذا النظام وللحصول على حلول فعالة للحد من هذه الأعطال خلال فترة التشغيل.

Résumé

La maintenance industrielle est extrêmement importante pour les entreprises, qui vise à assurer le bon fonctionnement et la continuité des installations de production, est une fonction stratégique dans le domaine des affaires appliquées. Etroitement liée au développement technologique continu. Dans ce travail, Nous allons améliorer les paramètres de la sûreté de fonctionnement de la pompe hydraulique de l'entreprise (Algal) à M'sila grâce à une étude statistique des dysfonctionnements de ce système et recommander des solutions efficaces pour réduire ces dysfonctionnements pendant la période d'exploitation.

Abstract

Industrial maintenance is extremely important for companies, which aims to ensure the proper functioning and continuity of production facilities, is a strategic function in the field of applied business. Closely linked to continuous technological development. In this work; We will improve the parameters of the operating safety of the hydraulic pump of the company (Algal) in M'sila through a statistical study of the malfunctions of this system and recommend effective solutions to reduce these malfunctions during the operating period.