

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA-BEJAIA



Faculté de Technologie

Département de Génie électrique

Mémoire fin d'étude

Option : Electromécanique

Spécialité : Maintenance industriel

THEME

**Etude et calcul de la fiabilité des engins
portuaires de manutention (les grues et les
chariots élévateurs) au niveau de l'entreprise
portuaire Bejaïa (EPB)**

Préparé par :

YAHIAOUI Nabil

FENNOUCH Hamza

Encadré par :

Talit BELHOUL

PROMOTION : 2023/2024

Remerciement

Avant tout nous remercions ALLAH le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté, la patience et la santé pour mener à terme la réalisation de notre mémoire de fin d'étude.

En premier lieu, nous exprimons notre profonde gratitude à notre promotrice madame T. BELHOUL pour ses conseils judicieux et son confiance. De plus, nous tenons à la remercier de nous avoir assuré l'encadrement et la documentation nécessaire pour l'élaboration de ce mémoire.

Nous remercions aussi l'entreprise portuaire Bejaïa [EPB] ainsi que Mr AZIBI Mourad pour avoir proposé et dirigé ce travail, pour sa disponibilité, ses remarques et son temps consacré à nous aider.

Nos remerciements vont également aux membres de jury d'avoir accepté de juger notre travail



Sommaire

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Liste des symboles

Introduction générale	1
I.1. Présentation d'entreprise portuaire de Bejaïa (EPB)	2
I.2. Historique et tache de l'EPB	3
I.3. Organigramme de l'entreprise portuaire de Bejaïa(EPB	4
I.4. Généralité sur la maintenance	5
I.4.1. Introduction	5
<i>I.4.2. Définition</i>	5
<i>I.4.3. Objectifs de la maintenance</i>	5
<i>I.4.4. Types de maintenance</i>	6
I.4.4.1. Maintenance corrective	6
I.4.4.2 Maintenance préventive	6
I.5. Généralités sur la fiabilité	8
<i>I.5.1. Fiabilité</i>	8
I.5.2. Application de la fiabilité	8
I.5.2.1. Différents loi de fiabilité	9
I.5.2.1.1. Loi Binomiale	9
I.5.2.1.2. Loi de Poisson	9
I.5.2.1.3. La loi normale	10
I.5.2.1.5. Loi de weibull	10
I.6.Paramètres de la fiabilité MTBF, MTTR, MTTA	11
<i>I.6.1. Moyenne des temps techniques de réparation</i>	11
<i>I.6.2. Moyenne de temps de bon fonctionnement</i>	11
<i>I.6.3. Moyenne des temps de défaillance</i>	11
<i>I.6.4. Taux de défaillance et de réparation</i>	11
I.6.4.1. Taux de défaillance	11
I.6.4.1.1. Evolution du taux de défaillance	11
I.6.4.1.2. Taux de réparation	12

I.7. Méthodes d'analyse de la maintenance	12
<i>I.7.1. Diagramme de Pareto</i>	<i>12</i>
<i>I.7.2. Analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)</i>	<i>12</i>
I.8. Description des engins portuaires Les grues	13
<i>I.8.1. Grues</i>	<i>13</i>
<i>I.8.1.1. Définition</i>	<i>13</i>
<i>I.8.1.2. Type des grues</i>	<i>13</i>
<i>I.8.1.3. Différent types de grue portuaire</i>	<i>15</i>
I.8.2 Chariot élévateur	19
<i>I.8.2.1. Définition</i>	<i>19</i>
<i>I.8.2.2. Type du chariot élévateur</i>	<i>19</i>
<i>I.8.2.3 Fiche technique du chariot élévateur étudié (CT111)</i>	<i>20</i>
<i>Voici la fiche technique du chariot élévateur étudié (CT111) :</i>	<i>20</i>
<i>I.8.2.4. Composant du chariot élévateur</i>	<i>21</i>
I.9. Conclusion	22
II.1. Introduction :	22
II.2. Etude et calcul de la fiabilité de la grue	22
<i>II.2.1. Historique des pannes</i>	<i>22</i>
<i>II.2.2. Calcul de temps de bon fonctionnement</i>	<i>23</i>
<i>II.2.3. Classement et calcul de temps de réparation de la fiabilité du système :</i>	<i>24</i>
<i>II.2.4. Application de la loi de Weibull :</i>	<i>25</i>
<i>II.2.5. Calcul les différentes fonctions $R(t_i)$, $F(t_i)$, $\lambda(t_i)$ et $f(t_i)$:</i>	<i>25</i>
<i>III.2.6. Test d'adéquation (test Kolmogorov-Smirnov) :</i>	<i>27</i>
<i>II.2.7. Calcul de la fiabilité de la grue :</i>	<i>27</i>
<i>II.2.8. La fonction de fiabilité</i>	<i>27</i>
<i>II.2.9. Fonction de la répartition</i>	<i>29</i>
<i>II.2.10. Fonction de densité de probabilité théorique</i>	<i>30</i>
<i>III.2.11. Fonction de taux de défaillance</i>	<i>31</i>
<i>II.2.12. Analyse des résultats de la fiabilité de système</i>	<i>32</i>
<i>II.2.13. Diagramme de PARETO et classification ABC</i>	<i>32</i>
II.3. Etude et calcul de la fiabilité du chariot élévateur	34
<i>II.3.1. Historique des pannes</i>	<i>34</i>

II.3.2. Calcul de temps de bon fonctionnement	34
II.2.3. Classement et calcul de temps de répartition de la fiabilité du système.....	35
III.3.4. Application de la loi de Weibull	36
II.3.5. Calcul les différentes fonctions $R(t_i)$, $F(t_i)$, $\lambda(t_i)$ et $f(t_i)$	36
II.3.6. Test d'adéquation (test Kolmogorov-Smirnov) :	37
II.3.7. Calcul de la fiabilité du chariot élévateur	37
II.3.8. Fonction de fiabilité théorique.....	38
II.3.9. Fonction de la réparation théorique	39
II.3.11. Fonction de taux de défaillance	40
II.3.12. Analyse des résultats de fiabilité.....	41
II.3.13. Diagramme de PARETO et classification ABC.....	41
II.4. Conclusion.....	43
III.1. Introduction.....	44
III.2. Optimisation des politiques de maintenance	44
III.2.1. Politique de maintenance selon l'âge	45
III.2.2 Politique de maintenance en bloc	45
III.3. Estimation des coûts	46
III.3.3. L'estimation de perte de production.....	47
III.4. Elément de sortie.....	47
III.5. Cas d'étude de la grue	47
VI.5.1. Comparaison des coûts des deux politiques	48
VI.5.2. Politique de maintenance en bloc pour la grue	48
VI.5.3. Politique de maintenance selon l'âge pour la grue	49
III.5.4. Interprétation des résultats.....	50
III.6. Cas d'étude du chariot élévateur.....	51
III.6.1. Comparaison des coûts des deux politiques	51
III.6.2. Politique de maintenance en bloc pour le chariot élévateur.....	51
III.6.3. Politique de maintenance selon l'âge pour le chariot élévateur.....	51
III.6.4. Interprétation des résultats.....	52
III.7. Conclusion	53
Conclusion générale.....	56



Liste des figures

Liste des figures

Chapitre I :

Figure I .1 : Port de Bejaïa.....	2
Figure I.2 : Schéma d'organigramme de l'entreprise portuaire de Bejaïa (EPB)	4
Figure I.3 : Intervention préventive systématique	7
Figure I.4 : Intervention non programmable	7
Figure I.5 : Probabilités complémentaire.	9
Figure I.6 : Courbe en baignoire	12
Figure I.7 : Grue à montage par éléments	13
Figure I.8 : Grue à montage automatisé	13
Figure I.9 : Grues à tour	14
Figure I.10 : Grues mobiles	15
Figure I.11 : Composant de la grue [1].....	18
Figure I.12 : Exemple d'un chariot élévateur.	19
Figure I.13 : Composant du chariot élévateur	21
Figure II.1 : La courbe de Weibull de la grue	25

Chapitre II :

Figure II.2 : Courbe de fonction de fiabilité.....	28
Figure II.3 : Courbe de fonction de répartition théorique	29
Figure II.4 : Courbe de densité de probabilité.	30
Figure III.5 : Courbe de taux de défaillance	31
Figure II.6 : Diagramme de Pareto pour la grue.....	33
Figure II.7 : La courbe de Weibull du chariot élévateur	36
Figure II.8 : Courbe de fonction de fiabilité.....	38
Figure II.9 : Courbe de fonction de répartition théorique	39

Figure II.10 : Courbe de densité de probabilité	40
Figure II.11 : Courbe de taux de défaillance	40
Figure II.12 : Diagramme de Pareto pour le chariot élévateur	42

Chapitre III :

Figure III.1 : Les coûts de maintenance en fonction de la fréquence des interventions	44
Figure III.2 : Séquence d'événement pour la stratégie de maintenance de type l'âge	45
Figure III.3 : Séquence d'événement pour la stratégie de maintenance de type l'âge	45
Figure III.5 : Comportement de coût en fonction de l'âge de remplacement.....	52



Liste des tableaux

Liste des tableaux

Chapitre I :

Tableau I.1 : Fiche technique de la grue étudiée (GL213) [1]	17
Tableau I.2 : Fiche technique du chariot élévateur étudié (CT111)	20

Chapitre II

Tableau II.1 : Historique des pannes de la grue	22
Tableau II.2 : Calcul de temps de bon fonctionnement de la grue	23
Tableau II.3 : La fonction de répartition et de fiabilité de la grue.....	24
Tableau II.4 : Les différentes fonctions de la loi de Weibull	26
Tableau II.5 : Durée de panne de différents organes.	32
Tableau II.6 : Historique des pannes de chariot élévateur.....	34
Tableau II.7 : Calcul de temps de bon fonctionnement de chariot élévateur	35
Tableau II.8 : La fonction de répartition et de fiabilité du chariot élévateur	35
Tableau II.9 : Les différentes fonctions de la loi de Weibull	37
Tableau II.10 : Durée de panne de différents organes	41

Chapitre III

Tableau III.1 : Les résultats des coûts pour la grue	50
Tableau III.2 : Les résultats des coûts pour le chariot élévateur	52



Liste des abréviations

Liste des abréviations

AFNOR : Association française de normalisation.

MTBF : Moyenne des Temps de Bon Fonctionnement

MUT : Durée Moyenne de fonctionnement après répartition.

MTTF : Temps Moyen de bon Fonctionnement.

NF : La norme française.

Ipsi : Intervention préventive systématique.

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

MTTR : Temps Moyen de Répartition.



Liste des symboles

Liste des symboles

t : Une variable de temps.

R (t) : La fiabilité du système.

f (t) : La densité de probabilité.

M (t) : La maintenabilité

E (t) : L'espérance mathématique.

λ (t) : Le taux de défaillance.

μ (t) : Le taux de réparation.

β (beta) : Paramètre de forme de la loi de Weibull.

η (éta) : Paramètre d'échelle de la loi de Weibull.

γ (gamma) : Paramètre de position de la loi de Weibull.

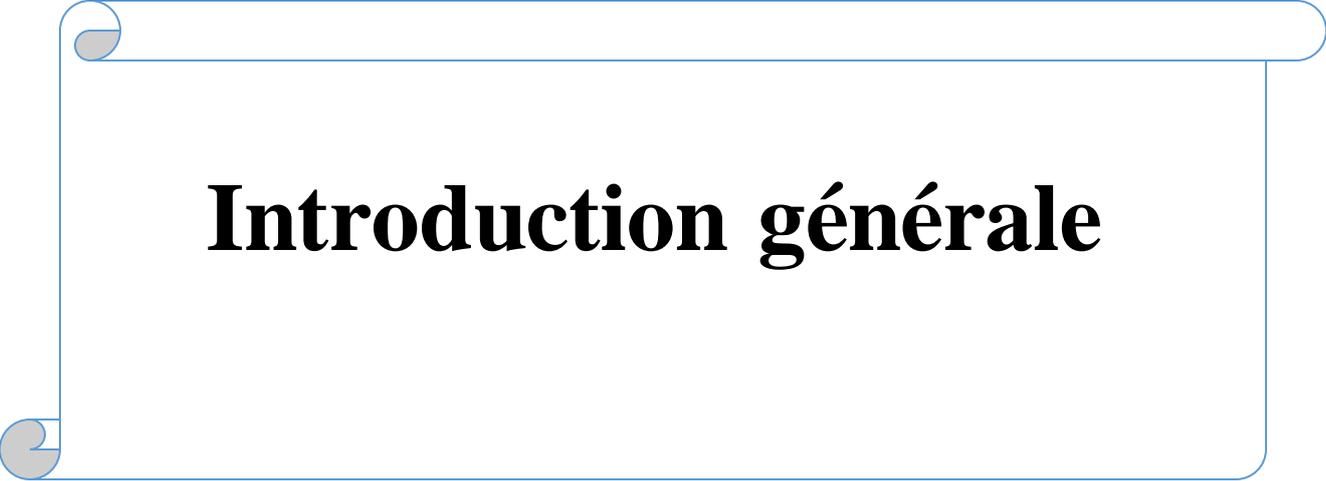
α (alpha) : Paramètre de la loi de Gamma.

Ni : Nombre.

Ni : Nombre d'intervention.

Dn_{max} : La fréquence maximale.

F (th) : La fonction de répartition.



Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

La maintenance est essentielle et joue un rôle important dans de nombreux secteurs. Que ce soit pour la gestion des infrastructures, des machines industrielles, des véhicules, des systèmes informatiques et électroniques, ou même des bâtiments. Son objectif premier est de prévenir les pannes et les défaillances en effectuant régulièrement des activités de surveillance, d'entretien et de réparation. Cette démarche vise à optimiser la disponibilité des équipements, à minimiser les interruptions dans les processus de production, à accroître la sécurité et à diminuer les coûts associés aux réparations d'urgence ou au remplacement prématuré du matériel. En résumé, la maintenance constitue un pilier fondamental pour assurer le bon fonctionnement et la durabilité des infrastructures et des équipements dans une variété de domaines.

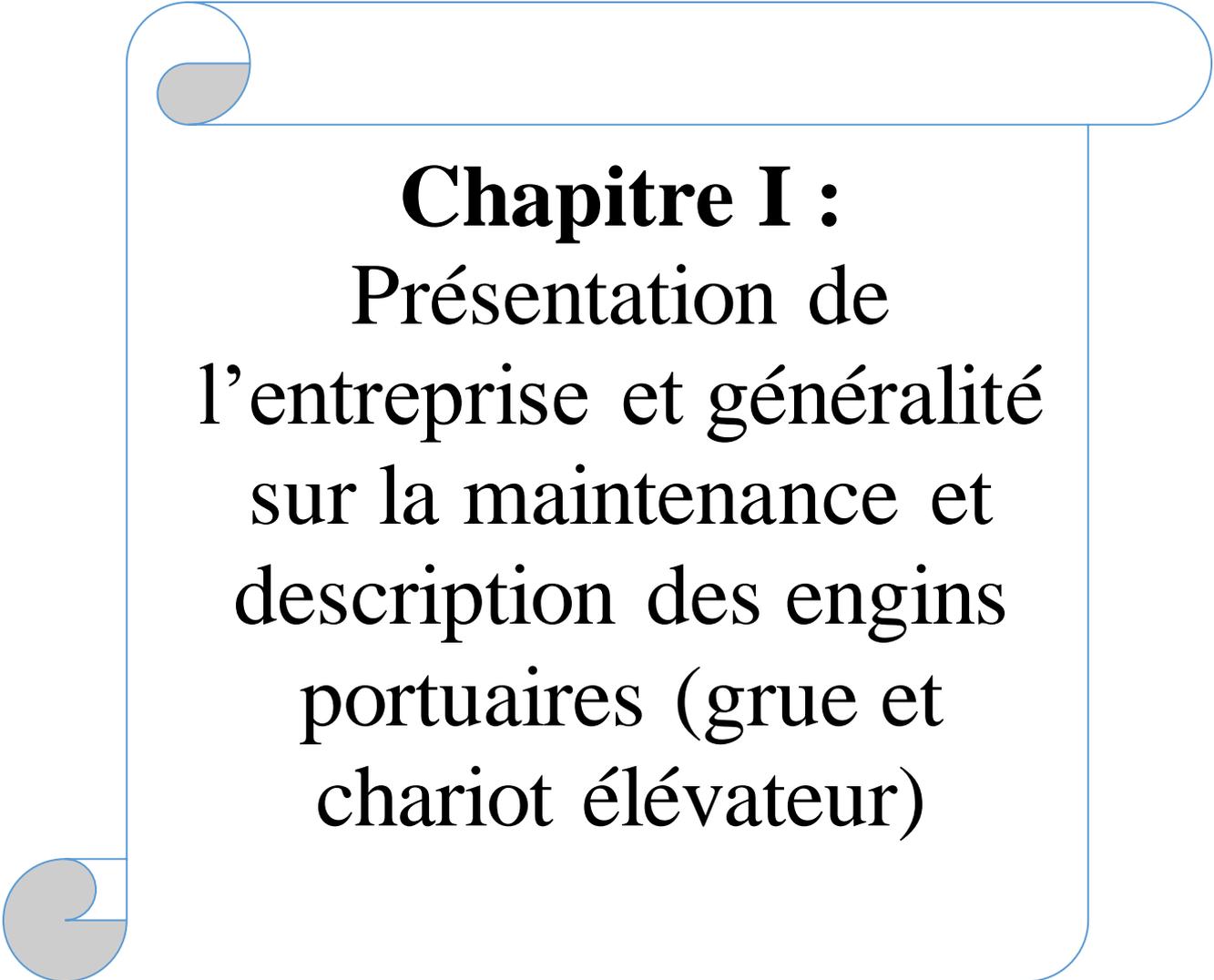
La présence de la maintenance est nécessaire dans l'entreprise car elle permet de prendre soin des équipements et d'éviter les défaillances. Ce qui fait que le pourcentage des risques à l'entreprise va diminuer [1].

Dans ce mémoire, nous allons prendre une grue et un chariot élévateur comme deux exemples d'application pour étudier et analyser leur fiabilité. Notre mémoire est divisé en trois chapitres.

Dans le premier chapitre nous allons présenter l'entreprise portuaire Bejaïa (EPB) où on a suivi notre stage pratique. Ensuite nous allons citer les généralités sur la maintenance en la définissant et décrivant ses différents types, enfin nous ferons une description des engins portuaires (grues et chariot élévateur).

Dans le deuxième chapitre, nous examinons les périodes de bon fonctionnement des systèmes étudiés en utilisant le fichier historique de l'entreprise. Nous utiliserons le logiciel EasyFit pour déterminer les paramètres de la loi de Weibull afin de calculer la fiabilité de nos systèmes. Et on terminera par l'analyse des résultats en utilisant la méthode de Pareto.

Le troisième chapitre sera consacré à l'optimisation de la politique de maintenance. D'après nos données et calculs, nous avons proposé la meilleure politique de maintenance pour chaque système étudié.



Chapitre I :
Présentation de
l'entreprise et généralité
sur la maintenance et
description des engins
portuaires (grue et
chariot élévateur)

I.1. Présentation d'entreprise portuaire de Bejaïa (EPB)

Le port de Bejaia joue un rôle très important dans les transactions internationales vu sa place et sa position géographique.

Aujourd'hui, il est classé 2^{ème} port d'Algérie en marchandises générales et 3^{ème} port pétrolier. Il est également le 1^{er} port du bassin méditerranéen certifié ISO 9001 :2000 pour l'ensemble de ses prestations, et à avoir ainsi installé un système de management de la qualité. Cela constitue une étape dans le processus d'amélioration continue de ses prestations au grand bénéfice de ses clients. L'Entreprise Portuaire a connu d'autres succès depuis, elle est notamment certifiée à la Norme ISO 14001 :2004 et au référentiel OHSAS 18001 :2007, respectivement pour l'environnement et l'hygiène et sécurité au travail [2].



Figure I .1 : Port de Bejaïa

I.2. Historique et tache de l'EPB

Au cœur de l'espace méditerranéen, la ville de Bejaia possède de nombreux sites naturels et vestiges historiques datant de plus de 10 000 ans, ainsi que de nombreux sites archéologiques recelant des objets d'origine remontant à l'époque néolithique.

Bejaia joua un grand rôle dans la transmission du savoir dans le bassin méditerranéen, grâce au dynamisme de son port, la sécurité de la région, la bonne politique et les avantages douaniers. Bougie a su attirer beaucoup de puissants marchands.

La Salade romaine devient un port d'embarquement de blé du grenier de Rome, ce n'est qu'aux XIème siècles, que Bégaient, devenue Enlacerai, pris une place très importante dans le monde de l'époque, le port de Bejaia devient l'un des plus importants de la méditerranée.

La réalisation des ouvrages actuels débuta en 1834, elle fut achevée en 1987. C'est en 1960 qu'a été chargé le premier pétrolier d'Algérie.

Le décret n°82-285 du 14 Août 1982 a fondé l'Entreprise Portuaire de Bejaia en tant qu'entreprise socialiste à caractère économique, conformément à la législation en vigueur. Elle a remplacé l'Office National des Ports, la Société Nationale de Manutention et une partie de la Compagnie Nationale Algérienne de Navigation.

En 1989, suite aux réformes économiques, l'entreprise a été transformée en Entreprise Publique Economique, Société par Actions (EPE-SPA), avec un capital initial de 10 millions de dinars algériens. Actuellement, son capital social est de 1.700.000.000 Da, détenu à 100% par la Société de Gestion des Participations de l'Etat "Ports" (SOGEPORIS) [2].

I.3. Organigramme de l'entreprise portuaire de Bejaïa(EPB)

Voici le Schéma d'organigramme de l'entreprise portuaire Bejaïa (EPB)

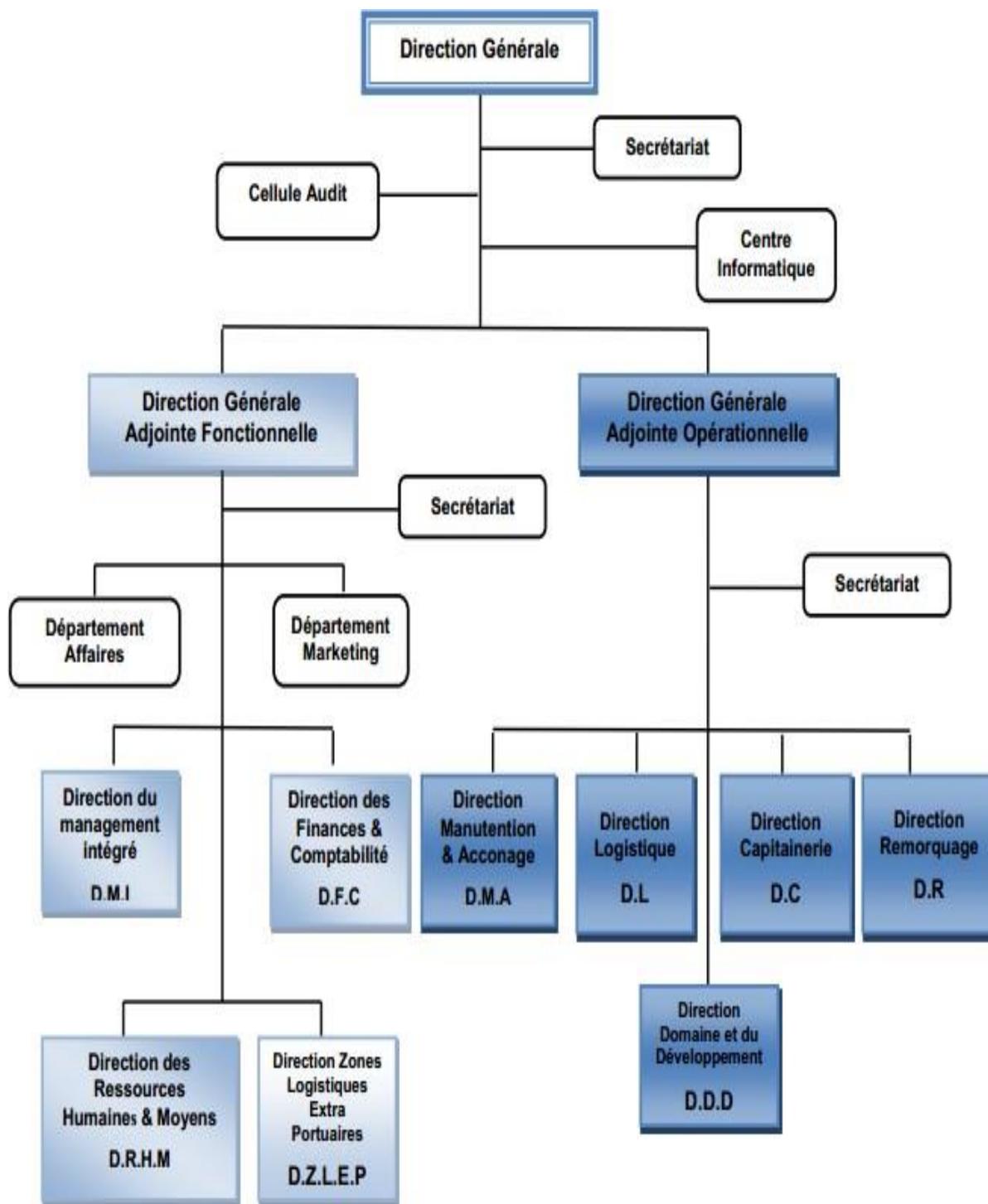


Figure I.2 : Schéma d'organigramme de l'entreprise portuaire de Bejaïa (EPB)

I.4. Généralité sur la maintenance

I.4.1. Introduction

L'augmentation de la productivité constitue un défi majeur pour les entreprises, ce qui les amène à accorder une grande importance à la sûreté de fonctionnement. Étant donné que la maintenance joue un rôle crucial dans la garantie de cette sûreté, compte tenu des coûts élevés des pannes, investir dans une stratégie de maintenance devient un élément clé pour les résultats finaux de l'entreprise. En effet, la maintenance est devenue l'une des fonctions essentielles au sein des systèmes de production industriels.

Ce chapitre propose ainsi une exploration des notions fondamentales de la maintenance et de son importance dans le domaine industriel.

I.4.2. Définition

En industrie, la maintenance est l'une des fonctions essentielles du système de production et dans les systèmes fortement automatisés, elle est une fonction capitale. La notion de maintenance est définie par la norme NF 60 010 : « c'est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ». Parfois, la maintenance constitue un élément stratégique de l'entreprise qui nécessite des moyens importants et beaucoup de dépenses [3].

Une maintenance mal organisée, mal gérée ou mal exécutée, peut avoir des impacts néfastes sur le fonctionnement du système de production :

- Arrêts multiples et indisponibilité des installations,
- Surcoûts de production,
- Grands risques de mauvaise qualité et d'indisponibilité des produits.

De même, une mauvaise maintenance ou une maintenance insuffisante, peut être parfois à l'origine d'importantes catastrophes (aéronautique, transport, nucléaire,...) et peut mettre en danger l'existence même de l'entreprise [3].

I.4.3. Objectifs de la maintenance

D'une manière générale, la maintenance a pour but d'assurer la disponibilité maximale des équipements de production à un coût optimal [3].

Les principaux objectifs que doit se fixer la fonction maintenance sont :

- Améliorer la fiabilité du matériel.
- Garantir la qualité des produits.
- Améliorer l'ordonnancement des travaux.
- Assurer les sécurités humaines.
- Améliorer la gestion de stock.

I.4.4. Types de maintenance

I.4.4.1. Maintenance corrective

La maintenance corrective est l'opération de maintenance effectuée après la détection d'une défaillance. En autre terme est l'ensemble des actions réalisées après défaillance d'un bien ou dégradation de sa fonction afin de lui permettre d'accomplir au moins provisoirement une fonction requise [4].

- **Maintenance palliative**

La maintenance préventive représente l'activité de maintenance corrective destinée à bien d'achever provisoirement tout ou partie d'une fonction requise, appelée couramment dépannage, ce type de maintenance est principalement constituée d'action à caractère provisoire qui devront être suivies d'action curatives [4].

- **Maintenance curative**

Elle représente l'activité de maintenance corrective ayant pour objectif de rétablir un bien dans un état spécifique ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise [4].

I.4.4.2 Maintenance préventive

La maintenance préventive est la maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinés à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien.

La maintenance préventive consiste à programmer les interventions de maintenance pour éviter les défaillances et les arrêts de production [4].

La maintenance préventive se divise en deux types :

- **Maintenance systématique**

La maintenance systématique est la maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien.

Avec cette stratégie de maintenance, les opérations peuvent être effectuées selon un calendrier préconstruit. L'intervalle entre deux interventions est donné par temps, soit par cycle de fonctionnement. Le but est juste de déterminer la périodicité d'intervention pour optimiser les critères préétablis [4].

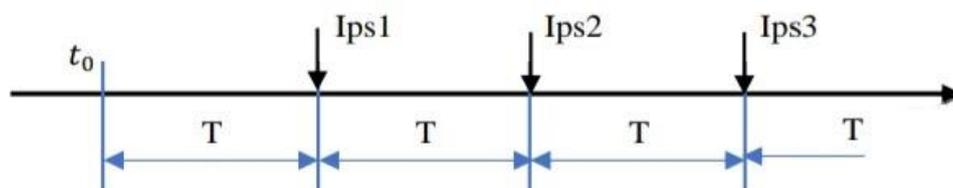


Figure I.3 : Intervention préventive systématique

- **Maintenance conditionnelle**

La maintenance conditionnelle est une "maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent". Cette forme de maintenance est aussi appelée maintenance prédictive, elle est conditionnée par l'apparition d'un type d'événement prédéterminé et révélateur de l'état de fonctionnement du système (donnée d'un capteur, mesure d'usure, résultat de diagnostic...etc.) [4].

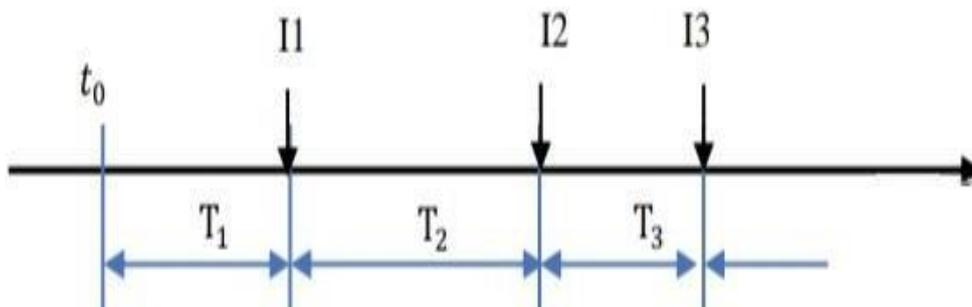


Figure I.4 : Intervention non programmable

- **Maintenance prévisionnelle**

La maintenance conditionnelle prévisionnelle est exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évolution des paramètres significatifs de la dégradation du bien. Cette politique de maintenance se définit comme étant une maintenance préventive dépendante de l'examen de l'évolution contrôlée des paramètres significatifs de dégradation d'un système, permettant de planifier les interventions nécessaires [5].

Cela pour améliorer les conditions des fonctions existantes, En effet la maintenance préventive est destinée à réduire la probabilité de défaillance, mais il subsiste une part de maintenance corrective expansible. Il est donc nécessaire de considérer des stratégies qui combinent les deux : maintenance corrective et maintenance préventive.

I.5. Généralités sur la fiabilité

I.5.1. Fiabilité

La fiabilité d'un système ou d'un matériel se réfère à sa capacité à fonctionner comme prévu dans des conditions spécifiques sur une période donnée [6].

I.5.2. Application de la fiabilité

Un dispositif mis en marche pour la première fois à $t(0)$ tombera en panne à un instant non connu à priori « t » : date de la panne est une variable aléatoire de la fonction de répartition « $F(t)$ » [6].

- $F(t)$ est la probabilité d'une défaillance avant l'instant (t_i) . $F(t) = \Pr(t < t_i)$.
- $R(t)$ est la probabilité de bon fonctionnement à (t_i) . $R(t) = \Pr(t > t_i)$.
- Probabilités complémentaires : $F(t) + R(t) = 1$

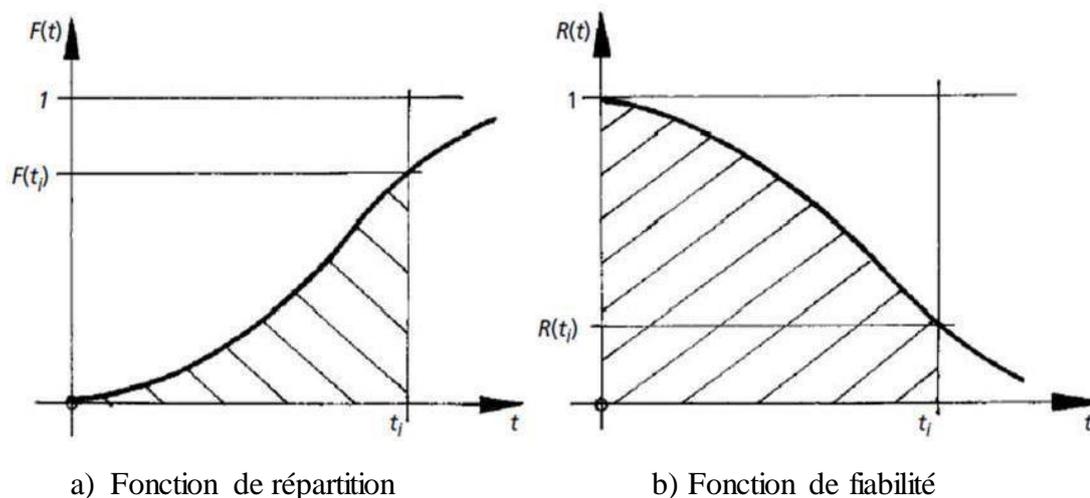


Figure I.5 : Probabilités complémentaires.

I.5.2.1. Différents loi de fiabilité

Afin d'évaluer la fiabilité, il est nécessaire de recourir à certains outils mathématiques de calcul de probabilité.[6]

Parmi les lois que nous avons :

I.5.2.1.1. Loi Binomiale

Décrite pour la première fois par Isaac Newton en 1676 et démontrée pour la première fois par le mathématicien suisse Jacob Bernoulli en 1713, la loi binomiale est l'une des distributions de probabilité les plus fréquemment rencontrées en statistique appliquée. En mathématiques, une loi binomiale de paramètres n et p est une loi de probabilité qui correspond à une expérience aléatoire à deux issues possibles, généralement dénommées respectivement « succès » et « échec », la probabilité d'un succès étant p [6].

Sa fonction de probabilité est :

$$P(x = k) = c_k^n p^k p^{n-k} \quad \text{avec} \quad c^k = \frac{n!}{(n-k)!k!} \quad [I.1]$$

- ($n \geq 0$) : nombre d'épreuves
- ($0 \leq p \leq 1$) : probabilité de succès

I.5.2.1.2. Loi de Poisson

Une variable aléatoire x suit une loi de « Poisson » si elle peut prendre les valeurs entières $0, 1, 2, 3, \dots, n$. La probabilité pour que x soit égal à k est.

$$p(x = n) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^n}{n!} \quad [I.2]$$

λ : paramètre de la loi (constante positive) [6].

I.5.2.1.3. La loi normale

Cette loi est aussi appelée loi de Gauss, en l'honneur du grand mathématicien allemand Karl Friedrich Gauss (1777-1855). La loi normale est la loi statistique la plus répandue et la plus utile, elle est utilisée afin d'approcher des probabilités associées à des variables aléatoires binomiales possédant un paramètre 'n' très grand. Elle représente beaucoup de phénomènes aléatoires. De plus, de nombreuses autres lois statistiques peuvent être approchées par la loi normale, tout spécialement dans le cas des grands échantillons. Sa fonction de fiabilité est :[6].

$$n(t) = \frac{n}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-0.5\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad [I.4]$$

Avec les paramètres de signification :

μ : est la moyenne

σ : l'écart type

n : le nombre total d'individus dans l'échantillon

n(x) : le nombre d'individus pour lesquels la grandeur analysée a la valeur x.

e : est la base de l'exponentielle (2,718...)

I.5.2.1.5. Loi de weibull

Contrairement à la loi exponentielle, la loi de Weibull convient quel que soit la valeur du taux de défaillance. Grâce à sa souplesse elle s'adapte à toutes les valeurs de $\lambda(t)$ mais elle permet en plus de déterminer dans quelle période de sa vie (jeunesse, maturité, obsolescence) se trouve le système étudié.

Outre son adaptabilité à toutes les situations, le modèle de Weibull livre d'autres informations en plus de niveau de fiabilité d'un dispositif à un instant t [7].

Les trois paramètres β , η et γ de son expression :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\eta}{\gamma}\right)^\beta} \quad [I.5]$$

Où :

- λ : Taux de défaillance [nombre de défaillance/heurs] ;

- γ : Paramètre de position de la loi de "Weibull";

- β : Paramètre de forme de la loi de "Weibull" ;

- η : Paramètre d'échelle de la loi de "Weibull".

I.6.Paramètres de la fiabilité MTBF, MTTR, MTTA

I.6.1. Moyenne des temps techniques de réparation

Le temps moyen de réparation (MTTR) fait référence au temps pour réparer un système et le restaurer à toutes ses fonctionnalités [8].

I.6.2. Moyenne de temps de bon fonctionnement

Le temps moyen de bon fonctionnement mesure le temps prévu qui s'écoule entre une défaillance précédente d'un système mécanique ou électrique et la défaillance suivante en fonctionnement normal [8].

I.6.3. Moyenne des temps de défaillance

Le temps moyen de défaillance est une mesure très basique de la fiabilité utilisée pour les systèmes non réparables. Il représente la durée de fonctionnement attendu d'un élément jusqu'à ce qu'il tombe en panne [8].

I.6.4. Taux de défaillance et de réparation

I.6.4.1. Taux de défaillance

Pour un ensemble de systèmes, le taux de défaillance représente une proportion ramenée à l'unité de temps d'éléments qui, ayant survécu à un instant arbitraire t , ne sont plus en vie à l'instant $t + dt$ [8].

Le taux moyen de défaillance s'obtient également par la relation :

$$\lambda(t) = 1 / \text{MTBF}$$

I.6.4.1.1. Evolution du taux de défaillance

Le taux de défaillance peut être assimilé à un indicateur représentatif du rythme auquel surviennent les défaillances. Il existe trois phases de vie d'un système, lors de la présentation de taux de défaillance on obtient une courbe appelée « baignoire ». Il est divisé en trois parties :

- Période de jeunesse en décroissance ce qui correspond aussi au rodage.
- Période de durée de vie utile : c'est la zone où le taux de défaillance est constant.
- période de vieillissement ou d'usure : en atteignant cet âge, le composant commence à vieillir et le taux de défaillance augmente en fonction du temps [7].

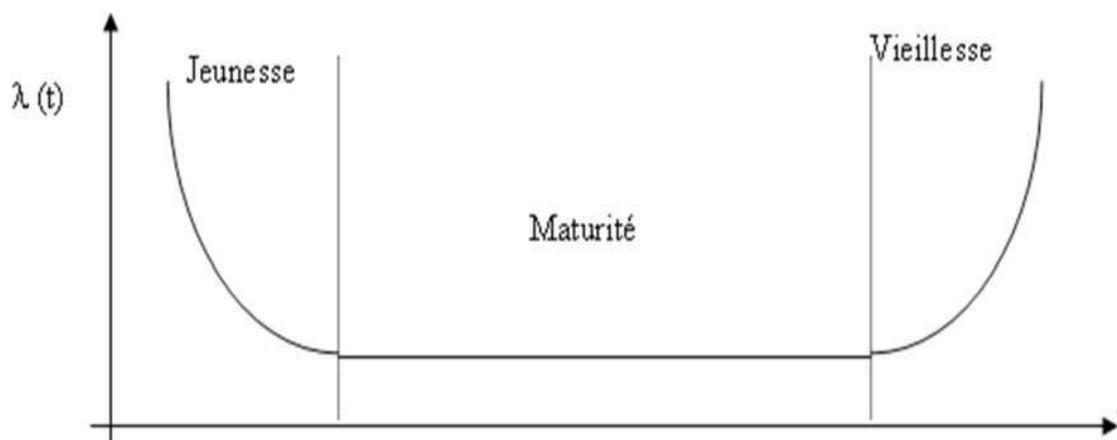


Figure I.6 : Courbe en baignoire

I.6.4.1.2. Taux de réparation

La loi de taux de répartition s'écrit : $\mu(t) = 1 / \text{MTTR}$ [I.6]

Lorsque $\mu(t)$ est constant. La fonction de maintenabilité s'écrit comme suite

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} . [I.7]$$

Il est à la fois un indicateur de l'aptitude d'un bien à être dépanné et/ou réparé de l'efficacité de la maintenance durant la phase active d'une intervention [7].

I.7. Méthodes d'analyse de la maintenance

I.7.1. Diagramme de Pareto

Parmi les méthodes d'analyse de la maintenance on trouve la méthode ABC qui repose sur le graphe. Qui met en évidence les cas les plus représentatifs d'une situation tout en mettant en évidence le peu d'importance des éléments les plus fiables, c'est un outil qui aide à la décision. La loi repose sur une série d'éléments clairement définie et traitée en fonction d'un critère correspondant à un caractère et pour une période donnée [7].

I.7.2. Analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)

C'est un outil de d'analyse préventive qui recense et met en évidence les risques potentiels. Cette méthode permet de construire la qualité des produits fabriqués ou des services rendus et favorise la maîtrise de fiabilité en vue d'abaisser le cout global. Elle est régie par la norme AFNOR X60-510 (Association française de normalisation) [7].

I.8. Description des engins portuaires Les grues

I.8.1. Grues

I.8.1.1. Définition

Une grue est un appareil de levage et de manutention réservé aux lourdes charges. Cet engin de levage est construit de manière différente selon son utilisation (à terre : grue de chantier, camion-grue ; à bord d'un navire ; d'un dock flottant, etc.). Chaque grue a une charte qui définit clairement sa capacité de levage en rapport avec le rayon et l'angle de la flèche.

Il existe deux catégories de machines :

- GMA : grue à montage automatisé. La rotation s'effectue à la base.
- GME : grue à montage par éléments. La rotation s'effectue en partie haute [9].



Figure I.7 : Grue à montage par éléments



Figure I.8 : Grue à montage automatisé

I.8.1.2. Type des grues

- **Grues à tour** : Ce sont des grues à flèche orientable dont le pied de flèche est situé à une certaine hauteur, sur la partie supérieure d'un mât (ou tour) (figure). Nous distinguerons deux grands groupes : les grues à flèche relevable et les grues à flèche distributrice [9].

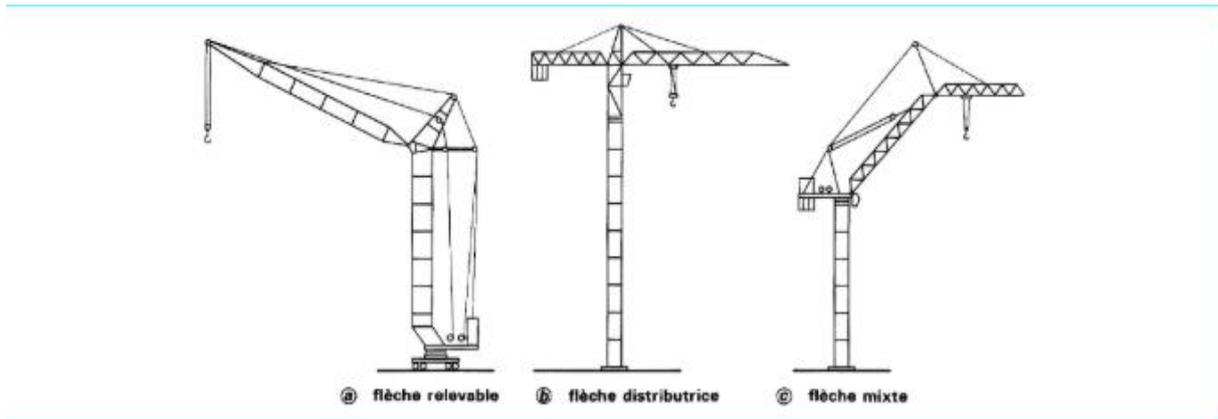


Figure I.9 : Grues à tour

➤ **Grues mobiles** : Ce sont des grues à flèche orientable, susceptible de déplacements autonomes d'un point à un autre sans asservissement de trajet.

Nous distinguerons trois grands groupes : les grues automotrices, les grues sur porteurs, les grues sur chenilles (figure).

Et se compose de trois parties principales :

Un châssis porteur monté sur roues (pneumatiques) ou sur chenilles, ce châssis peut être autonome ;

Une plate-forme pivotante par rapport au châssis, elle supporte en général le moteur, les mécanismes nécessaires aux différents fonctionnements de la grue et les contrepoids ;

Une flèche treillis ou télescopique articulée autour d'un axe horizontal sur la plate-forme tournante [10].

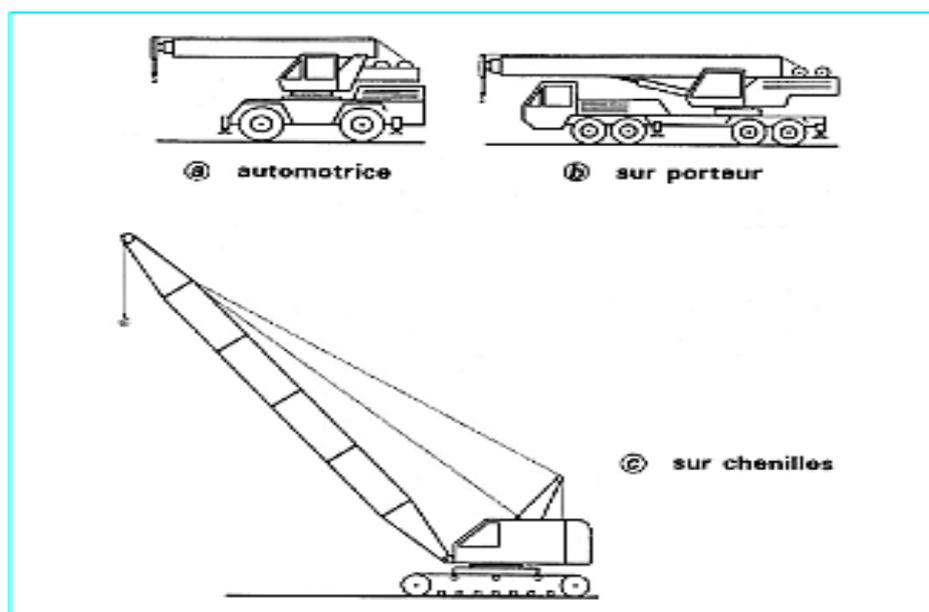


Figure I.10 : Grues mobiles

- **Grues spéciales** : Ce sont soit des engins ayant subi une modification afin de faire du levage dans des conditions spéciales, soit des grues aménagées ou conçues spécialement pour des tâches de manutention spécifiques [10].

I.8.1.3. Différent types de grue portuaire

La grue portuaire, aussi connue sous le nom de grue maritime permet d'effectuer des opérations de manutention entre le bateau et le quai, pour décharger des matériels et marchandises divers. L'opération peut être effectuée soit manuellement, soit à l'aide d'engins de manutention à conducteur autoporté ou de véhicules lourds. Cet engin de levage intervient aussi bien sur les ports qu'au grand large [11].

Les grues portuaires sont des équipements essentiels pour le chargement et le déchargement des marchandises dans les ports. Voici les principaux types de grues portuaires :

- **Grues à portique (Portainers) :**

Fonction : Déchargement et chargement des conteneurs des navires porte-conteneurs.

Caractéristiques : Elles sont montées sur des rails le long des quais et peuvent être très hautes pour atteindre les conteneurs empilés les uns sur les autres.

- **Grues à flèche mobile (Mobile Harbor Cranes) :**

Fonction : Polyvalentes, elles peuvent être utilisées pour diverses cargaisons, y compris les conteneurs, les vrac solides et les colis lourds.

Caractéristiques : Montées sur roues ou chenilles, elles offrent une flexibilité et peuvent se déplacer facilement le long du quai.

- **Grues sur rail (Rail-Mounted Gantry Cranes - RMG) :**

Fonction : Principalement utilisées pour le mouvement des conteneurs dans les terminaux intermodaux.

Caractéristiques : Elles se déplacent sur des rails et sont souvent utilisées pour empiler et déplacer les conteneurs dans les zones de stockage portuaires.

- **Grues sur pneus (Rubber-Tired Gantry Cranes - RTG) :**

Fonction : Utilisées pour la manipulation des conteneurs dans les terminaux de conteneurs.

Caractéristiques : Montées sur pneus, elles offrent une mobilité plus grande à l'intérieur des terminaux.

- **Grues à flèche à treillis (Lattice Boom Cranes) :**

Fonction : Utilisées pour les charges lourdes et surdimensionnées.

Caractéristiques : Équipées de flèches en treillis pour augmenter la capacité de levage et la portée.

- **Grues flottantes (Floating Cranes) :**

Fonction : Utilisées pour des opérations de levage en mer ou pour le chargement et déchargement de marchandises depuis des navires lorsque les infrastructures portuaires sont limitées.

Caractéristiques : Montées sur des barges ou des navires, elles peuvent être déplacées facilement.

- **Grues de chargement de vrac (Bulk Handling Cranes) :**

Fonction : Conçues spécifiquement pour la manutention de vrac solide comme le charbon, les minerais ou les céréales.

Caractéristiques : Équipées de bennes preneuses ou d'autres dispositifs pour manipuler des matériaux en vrac.

- **Grues de quai (Quay Cranes) :**

Fonction : Généralement utilisées pour les opérations de déchargement et chargement de divers types de marchandises.

Caractéristiques : Fixes ou mobiles, elles peuvent avoir une conception variée selon les besoins spécifiques du port.

I.8.1.4. Fiche technique de la grue étudiée (GL213)

Voici la fiche technique de la grue étudiée (GL213)

Tableau I.1 : Fiche technique de la grue étudiée (GL213) [1]

Désignation		Valeur		
Type d'engin		LHM 120	LHM 180	LHM 280
D	Portée maximale	30 m	35 m	40 m
E	Portée minimale	8 m	9 m	10 m

Désignation	Modèle	Marque	Capacité	CODE
Grue Mobile portuaire	LHM280	LIEBHERR	64T	GL213
Numéro de série	141 262	Année de fabrication	2014	
Date de mise en service	12/02/2015	Date de fin de garantie	12/02/2017 ou après 8000heures (premier atteint)	

I.8.1.5. Composants de la grue

Une grue portuaire est un équipement complexe utilisé pour le chargement et le déchargement des marchandises sur les navires dans les ports. Voici les principaux composants d'une grue portuaire :

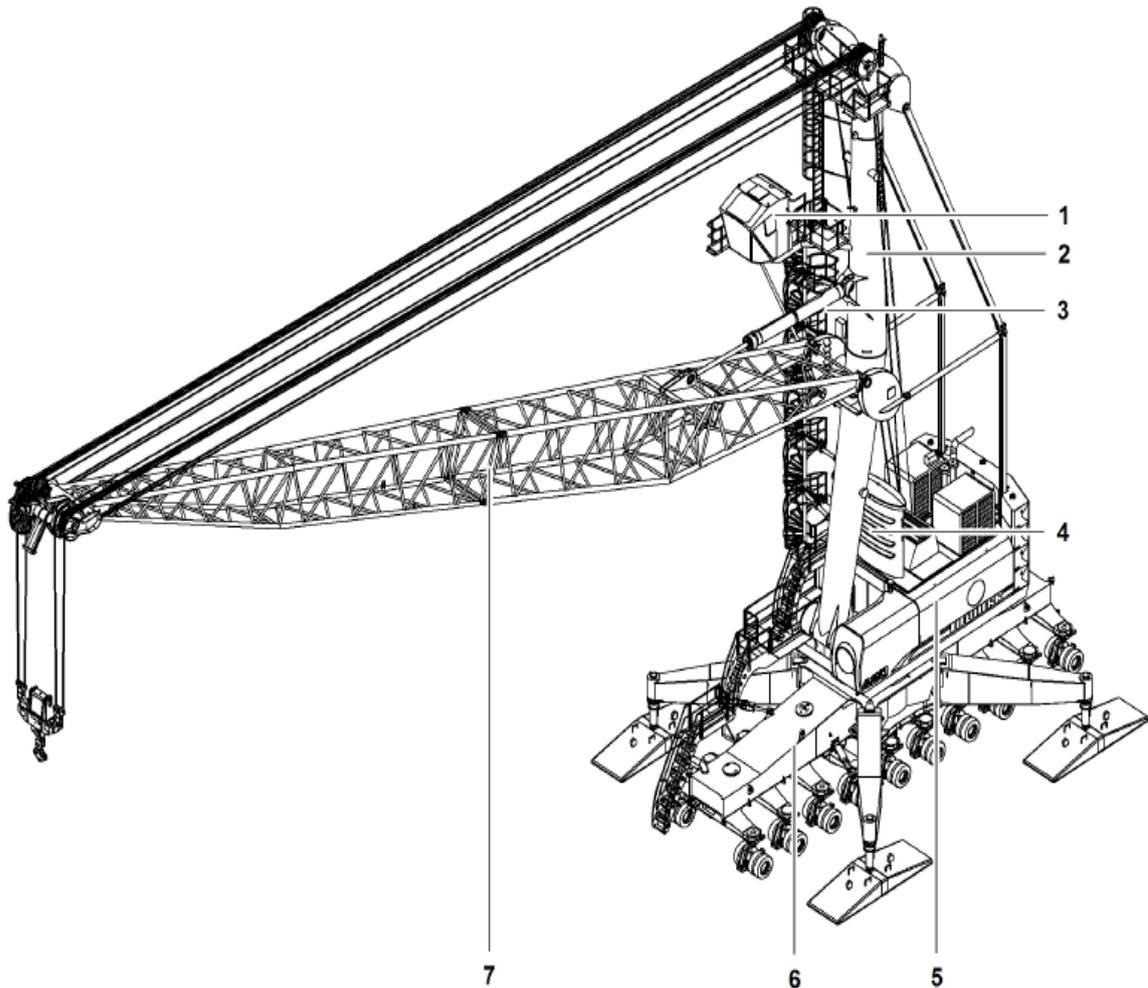


Fig. 2 : Vue d'ensemble de l'engin complet (illustration de principe)

- | | | |
|----------------------|-------------------------|----------|
| 1 Cabine de tour | 4 Mémoire Pactronic | 7 Flèche |
| 2 Tour | 5 Plate-forme tournante | |
| 3 Vérins de relevage | 6 Châssis porteur | |

Figure I.11 : Composant de la grue [1].

I.8.2 Chariot élévateur

I.8.2.1. Définition

Chariot élévateur est un appareil de levage et de manutention destiné au transfert de charges dans les usines ou les entrepôts de stockage. Il sert principalement au transport de produits finis depuis les chaînes de fabrications vers les lieux de stockage, au chargement et au déchargement de camions, wagons, navires et autres moyens de transport, bien que sa souplesse d'utilisation rende d'autres usages possibles.



Figure I.12 : Exemple d'un chariot élévateur.

I.8.2.2. Type du chariot élévateur

Il existe plusieurs types de chariots élévateurs, chacun conçu pour des applications spécifiques. Voici une liste des principaux types de chariots élévateurs [12] :

- **Chariot élévateur diesel :**

La version diesel dispose d'une puissance plus élevée que les engins électriques ou à gaz. Ce chariot peut gravir des pentes relativement raides et transporter des charges lourdes. Cet engin est à utiliser uniquement en extérieur à cause des gaz d'échappement émis. Sur le catalogue de Tractor vous pouvez retrouver de chariots élévateurs diesels allant de 1,5 T à 16 T.

- **Chariot élévateur électrique :**

Son énergie propre lui permet d'être utilisée en intérieur (et aussi en extérieur). Le chariot élévateur électrique est aussi beaucoup plus silencieux qu'une machine thermique. Retrouvez des chariots élévateurs électriques allant de 1,5 T à 8 T.

- **Chariot élévateur à gaz :**

Le chariot élévateur à gaz dispose d'un moteur thermique qui fonctionne avec du gaz de propane. Cet engin ne rejette pas de monoxyde de carbone, ce qui permet de l'utiliser à l'intérieur comme en extérieur. Il dispose d'une puissance similaire aux modèles diesels et supérieure aux modèles électriques. Ceux disponibles à la location sont compris entre 1,5T et 8T.

- **Chariot élévateur tout terrain :**

Également connu sous le nom de chariot élévateur 4X4, le chariot élévateur tout terrain est spécialement conçu pour l'extérieur. Ses 4 pneus tout terrain permettent de travailler sur des terrains accidentés ou boueux, non-accessibles pour les chariots élévateurs normaux.

- **Chariot élévateur gros tonnage :**

Pour soulever des charges extrêmes vous pouvez louer un chariot élévateur gros tonnages. Ce type d'engin peut soulever entre 10T à 16T et doit être utilisé en extérieur. Ce modèle uniquement diesel peut être associé à des accessoires comme des fourches, des potences ou encore des godets.

- **Chariot élévateur latéral :**

A l'inverse des chariots frontaux, cet engin est idéal pour les missions de rayonnage. Il permet au cariste de prendre aisément une charge sur un rayonnage ou dans une allée étroite sans avoir à manœuvrer l'engin hors de la direction de la translation.

I.8.2.3 Fiche technique du chariot élévateur étudié (CT111)

Voici la fiche technique du chariot élévateur étudié (CT111) :

Tableau I.2 : Fiche technique du chariot élévateur étudié (CT111)

	Révision n°: 03	IMPRIME		Date : Avril 2006
	DL.IMP.163	Fiche technique d'identification des engins		Page : 1/1
Désignation		Code		
Chariot élévateur à Fourche		CT111		
Modèle	Marque	Capacité		
4FD100	TOYOTA	10T		
Numéro de châssis	4FD120-10025	Année de Fabrication	2005	
Numéro d'Inventaire	4002 43040 111	Date de Mise en Service	13-07-2005	
Coût d'Acquisition (DA)		Date de Fin de Garantie	13-07-2006	
Moteur Thermique				
Marque	HINO	Nombre de cylindres	6	
Modèle	J08E-T	Ordre d'Injection	1-5-3-6-2-4	
Type	DIESEL, 4 temps	Couple maxi. à 1600 tr/min	550 Nm	
N° de Série	10134	Taux de Compression	18.5:1	
Vitesse Régime Nominale	2300 tr/min	Cylindrée de moteur	7.6 L	
Puissance nominale	125 KW	Alésage/Course	112/130 mm	
Généralités				
Poids	14.61T			
Hauteur Max Hors Tout	4.420M			
Hauteur Min Hors Tout	2.920M			

I.8.2.4. Composant du chariot élévateur

. Voici les principaux composants d'un chariot élévateur :

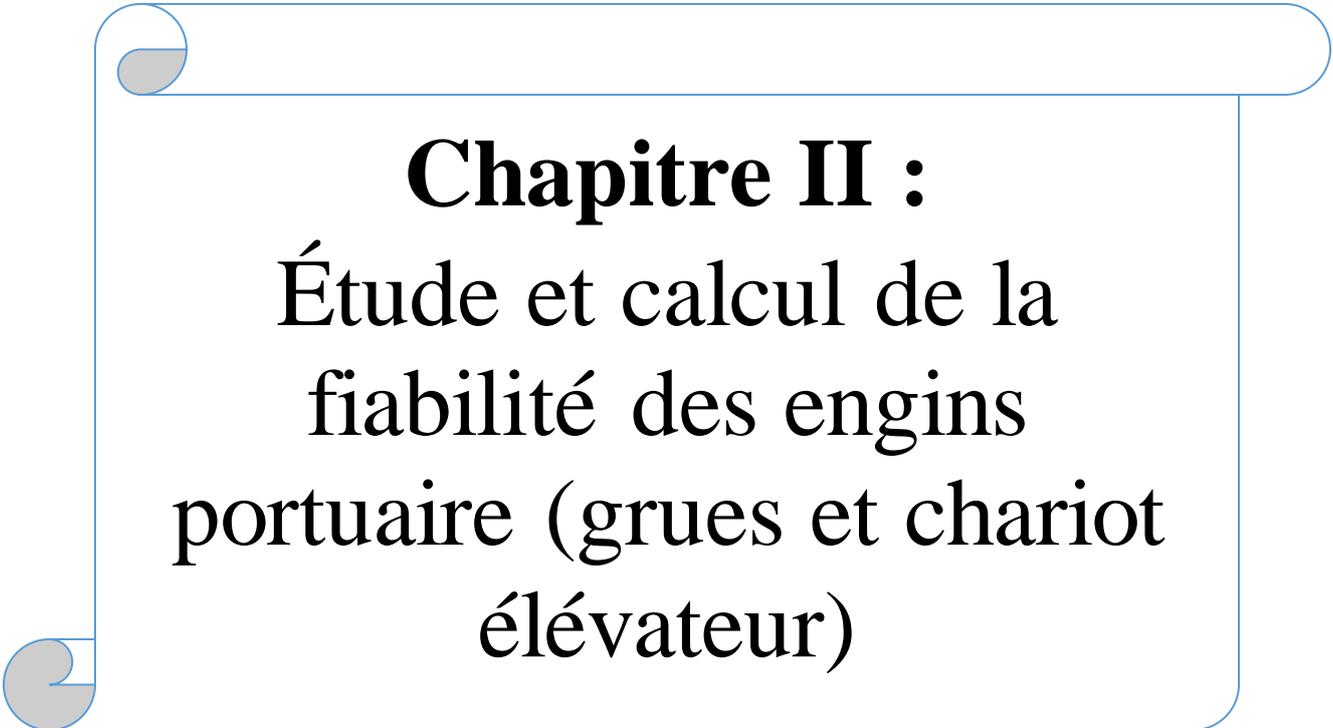


Figure I.13 : Composant du chariot élévateur

I.9.Conclusion

Ce chapitre examine le contexte global de la maintenance, visant à établir et maintenir un équipement dans des conditions de production optimales. Nous avons également souligné que l'étude de la fiabilité est un outil essentiel pour anticiper et réduire les pannes potentielles de ces équipements. La maintenance préventive émerge comme une stratégie clé, axée sur des procédures visant à minimiser les incidents imprévus, avec pour objectif de réduire les temps d'arrêt et d'accroître la fiabilité des équipements. La loi de Weibull joue un rôle crucial dans la caractérisation du comportement du produit à travers ses différentes phases de vie

A la fin de ce chapitre nous avons parlé sur les engins portuaires (grues et chariot élévateur).



Chapitre II :
Étude et calcul de la
fiabilité des engins
portuaire (grues et chariot
élevateur)

II.1.Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons analyser la fiabilité d'une grue et d'un chariot élévateur. En utilisant les données historiques des machines, nous calculerons le temps de bon fonctionnement, ce qui nous permettra de déterminer les valeurs de la fonction de répartition et de fiabilité. Grâce au modèle de Weibull, nous pourrions calculer les fonctions de réparation et de fiabilité et le taux de défaillance. Ces résultats seront présentés sous forme de graphiques pour chaque paramètre.

II.2. Etude et calcul de la fiabilité de la grue

II.2.1. Historique des pannes

Ce tableau ci-dessous représente l'historique des pannes de la grue au niveau de l'entreprise :

Tableau II.1 : Historique des pannes de la grue

N°	Date et heure Début de panne	Date et heure de fin de panne	Temps d'arrêt par H	Motif de panne	Type de maintenance
1	11/01/2023 à 12 h	18/01/2023 A 18 h	90	pompe à gasoil	CORRECTIVE
2	13/03/2023 à 08 h	13/03/2023 A 11 h	3	Problème moteur diesel	CORRECTIVE
3	16/03/2023 à 08 h	26/03/2023 A 18 h	112	câble embolique	CORRECTIVE
4	19/03/2023 à 11 h	19/03/2023 A 18 h	7	Problème moteur diesel	CORRECTIVE
5	29/03/2023 à 15	31/03/2023 A 18 h	22	pompe à gasoil	CORRECTIVE
6	31/03/2023 à 12 h	31/03/2023 A 18 h	6	Crochet tournant	CORRECTIVE
7	04/04/2023 à 09 h	05/04/2023 A 18 h	12	câble embolique	CORRECTIVE
8	13/04/2023 à 07 h	13/04/2023 A 12 h	5	problème moteur diesel	CORRECTIVE
9	24/04/2023 à 11 h	03/05/2023 A 18 h	108	Système de calage	CORRECTIVE
10	27/04/2023 à 18 h	27/04/2023 A 19 h	1	crochet tournant	CORRECTIVE
11	28/04/2023 à 08 h	02/05/2023 A 18 h	48	Câble de levage	CORRECTIVE

12	02/05/2023 à 10 h	02/05/2023 A 18 h	8	crochet tournant	CORRECTIVE
13	04/06/2023 à 08 h	04/06/2023 A 18 h	10	Problème moteur diesel	CORRECTIVE
14	16/06/2023 à 23 h	18/06/2023 A 18 h	24	Anomalie du mode benne	CORRECTIVE
15	22/06/2023 à 09 h	22/06/2023 A 18 h	9	Anomali du mode benne	CORRECTIVE
16	27/06/2023 à 10 h	30/07/2023 A 12 h	120	Câble de levage	CORRECTIVE
17	08/07/2023 à 17 h	08/07/2023 A 18 h	1	système de calage	CORRECTIVE

II.2.2. Calcul de temps de bon fonctionnement

D’après le dossier historique des pannes horaire de la grue, on calcule le temps de bon fonctionnement (TBF) de manière suivante :

$$TBF(n) = [(n + 1) - n] \quad [II-1]$$

$$TBF = [date de début de l’arrêt numéro n+1 - Date de début de l’arrêt numéro n-1]$$

Tableau II.2 : Calcul de temps de bon fonctionnement de la grue

Titre de l'intervention	Date de début de l'intervention	heure de début de l'intervention	Date de fin de l'intervention	heure de fin de l'intervention	Compteur panne précédent	Compteur panne actuelle	TBF
pompe à gasoil	13/03/2023	08:17:00	13/03/2023	11:00:00	23 714	23 765	51
Problème moteur diesel	16/03/2023	07:46:32	16/03/2023	13:00:00	23 765	23 815	50
câble embolique	19/03/2023	10:50:00	19/03/2023	18:00:00	23 815	23 848	33
Problème moteur diesel	29/03/2023	15:23:48	31/03/2023	18:00:00	23 848	23 873	27
pompe à gasoil	31/03/2023	11:47:28	31/03/2023	18:00:00	23 873	23 898	25
Crochet tournant	04/04/2023	09:28:11	05/04/2023	18:00:00	23 898	23 970	72
câble embolique	13/04/2023	07:00:00	13/04/2023	12:00:00	23 970	24 060	90
problème moteur diesel	24/04/2023	10:33:00	24/04/2023	13:00:00	24 060	24 189	129
Système de calage	27/04/2023	17:50:00	27/04/2023	18:50:00	24 189	24 250	61
crochet tournant	28/04/2023	08:17:03	02/05/2023	18:00:00	24 250	24 260	10
Câble de levage	04/06/2023	08:24:39	04/06/2023	18:00:00	24 260	24 400	140

crochet tournant	16/06/2023	23:26:00	18/06/2023	18:00:00	24 400	24 722	322
Problème moteur diesel	22/06/2023	09:08:00	22/06/2023	18:00:00	24 722	24 916	194
Anomalie du mode benne	07/07/2023	07:00:00	07/07/2023	10:00:00	24 916	24 971	55
Anomali du mode benne	09/07/2023	11:58:59	09/07/2023	18:00:00	24 971	25 045	74
Câble de levage	30/07/2023	06:53:38	30/07/2023	18:00:00	25 045	25 064	19

II.2.3. Classement et calcul de temps de réparation de la fiabilité du système :

Estimation de F (ti) et calcul de R (ti).

- Si $N \leq 25$, on utilise la méthode des rangs médians :

$$F(ti) = \frac{\sum(Ni-0.3)}{(N+0.4)} \quad [II-2]$$

$$R(ti) = 1 - F(ti) \quad [II-3]$$

Tableau II.3 : La fonction de fiabilité et de réparation de la grue

N°	TBF croissant (h)	Ni	F (ti)	F (ti) %	R (ti) %
1	10	1	0.04	4%	96%
2	19	2	0.10	10%	90%
3	25	3	0.16	16%	84%
4	27	4	0.23	23%	77%
5	33	5	0.27	27%	71%
6	50	6	0.35	35%	65%
7	51	7	0.40	40%	59%
8	55	8	0.47	47%	53%
9	61	9	0.53	53%	47%
10	72	10	0.59	59%	40%
11	74	11	0.65	65%	35%
12	90	12	0.71	71%	27%
13	129	13	0.77	77%	23%
14	140	14	0.84	84%	16%
15	194	15	0.90	90%	10%
16	322	16	0.96	96%	4%

D'après le temps de bon fonctionnement et le nombre des interventions, on a calculé la fonction de réparation ainsi que les de valeurs de la fonction fiabilité de système étudié.

II.2.4. Application de la loi de Weibull :

Nous utilisons le logiciel EasyFit pour tracer la courbe de Weibull et déterminer ses paramètres pour calculer la fiabilité de la grue. OÙ (Figure II.1) représente la courbe de Weibull.

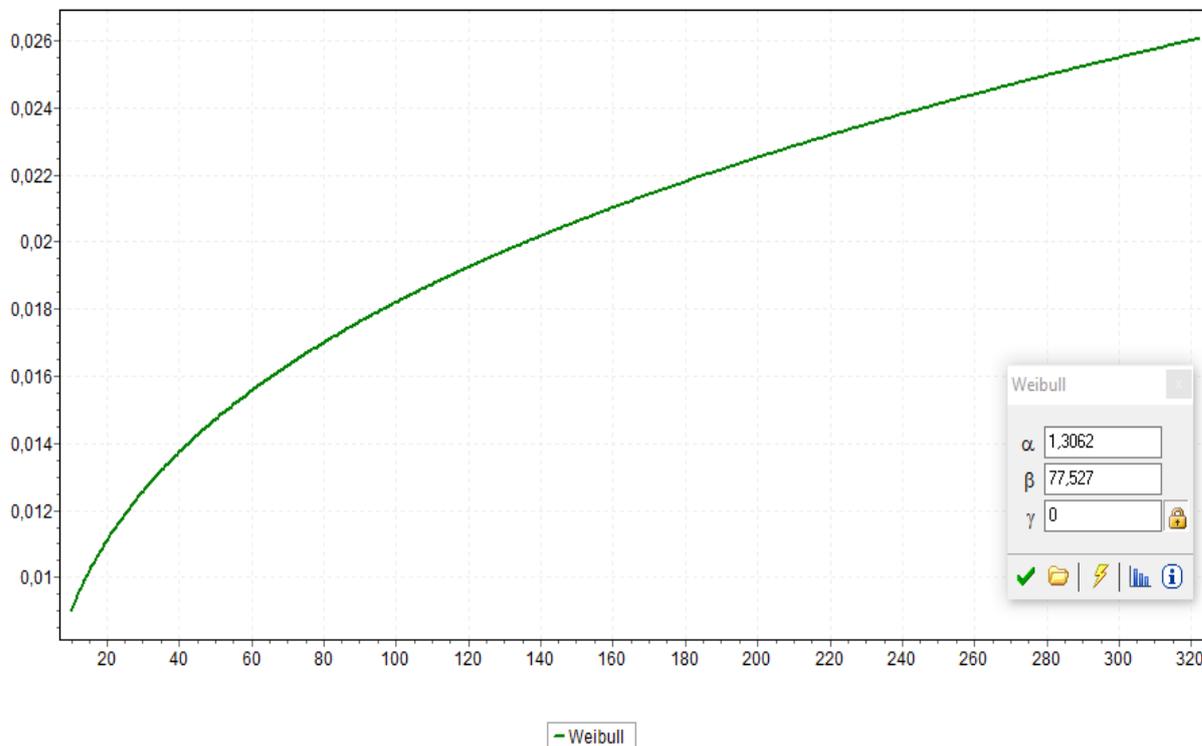


Figure II.1 : La courbe de Weibull de la grue

Après le tracement de la courbe de Weibull, le logiciel nous a donné les valeurs des paramètres suivants :

Paramètre	Valeur
γ : paramètre de position	0
β : paramètre de forme	1.3062 h
η : paramètre d'échelle	77.527 h

II.2.5. Calcul les différentes fonctions R (ti), F (ti), λ (ti) et f (ti) :

A l'aide de la loi de Weibull, on calcul les fonctions suivantes :

Fiabilité :
$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad [II-4]$$

Réparation : $F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$ [II-5]

Densité de probabilité : $f(t) = \lambda(t).R(t)$ [II-6]

Taux de défaillance : $\lambda(t) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \left(\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}\right)$ [II-7]

Fréquence : $D(ni) = |F(ti) - F(ti)_{th}|$ [II-8]

Où :

- $\lambda(t)$: Taux de défaillance [nombre de défaillance /heure]

- γ : Paramètre de position de la loi de Weibull (heure).

- β : Paramètre de forme de la loi de Weibull.

- η : Paramètre d'échelle de la loi de Weibull (heure).

Tableau II.4 : Les fonctions de la loi de Weibull

Rang	TBF (h)	F (ti)	R th (ti)	$\lambda_{th}(ti)$ 10*-3	Fth(ti)	fth (ti) 10*-4	Dni
1	10	0.04	0.933	8.99	0.077	83.88	0.037
2	19	0.10	0.853	10.95	0.157	93.15	0.057
3	25	0.16	0.796	11.91	0.214	94.80	0.054
4	27	0.23	0.777	12.19	0.233	94.92	0.003
5	33	0.27	0.721	12.97	0.289	93.51	0.019
6	50	0.35	0.569	14.73	0.431	83.81	0.081
7	51	0.40	0.561	14.82	0.449	83.14	0.049
8	55	0.47	0.528	15.16	0.472	80.04	0.002
9	61	0.53	0.481	15.67	0.529	75.37	0.001
10	72	0.59	0.403	16.47	0.607	66.37	0.017
11	74	0.65	0.390	16.61	0.610	64.77	0.04
12	90	0.71	0.297	17.63	0.703	52.36	0.007
13	129	0.77	0.143	19.69	0.867	28.15	0.097
14	140	0.84	0.115	20.19	0.895	23.21	0.055
15	194	0.90	0.036	22.31	0.974	8.03	0.074
16	322	0.96	0.0016	26.06	0.9994	0.41	0.0394

III.2.6. Test d'adéquation (test Kolmogorov-Smirnov) :

D'après le tableau précédent on trouve que :

$$\boxed{Dn_{max} = 0.097} \quad [\text{II.9}]$$

Et selon la table de Kolmogorov-Smirnov (voir l'annexe 1) avec :
 n = 16 et $\alpha = 0.05$ on trouve :
 n : Nombre de panne

$$\boxed{D(n, \alpha) = 0.32733} \quad [\text{II.10}]$$

Donc : $Dn_{max} < D(n, \alpha)$ ou $0.097 < 0.32733$

Alors la loi de Weibull est acceptée pour ce système.

II.2.7. Calcul de la fiabilité de la grue :

MUT : correspond à la durée moyenne de temps de bon fonctionnement après réparation du système.

$$MTBF = \eta \times A + \gamma \quad [\text{II-11}]$$

On a : $\eta = 77.527$; $\beta = 1.3062$; $\gamma = 0$;

Et selon la table de la loi de Weibull on trouve (voir l'annexe 2) :

$$\boxed{A=0.92958}$$

et

$$\boxed{B=0.71644}$$

$$\boxed{MTBF = 0 + 0.92958 \times 77.527 = 72.068} \quad [\text{II.12}]$$

$$\boxed{MTBF = 72.068 \text{ h}} \quad [\text{II.13}]$$

D'après l'équation (III.4), on trouve la fiabilité de grue :

$$\boxed{R(t=72.068)=0.4029=40.29\%} \quad [\text{II.14}]$$

II.2.8. La fonction de fiabilité

$R(t)$: Probabilité de non- défaillance dans l'intervalle de temps $[0, t]$ c'est-à-dire la probabilité de défaillance au-delà du temps (t) .

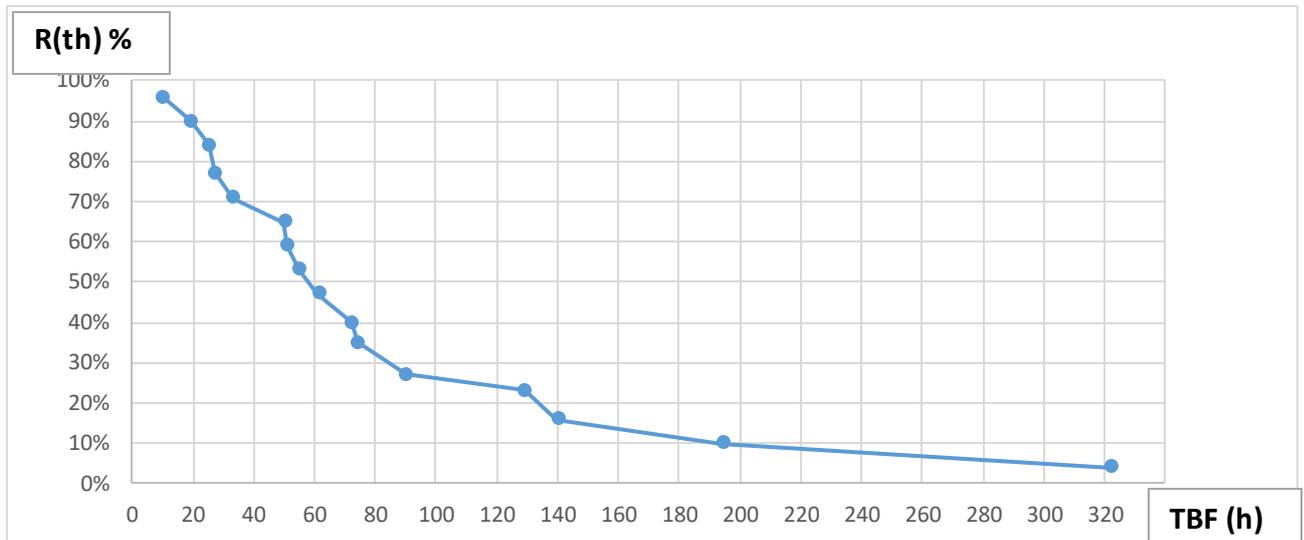


Figure II.2 : Courbe de fonction de fiabilité

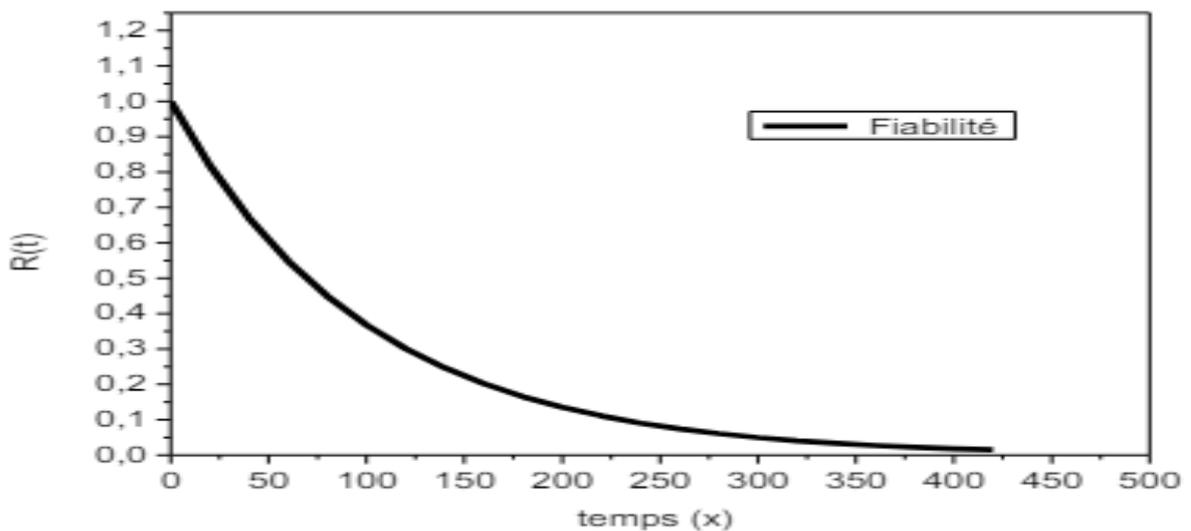


Figure II.3 : Courbe théorique de fiabilité de la loi exponentielle

D'après le graphe, la courbe de fiabilité pratique elle est en accord avec la courbe théorique cela indique que nos calculs sont corrects. Et nous remarquons que la fonction de fiabilité $R(t)$ est décroissante avec le temps moyen entre les pannes. Au temps où le système atteint l'instant 72.068 heures, l'équipe de maintenance doit réagir et planifier une nouvelle stratégie de maintenance pour augmenter la fiabilité et réduire les temps d'arrêt du système.

II.2.9. Fonction de la répartition

F(t) : Probabilité de défaillance.

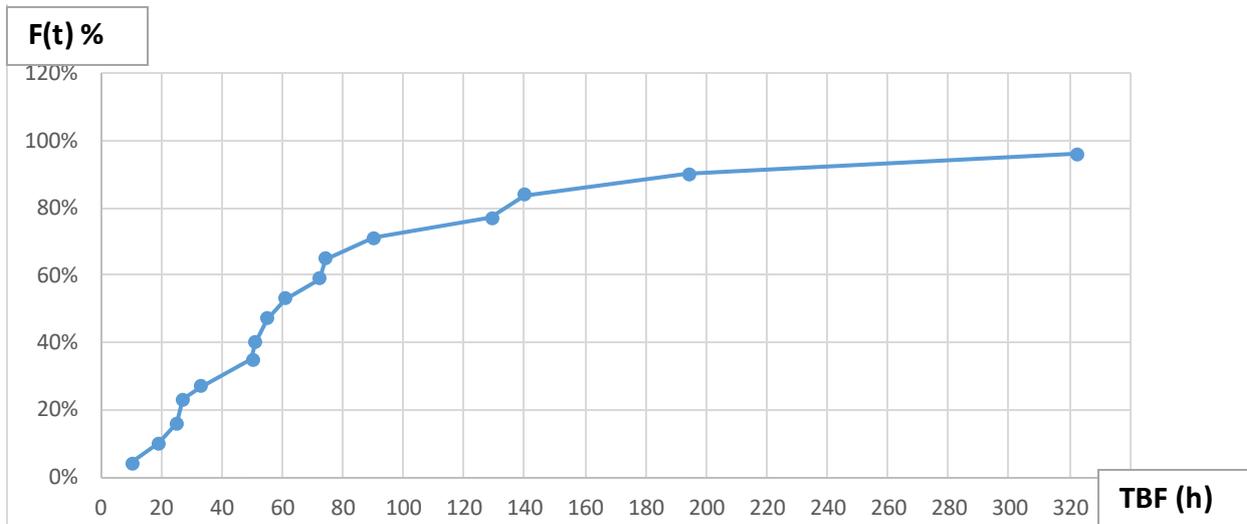


Figure II.4 : Courbe de fonction de répartition théorique

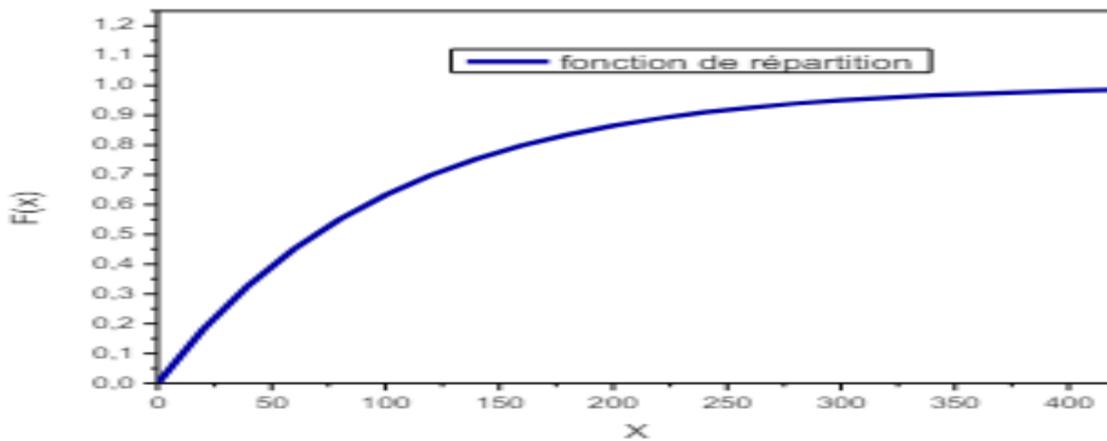


Figure II.5 : Courbe théorique de la fonction de répartition

Selon l'aspect obtenu, il est en accord avec courbe théorique de la fonction de répartition de la loi de Weibull, qui démontre que la fonction de répartition est inversement proportionnelle à la fonction de fiabilité R(t). Cela implique que lorsque la fiabilité diminue, les chances de défaillance augmentent. Par contre, le temps de fonctionnement est lié à la fonction de répartition, c'est-à-dire que plus le temps d'utilisation est long, plus il est probable qu'il y ait une ou plusieurs défaillances du système.

II.2.10. Fonction de densité de probabilité théorique

$f(t)$: Probabilité d’avarie au temps (t), (probabilité d’avoir une seule avarie au temps (t)).

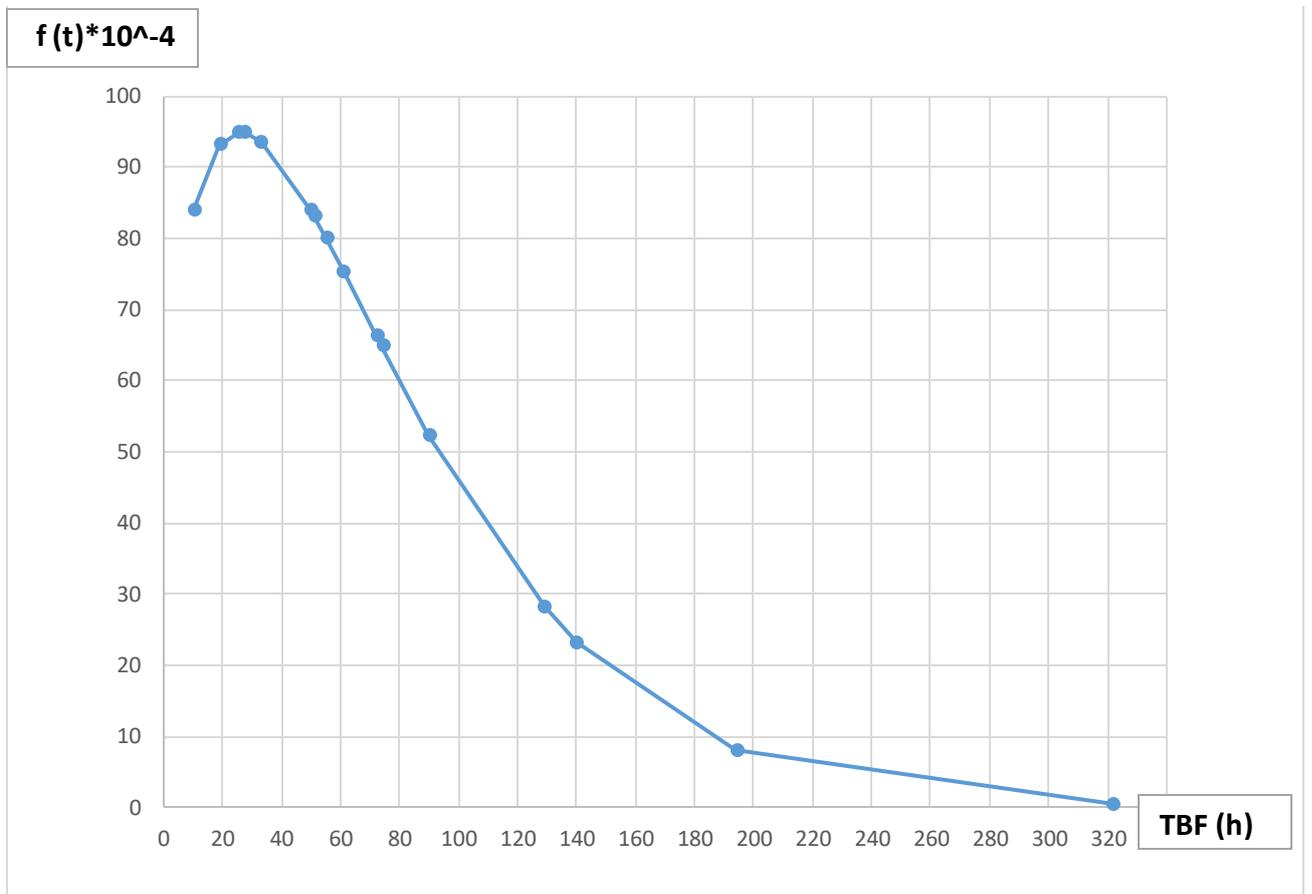


Figure II.6 : Courbe de densité de probabilité.

La fonction $f(t)$ montre comment les pannes sont réparties dans le temps. Pour notre système, il y a plus de pannes entre 10 et 74 heures, puis moins de pannes entre 74 et 322 heures.

III.2.11. Fonction de taux de défaillance

$\lambda(t)$ représente taux de défaillance [nombre de défaillance /heure].

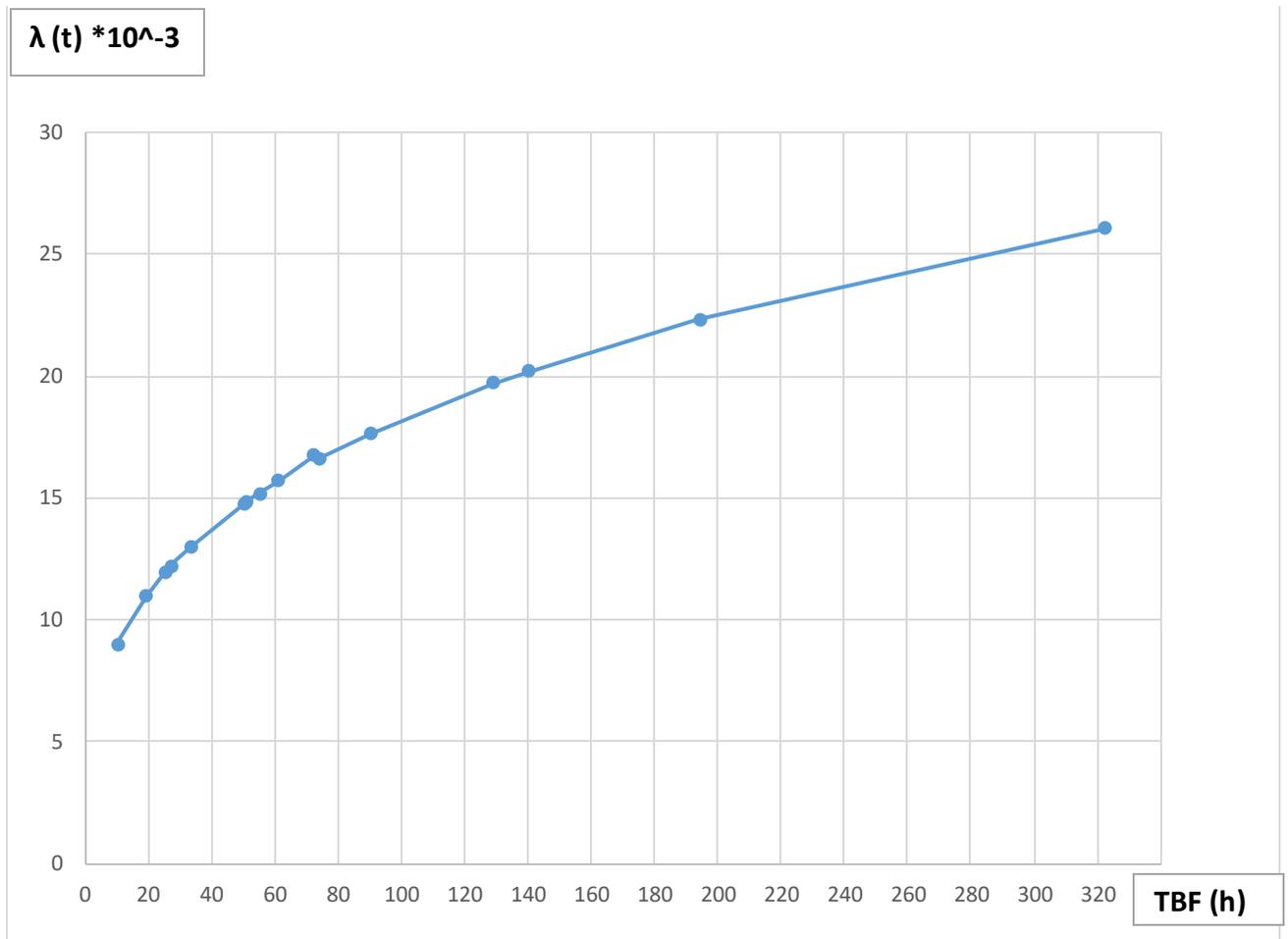


Figure III.7 : Courbe de taux de défaillance

Nous pouvons observer une augmentation de taux de défaillance avec le temps, ce qui est en accord avec la loi de Weibull. Si nous comparons cette courbe avec celle en forme de baignoire, nous constatons que le taux de panne est élevé (croissant). Par conséquent, nous pouvons en conclure que la grue étudié se situe dans la période de vieillisse (avec un paramètre $\beta > 1$).

II.2.12. Analyse des résultats de la fiabilité de système

D'après nos calculs et les résultats obtenues, nous avons trouvé que la fiabilité de la grue $R(t)=40.29\%$, mais le système a subi beaucoup d'arrêts. Ce problème revient au plusieurs raisons :

- Le système est à la période de vieillesse.
- L'absence de la maintenance préventive.
- Mode d'utilisation non respecté.

Et pour faire diminuer les arrêts nous proposons quelques solutions pour augmenter la fiabilité :

- Améliorer la maintenance préventive.
- Avoir plus des pièces de rechange.
- Améliorer le mode d'utilisation.

II.2.13. Diagramme de PARETO et classification ABC

Ce tableau montre les différentes données pour les analyser avec le diagramme de Pareto :

Tableau II.5 : Durée de panne de différents organes.

Organe	Durée de panne (h)	Durée d'arrêt (%)	Cumulé (%)
Câble de levage	168	28.66	28.66
Câble embolique	124	21.16	49.82
Pompe gasoil	112	19.11	68.93
Système de calage	109	18.60	87.53
Anomalie de mode de benne	33	5.63	93.16
Problème moteur diesel	25	4.26	97.42
Crochet tournant	15	2.56	100
Total	586	100	/

D'après les résultats du tableau, on va représenter le diagramme de Pareto dans la figure ci-dessus :

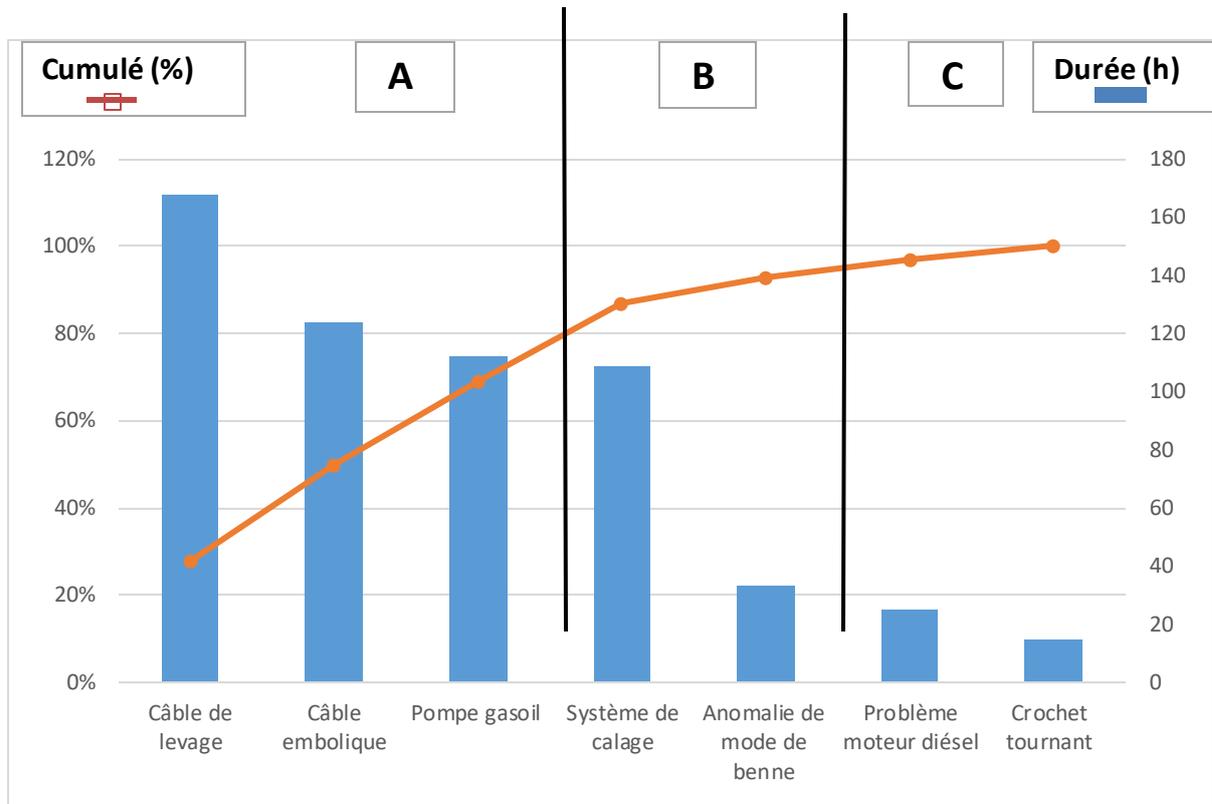


Figure II.8 : Diagramme de Pareto pour la grue

- Zone A : on trouve que la prise du câble ombiliqué et le câble de levage et pompe gasoil représentent 69 % des causes de défaillance de la grue, pour cela il faudra des interventions nécessaires pour éliminer ou de réduire les pannes d'au moins de 50%.
- Zone B : lorsque les causes principales seront réduites de 50%, le système de calage et l'anomalie de mode de benne deviendront la cause principale.
- Zone C : les causes des moteur diesel et le crochet tournant deviendront négligeables, pour cela, il n'est pas judicieux de perdre du temps pour analyser ces sources de problèmes et faire des actions.

II.3. Etude et calcul de la fiabilité du chariot élévateur

II.3.1. Historique des pannes

Ce tableau ci-dessous représente l'historique des pannes du chariot élévateur au sein de l'entreprise.

Tableau II.6 : Historique des pannes de chariot élévateur

N°	Date et heure de début de panne	Date et heure de fin de panne	Temps d'arrêt (h)	Motif de panne	Type de maintenance
1	15/01/2023 18 :00 :00	16/01/2023 18 :00 :00	24h30	PROBLEME DE ROULEMENT + ROUE	CORRECTIVE
2	22/01/2023 10 :00 :00	24/01/2023 18 :00 :00	56	PROBLEME DE LEVAGE +INCLINISON	CORRECTIVE
3	23/02/2023 09 :30 :00	23/02/2023 18 :00 :00	8h30	FUIT D'HUILE	CORRECTIVE
4	05/03/2023 09 :30 :00	05/03/2023 18 :00 :00	8h30	PROBLEME DE FREIN	CORRECTIVE
5	15/03/2023 10 :30 :00	16/03/2023 18 :00 :00	31h30	FUITE D'HUILE	CORRECTIVE
6	07/05/2023 08 :30 :00	10/05/2023 18 :00 :00	46	PROBLEME DE ROULEMENT + ROUE	CORRECTIVE
7	21/06/2023 08 :30 :00	21/06/2023 18 :00 :00	9h30	PROBLEME DE LEVAGE +INCLINISON	CORRECTIVE
8	05/09/2023 08 :00 :00	12/09/2023 18 :00 :00	70	PROBLEME DE LEVAGE +INCLINISON	CORRECTIVE
9	17/09/2023 09 :00 :00	17/09/2023 17 :30 :00	8	PROBLEME DE DEMARRAGE	CORRECTIVE
10	12/10/2023 09 :00 :31	20/10/2023 18 :00 :00	165	PROBLEME DE DEMARRAGE	CORRECTIVE
11	29/10/2023 13 :00 :00	29/10/2023 18 :00 :00	5	FUITE D'HUILE	CORRECTIVE
12	03/12/2023 08 :30 :00	07/12/2023 16 :30 :00	136	PROBLEME DE ROULEMENT + ROUE	CORRECTIVE

II.3.2. Calcul de temps de bon fonctionnement

D'après le dossier historique des pannes de de chariot élévateur et l'équation (II.7) on calcule le temps de bon fonctionnement du système :

Tableau II.7 : Calcul de temps de bon fonctionnement de chariot élévateur

Titre de l'intervention	Date/heure de début de l'intervention	Date/heure de fin de l'intervention	Compteur panne précédent	Compteur panne actuelle	TBF
PROBLEME DE ROULEMENT + ROUE	15/01/2023 18:03:45	16/01/2023 18:00:00	20200	20194	6
PROBLEME DE LEVAGE +INCLINISON	22/01/2023 10:10:00	24/01/2023 18:00:00	20503	20200	303
FUIT D'HUILE	23/02/2023 09:26:09	23/02/2023 18:00:00	20 596	20503	93
PROBLEME DE FREIN	05/03/2023 09:30:00	05/03/2023 18:00:00	20 660	20 596	64
FUITE D'HUILE	15/03/2023 10:19:16	16/03/2023 18:00:00	20 926	20 660	266
PROBLEME DE ROULEMENT + ROUE	07/05/2023 08:08	10/05/2023 18:00:00	21 054	20 926	128
PROBLEME DE LEVAGE +INCLINISON	21/06/2023 08:47:19	21/06/2023 18:00:00	21 290	21 054	236
PROBLEME DE LEVAGE +INCLINISON	05/09/2023 08:09	12/09/2023 18:00:00	21 310	21 290	20
PROBLEME DE DEMARRAGE	17/09/2023 09:40:58	17/09/2023 17:26:04	21 376	21 310	66
PROBLEME DE DEMARRAGE	12/10/2023 09:01	20/10/2023 18:00:00	21 391	21 376	15
PROBLEME DE ROULEMENT + ROUE	03/12/2023 08:30	07/12/2023 16:41:03	21 529	21 391	138

II.2.3. Classement et calcul de temps de répartition de la fiabilité du système

Estimation de F (ti) et calcul de R (ti).

- Si $N \leq 25$, on utilise les équations (II.2) et (II.3) :

Tableau II.8 : La fonction de répartition et de fiabilité du chariot élévateur

N°	TBF croissant (h)	$\sum Ni$	F (ti)	F (ti) %	R (ti) %
1	6	1	0.0614	6.14%	93.86%
2	15	2	0.1491	14.91%	85.09%
3	20	3	0.2368	23.68%	76.32%
4	64	4	0.3246	32.46%	67.54%
5	66	5	0.4123	41.23%	58.77%
6	93	6	0.50	50.00%	50.00%
7	128	7	0.5877	58.77%	41.23%

8	138	8	0.6754	67.54%	32.46%
9	236	9	0.7632	76.32%	23.68%
10	266	10	0.8509	85.09%	14.91%
11	303	11	0.9386	93.86%	6.14%

En se basant sur le temps de bon fonctionnement et le nombre des interventions, pour déterminé la fonction de répartition ainsi que les valeurs de la fonction de fiabilité pour le système étudié.

III.3.4. Application de la loi de Weibull

Nous utilisons le logiciel EasyFit pour tracer la droite de Weibull et déterminer ses paramètres pour calculer la fiabilité du chariot élévateur.

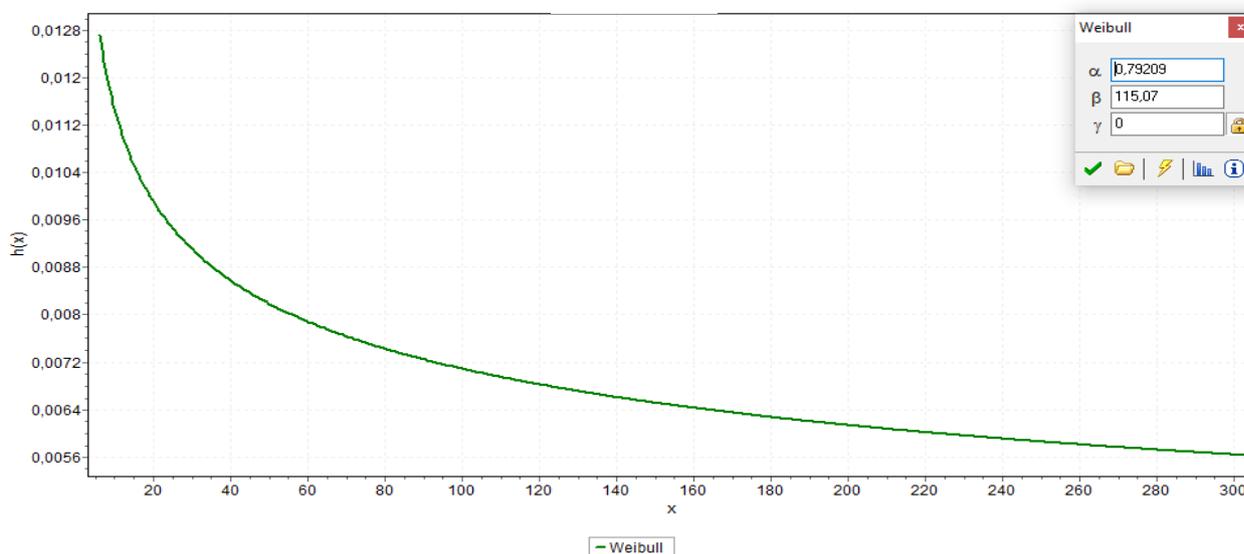


Figure II.9 : La courbe de Weibull du chariot élévateur

Après le tracement de la courbe de Weibull, le logiciel nous a donné les valeurs des Paramètres suivants :

Paramètre	Valeur
γ : paramètre de position	0 h
β : paramètre de forme	0.79209 h
η : paramètre d'échelle	115.07 h

II.3.5. Calcul les différentes fonctions R (ti), F (ti), λ (ti) et f (ti)

A l'aide de la loi de Weibull, on calcul les fonctions suivantes :

Tableau II.9 : Les différentes fonctions de la loi de Weibull

Rang	TBF (h)	F (ti)	R th (ti)	$\lambda_{th}(ti)$ 10*-4	Fth(ti)	fth (ti) 10*-4	Dni
1	6	0.0614	0.908	127,2	0.092	115,5	0.0306
2	15	0.1491	0.819	105,1	0.181	86,1	0.0319
3	20	0.2368	0.779	99	0.221	77,12	0.0158
4	64	0.3246	0.533	77,8	0.467	41,47	0.1424
5	66	0.4123	0.525	77,3	0.495	40,58	0.0827
6	93	0.50	0.430	72	0.570	30,96	0.070
7	128	0.5877	0.337	67,3	0.663	22,68	0.0753
8	138	0.6754	0.315	66,3	0.685	20,88	0.0096
9	236	0.7632	0.171	59,3	0.825	10,14	0.0618
10	266	0.8509	0.143	57,8	0.866	8,27	0.0151
11	303	0.9386	0.116	56,3	0.884	6,53	0.0546

II.3.6. Test d'adéquation (test Kolmogorov-Smirnov) :

D'après le tableau précédent on trouve que :

$$Dn_{max} = 0.1424 \quad [II.15]$$

Et selon la table de Kolmogorov-Smirnov (voir l'annexe 1) avec :

n = 11 et $\alpha = 0.05$ on trouve :

n : Nombre de panne

$$D(n, \alpha) = 0.39122 \quad [II.16]$$

Donc : $Dn_{max} < D(n, \alpha)$ ou $0.1424 < 0.39122$

Alors la loi de Weibull est acceptée pour ce système.

II.3.7. Calcul de la fiabilité du chariot élévateur

MUT : correspond à la durée moyenne de temps de bon fonctionnement après réparation du système.

On a : $\eta = 115.07$; $\beta = 0.79209$; $\gamma = 0$;

Et selon la table de la loi de Weibull on trouve (voir l'annexe 2 [page 59]) :

$$A = 1.133$$

$$B = 1.42816$$

et

D'après l'équation (III.11) nous pouvons calculer donc :

$$MTBF = 0 + 1.133 \times 115.07 = 130.374 \quad [II.17]$$

$$MTBF = 130.374h \quad [II.18]$$

D'après l'équation (III.4), on trouve la fiabilité du chariot élévateur :

$$R(t=130.374)=0.3316=33.16\% \quad [II.19]$$

II.3.8. Fonction de fiabilité théorique

R(t) : Probabilité de non- défaillance dans l'intervalle de temps [0, t] c'est-à-dire la probabilité de défaillance au-delà du temps (t).

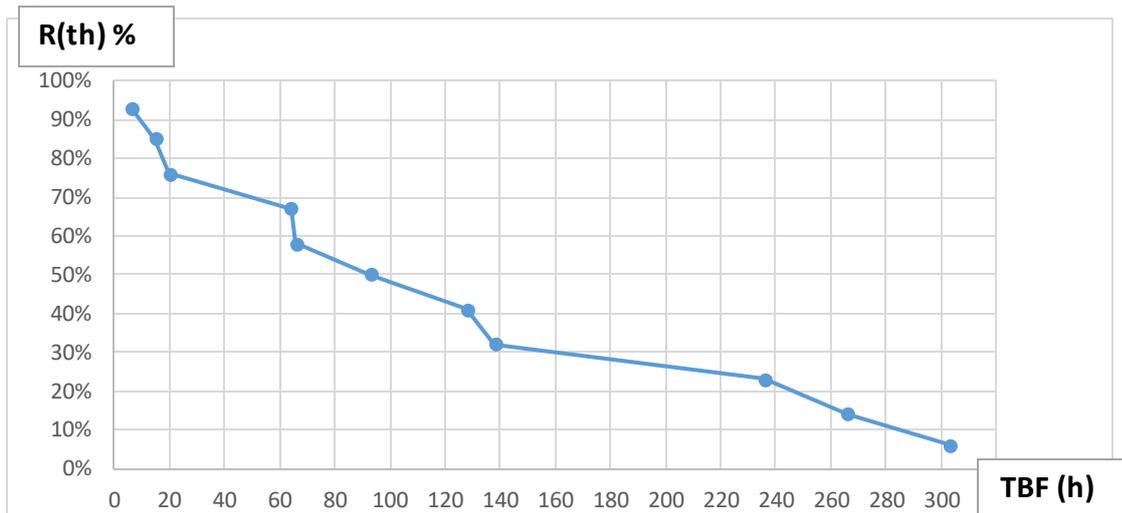


Figure II.10 : Courbe de fonction de fiabilité

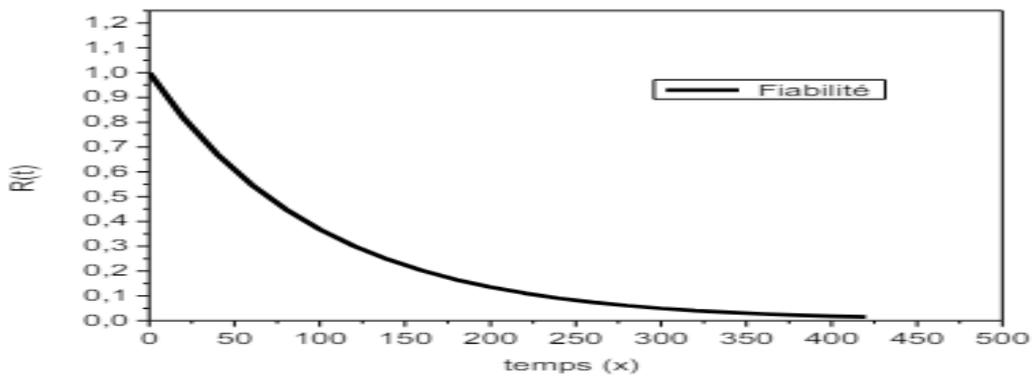


Figure II.3 : Courbe théorique de fiabilité de la loi exponentielle

D'après le graphe, la courbe de fiabilité pratique elle est en accord avec la courbe théorique cela indique que nos calculs sont corrects. Et nous remarquons que la fonction de fiabilité $R(t)$ est décroissante avec le temps moyen entre les pannes. Au temps où le système atteint l'instant **130.374** heures, l'équipe de maintenance doit réagir et planifier une nouvelle stratégie de maintenance pour augmenter la fiabilité et réduire les temps d'arrêt du système

II.3.9. Fonction de la réparation théorique

$F(t)$: Probabilité de défaillance.

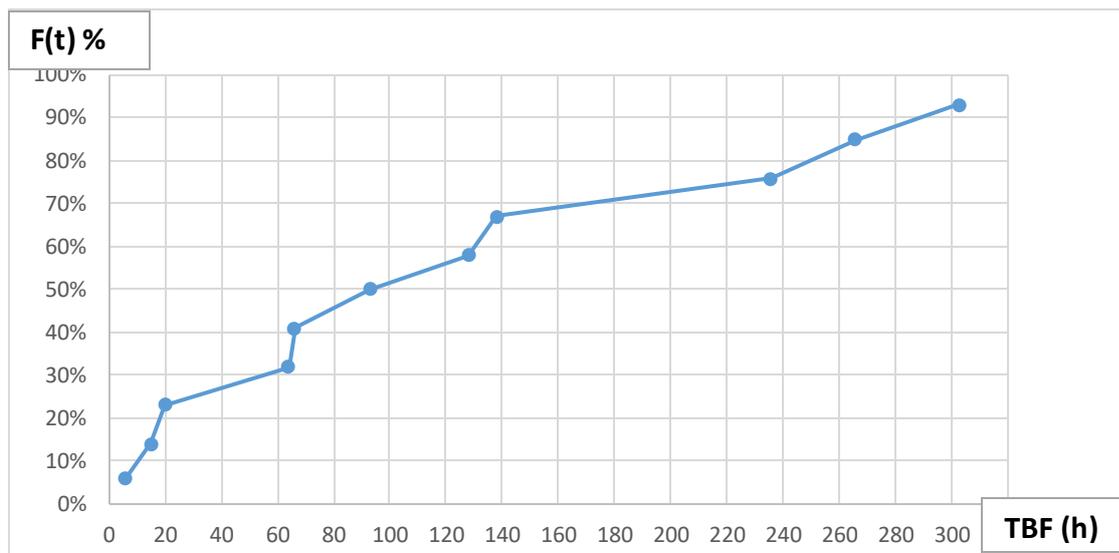


Figure II.9 : Courbe de fonction de répartition théorique

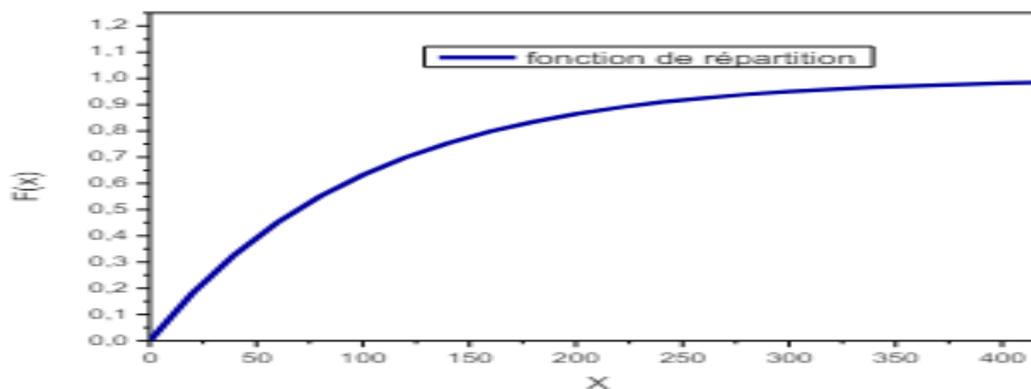


Figure II.5 : Courbe théorique de la fonction de répartition

Selon l'aspect obtenu, il est en accord avec courbe théorique de la fonction de répartition de la loi de Weibull, qui démontre que la fonction de réparation est inversement proportionnelle à la fonction de fiabilité $R(t)$. Cela implique que lorsque la fiabilité diminue, les chances de défaillance augmentent. Par contre, le temps de fonctionnement est lié à la fonction de répartition, c'est-à-dire que plus le temps d'utilisation est long, plus il est probable qu'il y ait une ou plusieurs défaillances du système.

II.3.10. Fonction de densité de probabilité théorique

$f(t)$: Probabilité d'avarie au temps (t), (probabilité d'avoir une seule avarie au temps (t)).

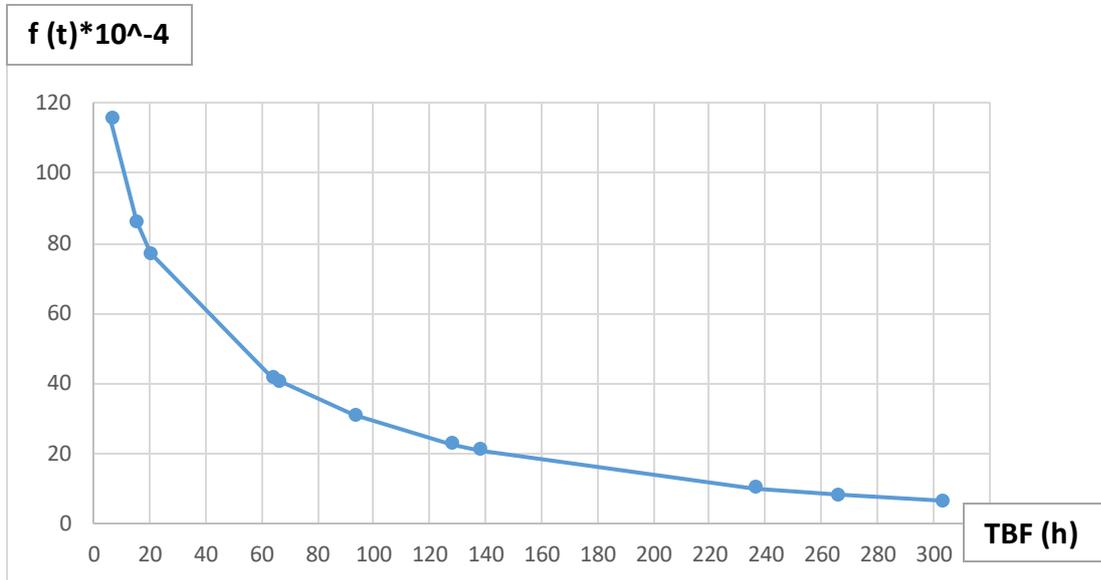


Figure II.10 : Courbe de densité de probabilité

Dans notre cas, la densité de probabilité montre une diminution avec le temps de fonctionnement.

II.3.11. Fonction de taux de défaillance

$\lambda(t)$ représente taux de défaillance [nombre de défaillance /heure].

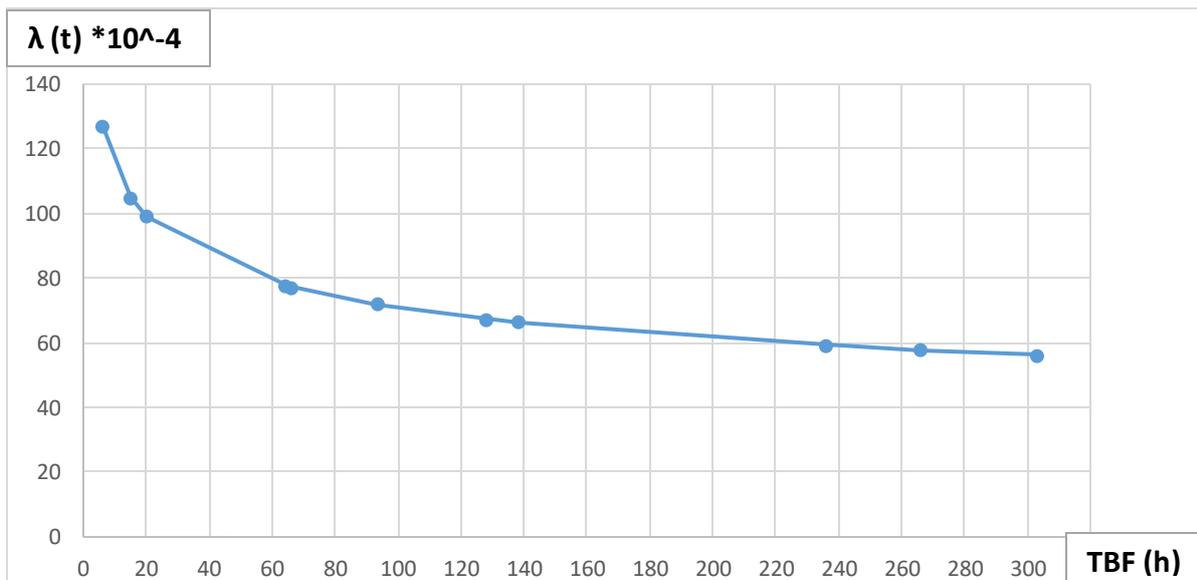


Figure II.11 : Courbe de taux de défaillance

Nous pouvons observer que le taux de défaillance diminue, ce qui est en accord avec la loi de Weibull. Si nous comparons cette courbe avec celle en forme de baignoire, nous constatons que le taux de panne est en diminution.

Par conséquent, nous pouvons en conclure que le chariot élévateur étudié se situe dans la période de jeunesse (avec un paramètre $\beta < 1$).

II.3.12. Analyse des résultats de fiabilité

En effectuant nos calculs et en obtenant les résultats, nous avons constaté que la fiabilité de la grue est de 33,16 %. Effectivement, notre système a connu plusieurs pannes malgré il est dans la période de jeunesse, ce qui indique que le chariot n'est pas fiable. Ce problème peut être attribué à plusieurs facteurs.

- Erreurs de conception.
- Fabrication défectueuse.
- Variabilité de qualité des composants.
- Conditions d'utilisation inadaptées.

Pour diminuer les arrêts et augmenter la fiabilité de système, nous proposons quelques solutions possibles :

- Programmer une nouvelle politique de maintenance.
- Faire des tests approfondis pour la détection d'éventuels problèmes des composants.
- Formation du personnel et amélioration de conception.

II.3.13. Diagramme de PARETO et classification ABC

Ce tableau montre les différentes données pour les analyser avec le diagramme de Pareto :

Tableau II.10 : Durée de panne de différents organes

Organe	Durée de panne (h)	Durée d'arrêt (%)	Cumulé (%)
PROBLEME DE ROULEMENT + ROUE	206.5	36.32%	36.32%
PROBLEME DE DEMARRAGE	173	30.43%	66.75%
PROBLEME DE LEVAGE+INCLINISON	135.5	23.84%	90.57%

FUIT D’HUILE	45	7.92%	98.51%
PROBLEME DE FREIN	8.5	1.49%	100%
Total	568.5	100%	/

D’après les résultats du tableau, on va représenter le diagramme de Pareto dans la figure ci- dessus :

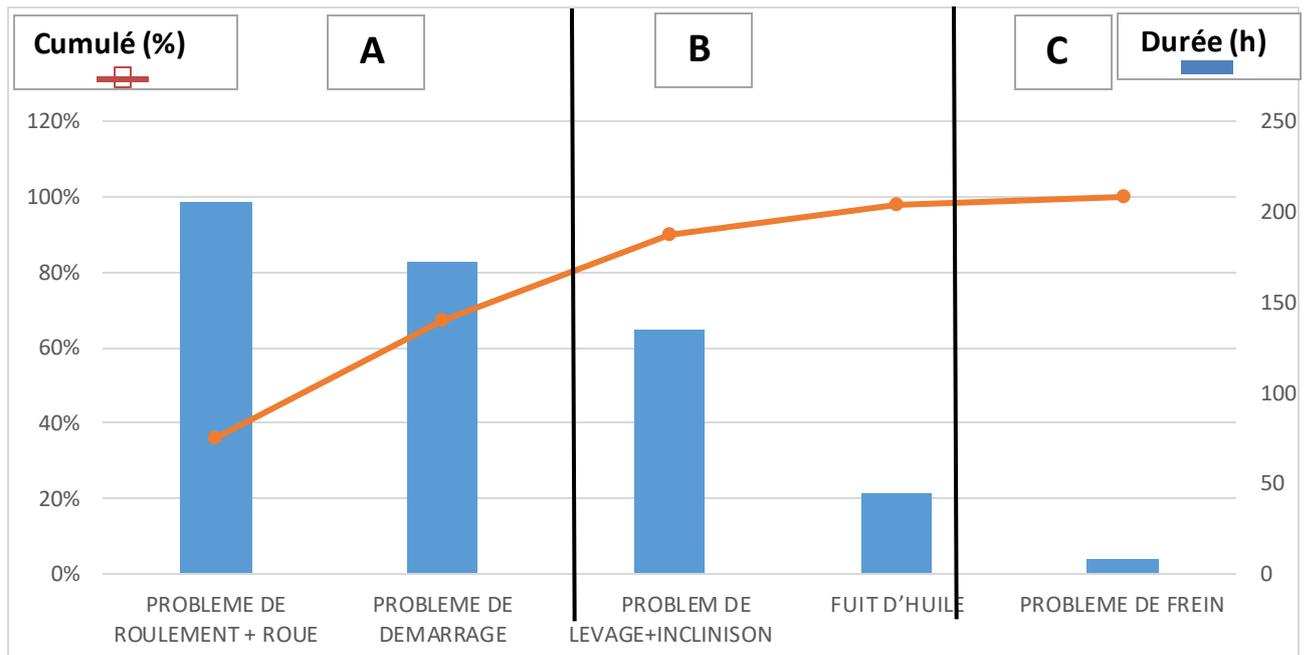


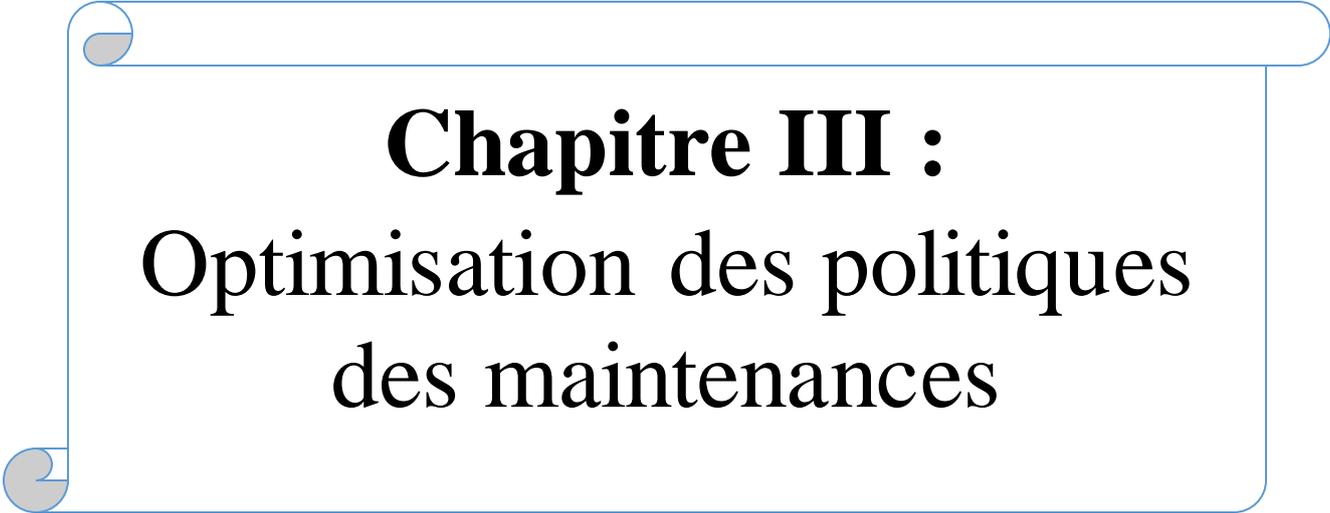
Figure II.12 : Diagramme de Pareto pour le chariot élévateur

- Zone A : on trouve que le problème de roulement + roue et le problème de démarrage représentent 67 % des causes de défaillance de la grue, pour cela il faudra des interventions nécessaires pour éliminer ou de réduire les pannes d’au moins de 50%.
- Zone B : lorsque les causes principales seront réduites de 50%, le problème de levage + inclinaison et fuit d’huile deviendront la cause principale.
- Zone C : les causes des problèmes de frein deviendront négligeables, pour cela, il n’est pas judicieux de perdre du temps pour analyser ces sources de problèmes et faire des actions.

II.4. Conclusion

Ce chapitre s'est concentré sur l'évaluation de la fiabilité d'une grue et d'un chariot élévateur en utilisant la distribution de Weibull. L'objectif principal était de déterminer le temps moyen entre les pannes (MTBF) après avoir identifié les paramètres de Weibull à l'aide du logiciel EasyFit. Ces paramètres ont ensuite été exploités pour calculer la fonction de répartition, le taux de défaillance et la densité de probabilité.

Nous avons constaté que la fiabilité de la grue et le chariot élévateur est faible, cependant nos systèmes ont subi plusieurs pannes. En conclusion, nous avons proposé quelques solutions pour réduire les arrêts et augmenter la fiabilité des systèmes.



Chapitre III :

Optimisation des politiques des maintenances

III.1. Introduction

Les politiques de maintenance sont des stratégies mises en place pour gérer efficacement les actions de maintenance d'une entreprise. Elles jouent un rôle crucial dans la préservation de l'intégrité, tels que les équipements, les infrastructures et les systèmes. Les politiques de maintenance visent principalement à maximiser la disponibilité et la durée de vie des systèmes, tout en réduisant au minimum les dépenses liées à leur entretien.

III.2. Optimisation des politiques de maintenance

Le processus d'amélioration continue et systématique des stratégies de maintenance des systèmes d'une entreprise est appelé optimisation des politiques de maintenance. Le but est d'atteindre un équilibre optimal entre la disponibilité des équipements et les frais de maintenance. Il est essentiel d'analyser attentivement les données pour optimiser les politiques de maintenance et prendre des décisions éclairées. Son objectif est de diminuer la durée d'arrêt des systèmes et de réduire au minimum les dépenses liées à la maintenance. Cela implique de trouver le meilleur équilibre entre la maintenance préventive et corrective, tout en respectant les objectifs fixés. Les coûts préventifs et correctifs sont influencés par la fréquence des opérations de maintenance, comme illustré dans la figure ci-dessous.

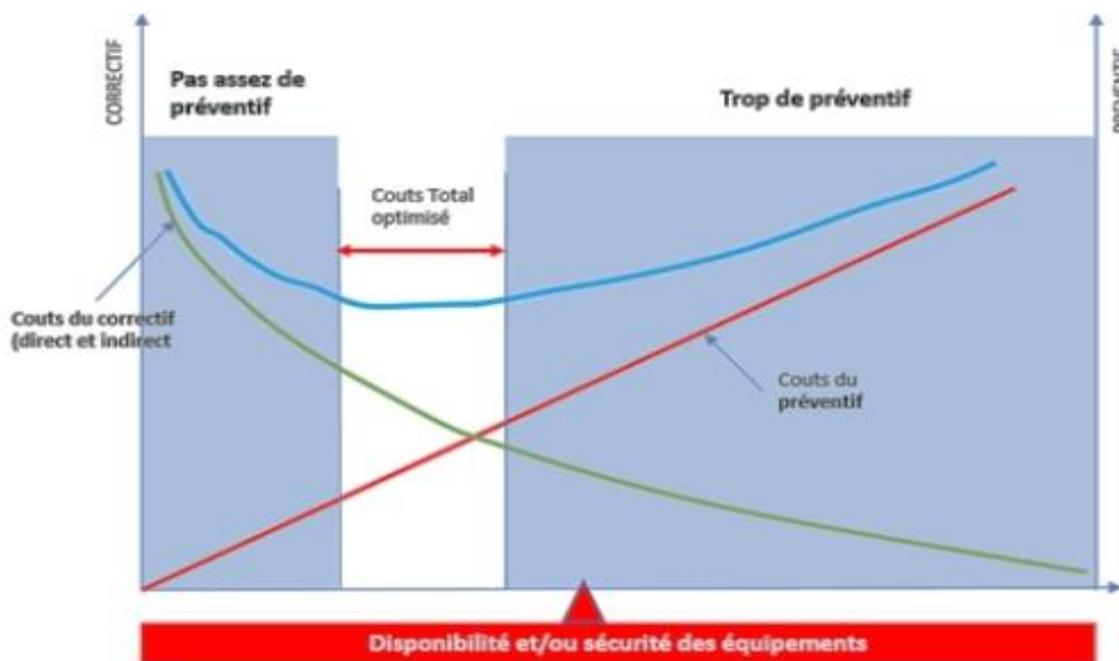


Figure III.1 : Les coûts de maintenance en fonction de la fréquence des interventions

III.2.1. Politique de maintenance selon l'âge

La stratégie de maintenance de type âge consiste à faire un remplacement préventif seulement lorsque l'équipement atteint l'âge T soit la période de remplacement préventif choisie. La durée de remplacement T est déterminée de façon à effectuer un remplacement préventif un peu avant le moment où on estime que l'équipement risque de tomber en panne. Toutefois, si une panne survient avant l'âge T, un remplacement correctif est effectué. La figure suivante représente un schéma des séquences des événements dans cette stratégie, Et cette méthode et un modèle de simulation représente par l'équation suivant [13] :

$$C(t) = \frac{C_p R(t) + [1 - R(t)]C_c}{\int_0^T R(t) d(t)}$$

Le schéma ci-dessous illustre les séquences des événements dans cette stratégie.

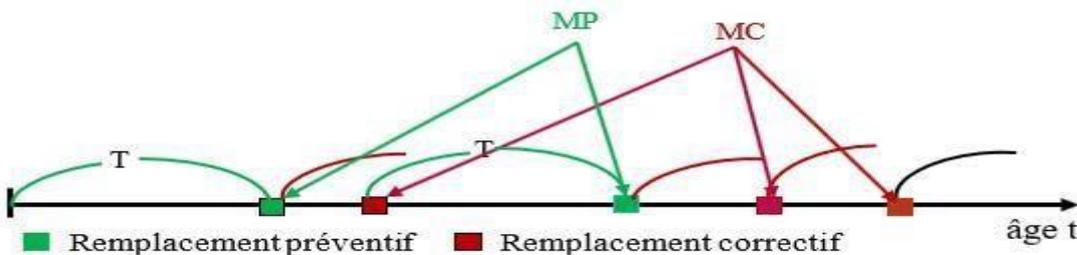


Figure III.2 : Séquence d'événement pour la stratégie de maintenance de type l'âge

III.2.2 Politique de maintenance en bloc

Appelé aussi politique de maintenance préventive périodique, De ce fait, la stratégie de maintenance de type bloc consiste à faire un remplacement correctif de composants à la défaillance, ou un remplacement préventif à des intervalles de temps prédéterminés indépendamment de l'historique des pannes et de leur âge, et réparé à la défaillance intermédiaire où T est une constante [14].

Le schéma ci-dessous illustre les séquences des événements dans cette stratégie.

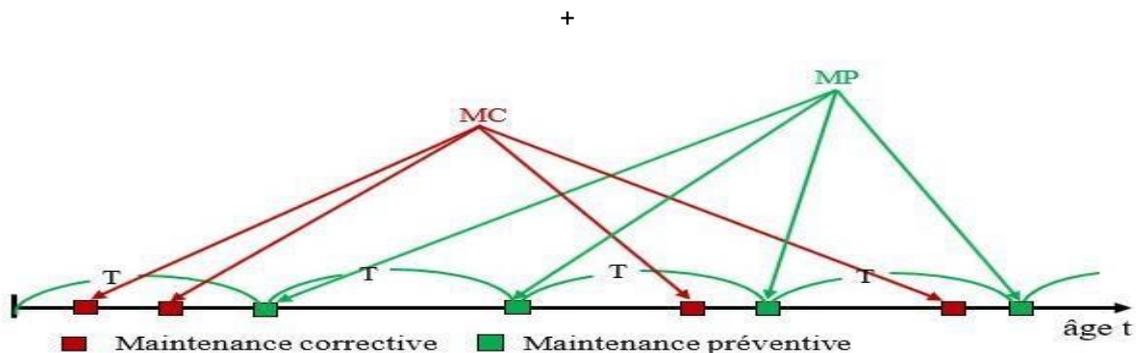


Figure III.3 : Séquence d'événement pour la stratégie de maintenance de type l'âge

III.3. Estimation des coûts

VI.1.1. Estimation des coûts

Pour faire notre étude, nous tenons en compte des données sur les coûts de l'entreprise. Les coûts de maintenance corrective et préventive ont été estimés avec les responsables de la maintenance au niveau de l'entreprise EPB

VI.1.1.1. Estimation des coûts de main d'œuvre par heure

Le tableau suivant représente l'estimation des coûts de main d'œuvres par heure des actions de maintenance pour un ingénieur et un technicien de maintenance au sein de l'entreprise EPB.

Main d'œuvre	Ingénieur	Technicien en maintenance
Coût de main d'œuvre par heure (DA /h)	300.00	250.00

Tableau III.1 : Estimation des coûts de main d'œuvre par heure

Le tableau III.1 représente les coûts de main d'œuvre des actions de maintenance préventives et correctives, on calcule le coût d'une intervention préventive par la somme des coûts de main d'œuvre (ingénieur électrique ou mécanique + technicien en maintenance) selon la nature de la panne, qui égale dans notre exemple à 550.00 DA/h. Le coût d'une action corrective est calculé par la somme des coûts de main d'œuvre (ingénieur mécanique + ingénieur électrique + technicien en maintenance), vu que la plupart des machines contiennent des parties électrique et mécanique, dans notre exemple le coût égale à 850.00 DA/h

Type d'action	Préventive	Corrective
Main d'œuvre		
Technicien en maintenance	250.00	250.00
Ingénieur mécanique	300.00	300.00
Ingénieur électrique		300.00
Total	550.00	850.00

Tableau III.2 : Coût d'une intervention de maintenance par heure

III.3.3. L'estimation de perte de production

Pour l'estimation de perte de production et coût d'une réparation minimale sans donné

. On trouve ces prix au niveau de l'entreprise portuaire Bejaïa

➤ Le coût de perte de production de :	⇒	178500.00 DA
➤ Coût d'une réparation minimale pour la grue :	⇒	C _{min} = 383250.00 DA
➤ Coût d'une réparation minimale pour le chariot élévateur :	⇒	C _{min} = 276150.00DA

III.4. Elément de sortie

Le tableau suivant représente les coûts des pièces de rechange et la durée de remplacement pour la grue et le chariot élévateur. On calcule les coûts de remplacement par :

$$C_p = \text{coût de main d'œuvre} + \text{coût de pièce de rechange.} \quad (III.2)$$

$$C_c = \text{coût de main d'œuvre} + \text{coût de pièce de rechange} + \text{coût de perte de production.} \quad (III.3)$$

Cas d'étude	Grue	Chariot elevateur
Coût de pièces de rechange (DA)	65000.00	45000.00
Durée de remplacement (H)	21	15
Coût de main d'œuvre (DA)	19000.00	11000.00
Coût de remplacement préventif C _p (DA)	84000.00	56000.00
Coût de remplacement correctif C _c (DA)	383250.00	2761500.00

Tableau III.3 : Elément de sortie pour la grue et le chariot élévateur

III.5. Cas d'étude de la grue

Nous allons présenter deux politiques de maintenance en utilisant des formules mathématiques. Par la suite, nous évaluons les délais et les dépenses optimales liées à chaque stratégie. Cette analyse des résultats nous aidera à sélectionner le modèle le plus approprié. Pertinent pour notre situation. Selon la conclusion du chapitre III selon laquelle notre système est en phase de vieillesse ($\beta < 1$), il est nécessaire d'adopter une politique de maintenance optimale qui permettra de faire face à cette dégradation et d'augmenter la fiabilité du système, tout en maximisant les bénéfices de production de l'entreprise.

VI.5.1. Comparaison des coûts des deux politiques

Dans notre étude, nous allons faire une comparaison entre la politique de maintenance selon l'âge et celle en bloc pour la grue.

VI.5.2. Politique de maintenance en bloc pour la grue

Notre suggestion consiste à aborder le problème en utilisant une méthode analytique qui nous permettra d'évaluer les critères de coûts de notre système. Selon les résultats du troisième chapitre sur les paramètres de Weibull, la formule suivante est utilisée.

$$C(t) = \frac{c_{min}}{T} \int_0^T \lambda(t) dt + \frac{c_p}{T} \quad [III.5]$$

D'après l'équation :

$$H(t) = \int_0^T \lambda(t) dt \quad [III.6]$$

On aura :

$$\int_0^T \lambda(t) dt = \left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta \quad [III.7]$$

On remplace par des valeurs :

$$C(t) = \frac{383250}{T} \int_0^T 16.8 * 10 * -3 \left(\frac{t}{77.527}\right)^{0.3062} + \frac{84000}{T} \quad [III.8]$$

Les résultats obtenus sont :

$$C(t) = \frac{1300.86 * T^{1.3062} + 84000}{T} \quad [III.9]$$

Notre objectif est de trouver T^* qui minimise l'expression $C(t)$, pour cela il suffit de résoudre l'équation :

$$\frac{\partial C(t)}{\partial T} = 0 \quad [III.10]$$

Le minimum de la fonction de coût $C(t)$ est atteint lorsque sa dérivée s'annule, donc :

$$\frac{\partial C(t)}{\partial T} = \frac{398.32 * T^{1.3062} - 84000}{T^2} \quad [III.11]$$

Pour avoir T^* il faut que :

$$398.32 * T^{1.3062} - 84000 = 0 \quad [III.12]$$

$$398.32 * T^{1.3062} = 84000$$

$$T^{1.3062} = \frac{84000}{398.32}$$

$$T = \sqrt[1.3062]{\frac{84000}{398.32}} \quad [III.13]$$

$$T = 60.15h \quad [\text{III.14}]$$

On remplace T^* dans l'expression $C(T)$ on aura :

$$C(t) = \frac{1300.86 * 60.15^{1.3062} + 84000}{60.15}$$

$$C(t) = 5957.2 \frac{DA}{H} \quad [\text{III.15}]$$

VI.5.3. Politique de maintenance selon l'âge pour la grue

On a la formule de l'espérance de coût de maintenance comme suit :

$$C(t) = \frac{C_p R(t) + [1 - R(t)] C_c}{\int_0^T R(t) d(t)} \quad [\text{III.16}]$$

La résolution analytique de l'expression $C(t)$ est impossible. Nous allons utiliser des méthodes numériques pour simuler la stratégie de maintenance en utilisant le programme Matlab suivant :

```
clear all
clc
A=[] ;
H=[] ;
for t=[1 :7000]
A=[A,[t]] ;
R(t)=exp(-(0.0168*t).^1.3062) ;
F(t)=quad(@(t)exp(-(0.0168*t).^1.3062),0,t) ;
c=(84000*R(t)+(1-R(t))*3832500)./F(t) ;
H=[H,[c]] ;
end
plot(A,H) ;
xlabel('Temps(heures)')
ylabel('Cout(Dinar algerien)T')
```

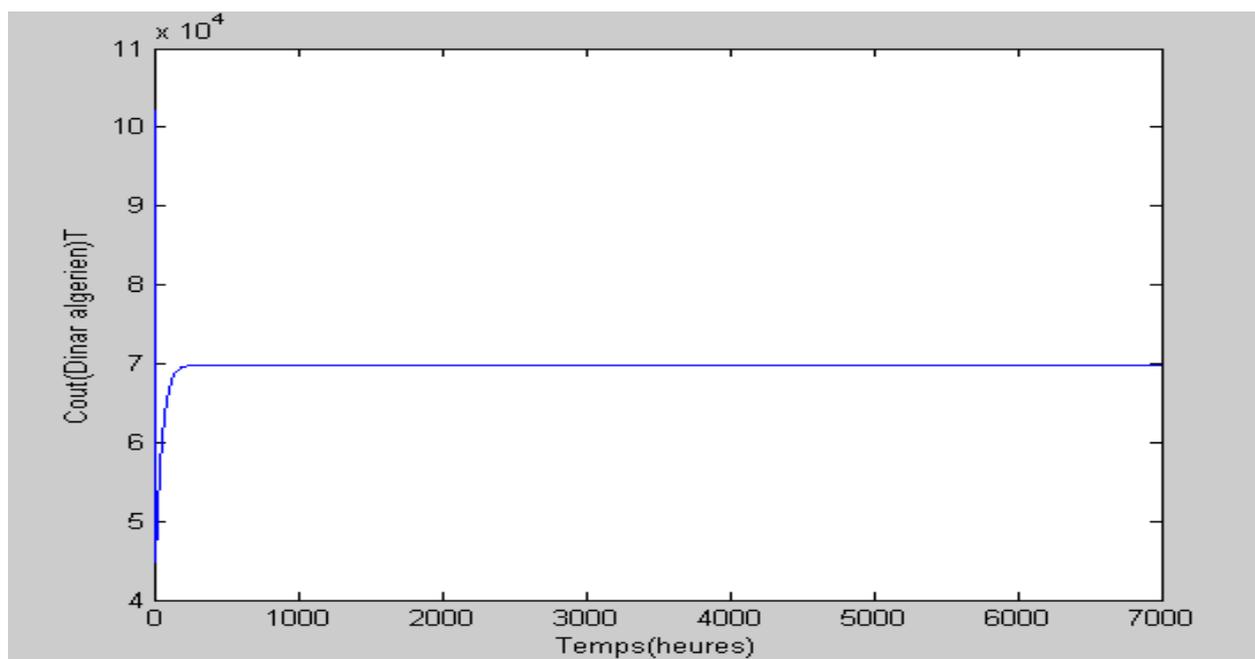


Figure III.4 : Comportement de coût en fonction de l'âge de remplacement

- **Commentaire**

D'après les résultats de simulation, nous avons remarqué que le coût de remplacement moyen par heure (C^*) de la stratégie de la maintenance type âge est approximativement de :

$$C^* = 69780 \text{ DA/H} \quad [\text{III.16}]$$

Et l'âge optimale est de :

$$T^* = 292 \text{ H} \quad [\text{III.17}]$$

III.5.4. Interprétation des résultats

Les résultats présentés dans le tableau [III.1], indiquent que la politique de maintenance en bloc est économiquement plus avantageuse que la politique de maintenance selon l'âge. Par conséquent, il est préférable d'opter pour la politique de maintenance en bloc pour ce système.

Le tableau suivant représente les résultats obtenus :

Tableau III.1 : Les résultats des coûts pour la grue

La grue	Politique de maintenance de type âge	Politique de maintenance en Bloc
Coût optimale C^* (DA/H)	69780	5957.2
Périodicité optimale T^* (H)	292	60.15

III.6. Cas d'étude du chariot élévateur

Nous allons examiner deux politiques de maintenance en utilisant des formules mathématiques. Ensuite, nous déterminerons les temps et les coûts optimaux associés à chaque politique. Cette comparaison des résultats nous aidera à choisir le modèle le plus adapté à notre situation. À partir de la conclusion du chapitre III qui indique que notre système présente une faible fiabilité, il est essentiel d'intégrer une politique de maintenance idéale. Celle-ci nous permettra de faire face à cette dégradation et d'augmenter la fiabilité du système, tout en maximisant les bénéfices de production de l'entreprise.

III.6.1. Comparaison des coûts des deux politiques

Dans notre étude, nous allons effectuer une comparaison entre la politique de maintenance basée sur l'âge et la politique de maintenance en bloc pour Le chariot élévateur

III.6.2. Politique de maintenance en bloc pour le chariot élévateur

Dans le cas de la grue on a $\beta > 1$

Donc $T = \infty$

III.6.3. Politique de maintenance selon l'âge pour le chariot élévateur

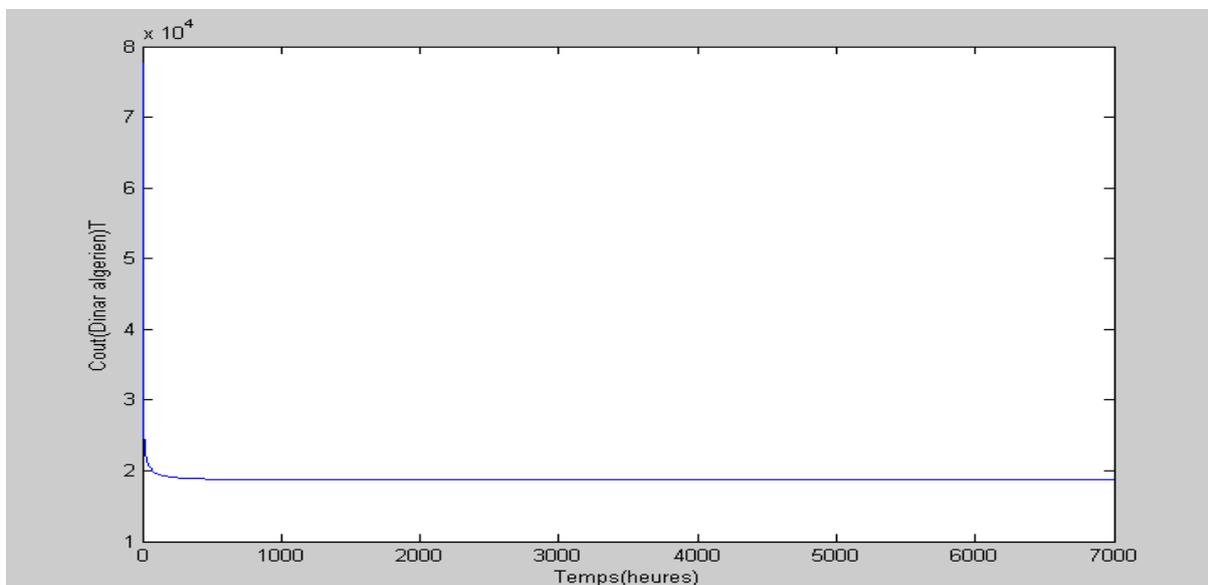
Nous constatons que la résolution de l'expression (VI.16) analytiquement est impossible, Nous allons utiliser des méthodes numériques pour simuler la stratégie de maintenance en utilisant le programme Matlab suivant :

```
clear all
clc
A=[] ;
H=[] ;
for t=[1 :7000]
A=[A,[t]] ;
R(t)=exp(-(0.00688*t).^0.97209) ;
F(t)=quad(@(t)exp(-(0.00688*t).^0.97209),0,t) ;
c=(56000*R(t)+(1-R(t))*2761500)./F(t) ;
H=[H,[c]] ;
end
plot(A,H) ;
```

xlabel('Temps(heures)')

ylabel('Cout(Dinar algerien)T')

Figure III.5 : Comportement de coût



en fonction de l'âge de remplacement

• **Commentaire**

D'après les résultats de simulation, nous avons remarqué que le coût de remplacement moyen par heure (C^*) de la stratégie de la maintenance type âge est approximativement de :

$$C^* = 18765.00 \text{ DA/H} \quad [\text{VI.18}]$$

Et l'âge optimale est de :

$$T^* = 466 \text{ H} \quad [\text{VI.19}]$$

III.6.4. Interprétation des résultats

Les résultats présentés dans le tableau suivant, indiquent que la politique de maintenance selon age est économiquement plus avantageuse que la politique de maintenance en bloc. Par conséquent, il est préférable d'opter pour la politique de maintenance en bloc pour ce système.

Le tableau suivant représente les résultats obtenus :

Tableau III.2 : Les résultats des coûts pour le chariot élévateur

Le chariot élévateur	Politique de maintenance de type âge	Politique de maintenance en Bloc
Coût optimal C^* (DA/H)	18765.00	∞
Périodicité optimale T^* (H)	766	∞

III.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons mis en avant l'importance d'une politique de maintenance efficace au sein d'une entreprise. Nous avons ensuite analysé les données de coûts de maintenance de l'entreprise portuaire Bejaïa (EPB) et comparé deux politiques de maintenance pour la grue et le chariot élévateur : la maintenance en bloc et la maintenance selon l'âge. Nos résultats montrent que la maintenance en bloc est plus avantageuse pour la grue et le chariot élévateur. Ces conclusions permettent de mieux orienter les stratégies de maintenance pour chaque type d'équipement.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Le but principal d'une entreprise économique consiste à optimiser ses profits tout en particulier les dépenses. L'entreprise doit mettre en œuvre des procédures et des stratégies appropriées afin de diminuer les risques de pannes dans sa chaîne de production et d'améliorer la fiabilité de ses équipements afin d'atteindre cet objectif.

Le fichier historique de l'entreprise nous a permis de repérer les pannes courantes de la grue et du chariot élévateur, puis nous avons calculé les temps de bon fonctionnement pour chaque système. L'objectif de notre étude est de repérer les paramètres de Weibull en utilisant le logiciel EasyFit afin de comparer nos résultats avec la courbe de baignoire et de déterminer à quelle période de vie nos équipements étudiés appartiennent. Effectivement, nous avons observé que la grue se situe dans la période de vieillissement avec un paramètre de ($\beta > 1$) et le chariot élévateur dans la période de jeunesse avec un paramètre de ($\beta < 1$).

Par la suite, une fois que nous avons mesuré l'intensité de défaillance de chaque système, leur taux de défaillance, ainsi que la fonction de fiabilité, et après avoir tracé leur allure, nous avons constaté que les deux machines présentent une faible fiabilité, avec une fiabilité inférieure à 50%. C'est pourquoi, nous avons identifié les principales raisons des pannes des systèmes en utilisant la méthode de Pareto. Ensuite, nous avons suggéré quelques mesures préventives, amélioratives et correctives afin de réduire le nombre de pannes et de réduire les temps d'arrêt des systèmes, afin d'atteindre l'objectif de l'entreprise.

En conclusion de notre étude, nous avons constaté l'impact de la politique de maintenance sur les objectifs de la société. Nous avons étudié et calculé la politique de maintenance la plus appropriée pour chaque système dans notre cas d'analyse. Nous avons observé que la politique de maintenance en bloc est la plus recommandée pour le chariot élévateur et la grue.

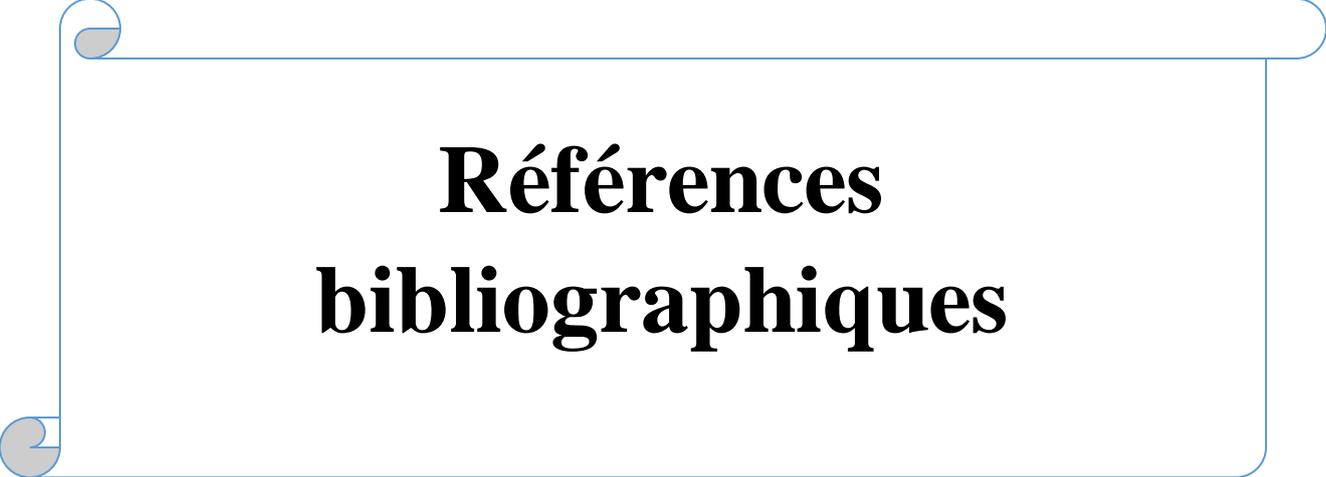
Finalement, notre étude nous a fait prendre conscience de l'importance de la stratégie de maintenance adoptée au sein de l'entreprise. Son objectif est d'assurer la fiabilité des équipements, de diminuer les dépenses, de prolonger la durée de vie des équipements et d'améliorer la qualité des produits. Elle occupe une place essentielle dans les résultats globaux de l'entreprise et favorise sa compétitivité sur le marché.



Annexes

Annexe 2 : Table de la loi de Weibull

β	A	B	β	A	B	β	A	B	β	A	B
0,05	2,43290E+18	9,03280E+23	1,75	0,89062	0,52523	3,45	0,89907	0,28822	5,15	0,91974	0,20505
0,1	3,62880E+06	1,56977E+09	1,8	0,88929	0,51123	3,5	0,89975	0,28473	5,2	0,92025	0,20336
0,15	2,59357E+03	1,21993E+05	1,85	0,88821	0,49811	3,55	0,90043	0,28133	5,25	0,92075	0,20170
0,2	1,20000E+02	1,90116E+03	1,9	0,88736	0,48579	3,6	0,90111	0,27802	5,3	0,92125	0,20006
0,25	2,40000E+01	1,99359E+02	1,95	0,88671	0,47419	3,65	0,90178	0,27479	5,35	0,92175	0,19846
0,3	9,26053E+00	5,00780E+01	2	0,88623	0,46325	3,7	0,90245	0,27164	5,4	0,92224	0,19688
0,35	5,02914E+00	1,99761E+01	2,05	0,88589	0,45291	3,75	0,90312	0,26857	5,45	0,92272	0,19532
0,4	3,32335E+00	1,04382E+01	2,1	0,88569	0,44310	3,8	0,90379	0,26558	5,5	0,92320	0,19379
0,45	2,47859E+00	6,46009E+00	2,15	0,88561	0,43380	3,85	0,90445	0,26266	5,55	0,92368	0,19229
0,5	2,00000E+00	4,47214E+00	2,2	0,88562	0,42495	3,9	0,90510	0,25980	5,6	0,92414	0,19081
0,55	1,70243E+00	3,34530E+00	2,25	0,88573	0,41652	3,95	0,90576	0,25701	5,65	0,92461	0,18935
0,6	1,50458E+00	2,64514E+00	2,3	0,88591	0,40848	4	0,90640	0,25429	5,7	0,92507	0,18792
0,65	1,36627E+00	2,17887E+00	2,35	0,88617	0,40080	4,05	0,90704	0,25162	5,75	0,92552	0,18651
0,7	1,26582E+00	1,85117E+00	2,4	0,88648	0,39345	4,1	0,90768	0,24902	5,8	0,92597	0,18512
0,75	1,19064	1,61077	2,45	0,88685	0,38642	4,15	0,90831	0,24647	5,85	0,92641	0,18375
0,8	1,13300	1,42816	2,5	0,88726	0,37967	4,2	0,90894	0,24398	5,9	0,92685	0,18240
0,85	1,08796	1,28542	2,55	0,88772	0,37319	4,25	0,90956	0,24154	5,95	0,92729	0,18107
0,9	1,05218	1,17111	2,6	0,88821	0,36696	4,3	0,91017	0,23915	6	0,92772	0,17977
0,95	1,02341	1,07769	2,65	0,88873	0,36097	4,35	0,91078	0,23682	6,05	0,92815	0,17848
1	1,00000	1,00000	2,7	0,88928	0,35520	4,4	0,91138	0,23453	6,1	0,92857	0,17721
1,05	0,98079	0,93440	2,75	0,88986	0,34963	4,45	0,91198	0,23229	6,15	0,92898	0,17596
1,1	0,96491	0,87828	2,8	0,89045	0,34427	4,5	0,91257	0,23009	6,2	0,92940	0,17473
1,15	0,95170	0,82971	2,85	0,89106	0,33909	4,55	0,91316	0,22793	6,25	0,92980	0,17351
1,2	0,94066	0,78724	2,9	0,89169	0,33408	4,6	0,91374	0,22582	6,3	0,93021	0,17232
1,25	0,93138	0,74977	2,95	0,89233	0,32924	4,65	0,91431	0,22375	6,35	0,93061	0,17113
1,3	0,92358	0,71644	3	0,89298	0,32455	4,7	0,91488	0,22172	6,4	0,93100	0,16997
1,35	0,91699	0,68657	3,05	0,89364	0,32001	4,75	0,91544	0,21973	6,45	0,93139	0,16882
1,4	0,91142	0,65964	3,1	0,89431	0,31561	4,8	0,91600	0,21778	6,5	0,93178	0,16769
1,45	0,90672	0,63522	3,15	0,89498	0,31135	4,85	0,91655	0,21586	6,55	0,93216	0,16657
1,5	0,90275	0,61294	3,2	0,89565	0,30721	4,9	0,91710	0,21397	6,6	0,93254	0,16547
1,55	0,89939	0,59252	3,25	0,89633	0,30319	4,95	0,91764	0,21212	6,65	0,93292	0,16439
1,6	0,89657	0,57372	3,3	0,89702	0,29929	5	0,91817	0,21031	6,7	0,93329	0,16332
1,65	0,89421	0,55635	3,35	0,89770	0,29550	5,05	0,91870	0,20853	6,75	0,93366	0,16226
1,7	0,89224	0,54024	3,4	0,89838	0,29181	5,1	0,91922	0,20677	6,8	0,93402	0,16121



Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] K. Mahfoudi, "Gestion et organisation de la maintenance", Projet de mise à niveau de la formation professionnelle en Algérie, Support technique, 2008.
- [2] Fichier historique de l'EPB
- [4] cours M2, AIT MOKHTAR, "modèle de maintenance", université de Béjaia, 2021/2022
- [5] L. Pintelon et A. Parodi-Herz, Maintenance : An Evolutionary Perspective, in Complex System Maintenance Handbook, London : Springer London, 2008, p. 21-48. Doi : 10.1007/978-1-84800-011-7_2.
- [6] Pr. Ahmed BELLAOUAR M.A. Salima Beleulmi université Constantine1
"FIABILITE MAINTENABILITE DISPONIBILITE " Année Académique 2013-2014
- [7] Document, Amélioration maintenance des équipements au niveau de l'atelier de tissage, DENITEX-SEBDOU
- [9] Azzoug micipsa, "étude et réalisation d'un chariot élévateur " mémoire de master université A.Mira bejaia 2019
- [10] Gruesde_chantier_gftrd.pdf
- [13] H. Boudhar, M. Dahane et N. Rezg, "New dynamic for the optimization of opportunities to use new and remanufactured spare part in stochastic degradation context , journal", Intelligent manufacturing 2014, P. 28: 437-454, DOI: 10.1007/s 10845-014-0989-1.
- [14] N. Toshio. Z. Xufeng et Y. Won, "Optimal age replacement and inspection policies with random failure and replacement times", International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, 18(05), 2011, P. 405-416 .



Webographie

Webographie

[3] <https://www.mcours.com/liste/cours-maintenance-informatique>

[8] [https://syram.eu/mtbf-mtr-mttf/..](https://syram.eu/mtbf-mtr-mttf/)

[11] <https://www.liebherr.com/fr/int/disclaimer/plan-du-site.html>

[12] <https://tractor.fr/guide/les-differents-types-de-chariots-de-manutention>