



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
Faculté des Science applique
FILIERE : Électromécanique
Département génie Mécanique



Mémoire de fin d'étude
En vue de l'obtention du diplôme de master
Option maintenance industrielle

Présenté par :
SELAMI Ala Eddine
ET
SOLTANI Abd EL KRIM

Thème

**Elaboration d'un cahier de charge fonctionnel d'une
grue de chantier pétrolier**

Le jury composé de :

Mr : M.GUEBAILIA	MCA. Université d'Ouargla	Président
M ^m : I. ALLOUI	MCB. Université d'Ouargla	Encadreur
Mr : F. BENTALEB	MCB. Université d'Ouargla	Examineur
Mr : Y. AOUF	Assistant directeur transport L'ENAFOR	Co-encadreur

Année universitaire : 2019/2020

REMERCIEMENTS

Avant tout, nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné courage, patience et force durant toutes ces années d'étude et que grâce à lui ce travail a pu être réalisé.

Nous tenons à exprimer notre remerciement et notre gratitude à notre encadreur : *M^{me}*. Alloui Imane pour la confiance qu'elle nous a prodigué pour la direction de ce travail et qui s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi nos remerciements vont à notre co_encadreur Mr Aouf Yahia Assistant directeur de transport de l'entreprise ENAFOR, pour l'aide et le temps qu'il a bien voulu nous consacrer, sans oublier ses précieux conseils.

Nos remerciements au département Génie mécanique de l'université de Ouargla et à tous les enseignants qui nous enseignés durant les années du cursus.

Nos remerciements sont également adressés aux membres de jury qui ont accepté de juger ce travail.

Enfin nous remercions aussi nos familles et toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin à la rédaction de ce mémoire.

Dédicace

Je dédie ce travail en guise d'amour et d'affection
À mes Chers parents, qui par leurs prières m'ont
Éclairé le chemin de la vie. et surement A ma mère
Et à tout ma famille

A tous mes proches et à mes chers amis

Sans exception qui m'ont soutenu dans les moments les plus difficiles

Sommaire

Remerciement

Dédicace

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des notations

Introduction générale

CHAPITRE I : Présentation de l'entreprise ENAFOR

I.1. Présentation de l'entreprise 1

I.2 Organigramme 1

CHAPITRE II : Généralités sur la maintenance, la fiabilité, l'analyse fonctionnelle et les cahiers de charge.

II.1 Généralités sur la maintenance 5

II.1 .1 Définition de la maintenance 5

II.1.2 L'importance et le rôle de la maintenance 5

II.1.3 Objectifs de la maintenance 5

II.1.4 Les niveaux de maintenance 6

II.1.5 Les Temps De La Maintenance 6

II.1.6 Types de maintenance 7

II.1.7 Politiques de maintenance 8

II.1.8 Les opérations de maintenance 9

II.2. La fiabilité (FMD) 9

II.2.1 Etudes de fiabilité, maintenabilité, disponibilité (FMD)

II.2.1.1 Sûreté de fonctionnement 9

II.2.1.2 Fiabilité 10

II.2.1.3 Maintenabilité 10

II.2.1.4 Disponibilité 10

II.2.1.5 Logistique de maintenance 10

II.2.2 Le Taux de défaillance	10
II.2.2.1 Définition	10
II.2.2.2 La courbe en baignoire	11
II.2.3 Analyse FMD d'un historique	11
II.2.3.1 Analyse du non fiabilité	11
II.2.3.2 Analyse du non maintenabilité	12
II.2.3.3 Analyse du non disponibilité	12
II.2.4 Etude de la fiabilité	13
II.2.4.1 Intérêt de l'étude de la fiabilité	13
II.2.4.2 Calcul de la fiabilité	13
II.2.5 LE MODELE DE WEIBULL	14
II.2.5.1 Définitions des paramètres utilisés	15
II.2.5.2 Détermination graphique des paramètres de la loi de Weibull	15
II.2.5.3 Méthodologie de WEIBULL	15
II.3 L'analyse Fonctionnelle	16
II.3.1 Quelques Définitions	16
II.3.2 la démarche simplifiée d'Analyse Fonctionnelle	18
II.3.3 les principes de base	18
II.3.4 Les normes	18
II.3.5 les étapes	19
Etape 1 : Analyse du Besoin	19
Etape 2 : Analyse fonctionnelle du besoin (AFB)	20
Etape 3 : Analyse Fonctionnelle du besoin (AFB)	22
II.4. Cahier des charges	23
II.4.1 Définition	23
II.4.2 Utilisation du cahier des charges	23
II.4.3 Composition d'un cahier des charges	24
II.4.3.1 Cahier des charges fonctionnel	24
II.4.3.2- Cahier des charges technique	26

III.3.3.5. Calcul de Maintenabilité (GROVE 4x4 N23)	57
III.3.3.6. Calcul de la disponibilité de la grue (GROVE 4x4 N23)	59
III.4. Conclusion	60

CHAPITRE IV : Analyse fonctionnelle des grues et élaboration d'un cahier de charge amélioré

IV. 1 Introduction	63
IV. 2 Bête à corne	63
IV.3 L'analyse fonctionnelle, diagramme pieuvre	64
IV. 3.1 Identification des éléments du milieu extérieur (EME)	64
IV. 4 élaboration d'un cahier de charge amélioré	67

CONCLUSION GENERALE

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXE

Liste de figure

CHAPITRE I		
Figure I .1	Organisation de l'entreprise	2
Figure I .2	Organisation de la direction transport	4
CHAPITRE II		
Figure II.1	Les temps de la maintenance	6
Figure II.2	Différents types de maintenance	7
Figure II.3	Politiques de maintenance	8
Figure II.4	Diagramme FMD	9
Figure II.5	La courbe en baignoire	11
Figure II.6	Graphe indicateur de non fiabilité	12
Figure II.7	Graphe indicateur de non maintenabilité	13
Figure II.8	Graphe indicateur indisponibilité	14
Figure II.9	Graphe la fiabilité	15
Figure II.10	Schématisation des axes	18
Figure II.11	La démarche simplifiée d'Analyse Fonctionnelle	19
Figure II.12	Schéma bête a corne	19
Figure II.13	La satisfaction d'un besoin	20
Figure II.14	Questions à poser pour expression du besoin	20
Figure II.15	Le cycle de vie d'un produit	21
Figure II.16	Schéma identification des EME	22
Figure II.17	Schéma recensement de fonction de service	22
Figure II.18	Schéma classification les fonctions	22
CHAPITRE III		
Figure III.1	Pourcentage de pannes des GRUES	28
Figure III.2	Papier de WEIBULL en logiciel MINITAB (Grove 55t 6*6 N 58)	32
Figure III.3	Courbe de la densité de probabilité (Grove 55t 6*6 N 58)	35
Figure III.4	La Courbe de Fonction Répartition (Grove 55t 6*6 N 58)	36
Figure III.5	La Courbe de la Fonction Fiabilité (Grove 55t 6*6 N 58)	36
Figure III.6	La Courbe Du taux de défaillance (Grove 55t 6*6 N 58)	37
Figure III.7	La Courbe de Maintenabilité (Grove 55t 6*6 N 58)	38
Figure III.8	La Courbe de disponibilité de la grue Grove 55t 6*6 N 58	40
Figure III.9	Papier de WEIBULL par le logiciel MINITAB (TEREX 55T N°51)	42
Figure III.10	La courbe densité de probabilité (TEREX 55T N°51)	46
Figure III.11	La Courbe de fonction répartition (TEREX 55T N°51)	46
Figure III.12	La Courbe De la Fonction Fiabilité (TEREX 55T N°51)	47
Figure III.13	La Courbe Du taux de défaillance (TEREX 55T N°51)	47
Figure III.14	La Courbe de Maintenabilité (TEREX 55T N°51)	49
Figure III.15	La Courbe de disponibilité (TEREX 55T N°51)	50
Figure III.16	Papier de WEIBULL en logiciel MINITAB (GROVE 4x4 N23)	53
Figure III.17	La Courbe Densité De Probabilité (GROVE 4x4 N23)	56
Figure III.18	La Courbe De Fonction Répartition (GROVE 4x4 N23)	56
Figure III.19	La Courbe de la fonction fiabilité (GROVE 4x4 N23)	57
Figure III.20	La Courbe Du taux de défaillance (GROVE 4x4 N23)	57
Figure III.21	La Courbe de Maintenabilité (GROVE 4x4 N23)	58

Figure III.22	La Courbe de disponibilité (GROVE 4x4 N23)	60
CHAPITRE IV		
Figure IV.1	Schéma bête à corne (grue mobile sur pneumatiques)	63
Figure IV.2	Diagramme pieuvre (Grue sur pneus)	66

Liste de tableaux

CHAPITRE II		
Tableau II.1	Les niveaux de maintenance	6
Tableau II.2	Méthodologie de WEIBULL	16
Tableau II.3	Caractérisation des EME	21
Tableau II.4	Caractérisation de fonction de service	23
CHAPITRE III		
Tableau III.1	Nombre de pannes des GRUES	27
Tableau III.2	Nombre des arrêts des grues Grove 55T 6*6 durant 5ans	29
Tableau III.3	Historique des TTR, TBF et UT (Grove 55t 6*6 N 58)	30
Tableau III.4	Fonction de répartition théorique et réelle (Grove 55t 6*6 N 58)	33
Tableau III.5	Fonctions de fiabilité $f(t)$, $F(t)$, $R(t)$ et $\lambda(t)$ pour la grue Grove 55t 6*6 N 58	35
Tableau III.6	La maintenabilité (Grove 55t 6*6 N 58)	38
Tableau III.7	Tableau de disponibilité de la grue Grove 55t 6*6 N 58	39
Tableau III.8	Nombre des arrêts des grues TEREX 55T durant 5ans	40
Tableau III.9	Historique des TTR, TBF et UT (TEREX 55t 6*6 N°51)	41
Tableau III.10	Comparaison entre la fonction de répartition théorique et réelle TEREX 55T N51	43
Tableau III.11	Résultat du calcul de $f(t)$, $F(t)$, $R(t)$, et $\lambda(t)$ (TEREX 55T N°51)	45
Tableau III.12	La maintenabilité de la grue TEREX 55T N°51	48
Tableau III.13	Tableau de disponibilité (TEREX 55T N°51)	50
Tableau III.14	Nombre des arrêts des grues GROVE 4x4 60T durant 5ans	52
Tableau III.15	Historique des TTR, TBF et UT (GROVE 4x4 N23)	52
Tableau III.16	Comparaison des erreurs entre la fonction de répartition théorique et réelle (GROVE 60T N23)	54

Tableau III.17	Résultat du calcul de $f(t)$, $F(t)$, $R(t)$, et $\lambda(t)$ (GROVE 4x4 N23)	55
Tableau III.18	La maintenabilité (GROVE 4x4 N23)	58
Tableau III.19	Tableau de disponibilité (GROVE 4x4 N23)	69
Tableau III.20	Les résultats comparaison des grues	61
CHAPITRE IV		
Tableau IV.1	Tableau du cahier de charge fonctionnel	67

Liste des notations

ENAFOR :	Entreprise Nationale de Forage
TBF :	Temps de bon fonctionnement
UT :	Temps entre défaillances
$R(t)$:	Fonction de fiabilité
$F(t)$:	Fonction de défaillance
$f(t)$:	Densité de probabilité
MUT :	Moyenne temps entre défaillances
MTTR :	Moyenne temps entre défaillances
MTBF :	Moyenne de temps de bon fonctionnement
D :	Disponibilité
$\lambda(t)$:	Taux de défaillance
μ :	Taux de réparation
γ :	Paramètre de position
η :	Paramètre d'échelle
β :	Paramètre de forme
MINITAB :	Logiciel de statistiques et d'analyse de données

Introduction générale

Introduction générale

Les équipements de levage mobiles telles que les grues sont largement utilisées dans le secteur pétrolier : bien que leur construction soit régie par diverses normes et standards, de nombreux cas de pannes de machinerie ont été observés et documentés causant arrêts et immobilisations parfois très longues : que ce soit par manque des pièces de rechange spécifiques ou simplement par incapacité à diagnostiquer les pannes, comment assurer l'efficacité des grues et par conséquent leurs disponibilité ?

C'est l'objet de l'étude qui portera donc sur la rédaction d'un cahier des charges fonctionnel conformément aux normes en vigueur.

Pour débiter nous ferons une analyse de l'historique des cinq (05) premières années d'exploitation des différents types de grues exploités par ENAFOR et ensuite exposer les différentes causes d'arrêts pour pannes par des exemples concrets de pannes survenues.

Cette revue de la documentation nous permettra de cibler les systèmes et organes à l'origine des pannes et cerner adéquatement la problématique de disponibilité des équipements (grues).

Une fois l'état des lieux correctement défini, nous proposerons un cahier des charges fonctionnel qui prendra en charge les fonctions contraintes possibles, afin de minimiser au maximum les pannes liées à la mauvaise conception des grues par les constructeurs au départ.

Le présent mémoire est structuré de la manière suivante :

Dans le premier chapitre on a présenté l'entreprise ENAFOR et plus particulièrement la direction transport avec les équipements à étudier et leur maintenance.

Dans le second chapitre on a exposé les méthodes théoriques de fiabilité, de maintenance et de l'analyse fonctionnelle ainsi que les cahiers de charge.

Dans le troisième chapitre on a exploité l'historique des pannes des grues choisies pour l'étude sur une période de cinq années. On s'est basé sur le taux de panne pour calculer les paramètres FMD. Le calcul de fiabilité et l'exploitation de l'historique des pannes permettront d'analyser la situation.

Dans le quatrième chapitre nous avons appliqué l'étude analyse fonctionnelle des grues ENAFOR, et avons élaboré le cahier de charges fonctionnel amélioré.

Enfin vient une conclusion générale

CHAPITRE I

Présentation de l'entreprise

I.1. Présentation de l'entreprise :

Conformément à ses statuts, l'Entreprise ENAFOR est chargée de réaliser pour le compte d'opérateurs nationaux et internationaux, des opérations de forage aux fins de reconnaissance et d'exploitation de gisements d'hydrocarbures, ainsi que des opérations d'entretien de puits producteurs d'huiles ou de gaz (Works Over).

ENAFOR a été créée, en partenariat 51/49, par SONATRACH et SEDCO (Société Américaine) en 1966 et se dénommait alors ALFOR. Reprise en totalité par SONATRACH après le rachat des actions détenues par SEDCO, ALFOR, suite à la restructuration de SONATRACH, elle se dénomme ENAFOR (décret N° 81.170 du 1er Août 1981).

En 1989, ENAFOR devient une entreprise autonome sous la forme d'une SPA dont le capital est détenu par les Fonds de l'Etat.

La Société Holding Services Para Pétroliers de SONATRACH en devient le principal et l'unique actionnaire en 2006, après le rachat des 49% des actions détenus par INDJAB (Holding appartenant à l'état).

Pour assurer ces activités, ENAFOR dispose d'une flotte de 52 appareils de forage "

ENAFOR est certifiée ISO 9001-2015 (Qualité), ISO 14001-2015 (Environnement) et OHSAS 18001-2007 (Santé - Sécurité) pour l'ensemble de ses activités et sites.

Disposant de compétences techniques avérées dans ses métiers, ENAFOR est la référence nationale dans le forage et le work over des puits de pétrole et de gaz. [11]

I.2 Organigramme

ENAFOR est actuellement organisée comme suit :

- Les Directions centrales (Direction Générale) ;
- La Branche Technique;
- La Branche Logistique.

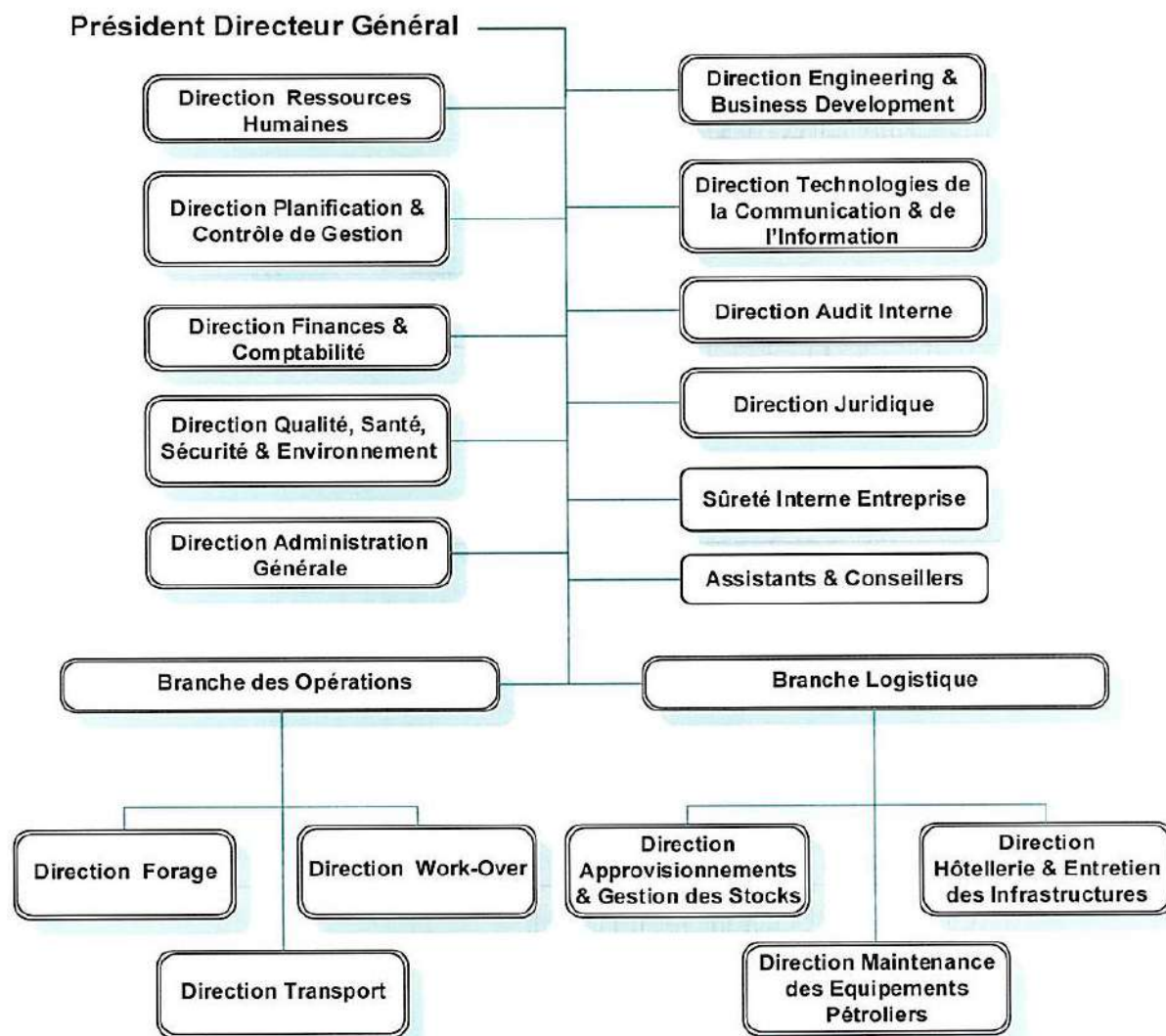


Figure I.1 : organisation de l'entreprise

a) DIRECTION TRANSPORT:

La Direction Transport a pour mission la prise en charge de toutes les demandes de transport et tout ce qui concerne les DTM (Démontage-Transport – Montage) des appareils de forage et work over, ainsi que tout le transport de consommables et matériels nécessaires au bon fonctionnement de ces appareils

Pour assurer cette mission la Direction Transport est organisée autour de (04) fonctions principales :

- La réalisation des déménagements des appareils d forage et de work-over
- Le transport des matériels divers et produits
- La maintenance du parc roulant de l'entreprise
- L'assistance technique aux fonctions exploitation et maintenance.[11]

- 1. La réalisation des déménagements des appareils d forage et de work-over :**
 - Les Opérations de DTM (Démontage Transport et Montage) des Appareils de Forage et de Work-Over,
- 2. Le transport des produits et matériels de logistique des chantiers et bases**
 - Le transport des matériels divers et produits
- 3. La maintenance curative du matériel roulant de l'Entreprise,**
 - L'entretien du matériel roulant de l'Entreprise.
- 4. L'assistance technique aux fonctions exploitation et maintenance en vue d'assurer :**
 - L'élaboration et la révision du plan de maintenance
 - La gestion du parc roulant de l'Entreprise
 - L'optimisation des DTM. [11]

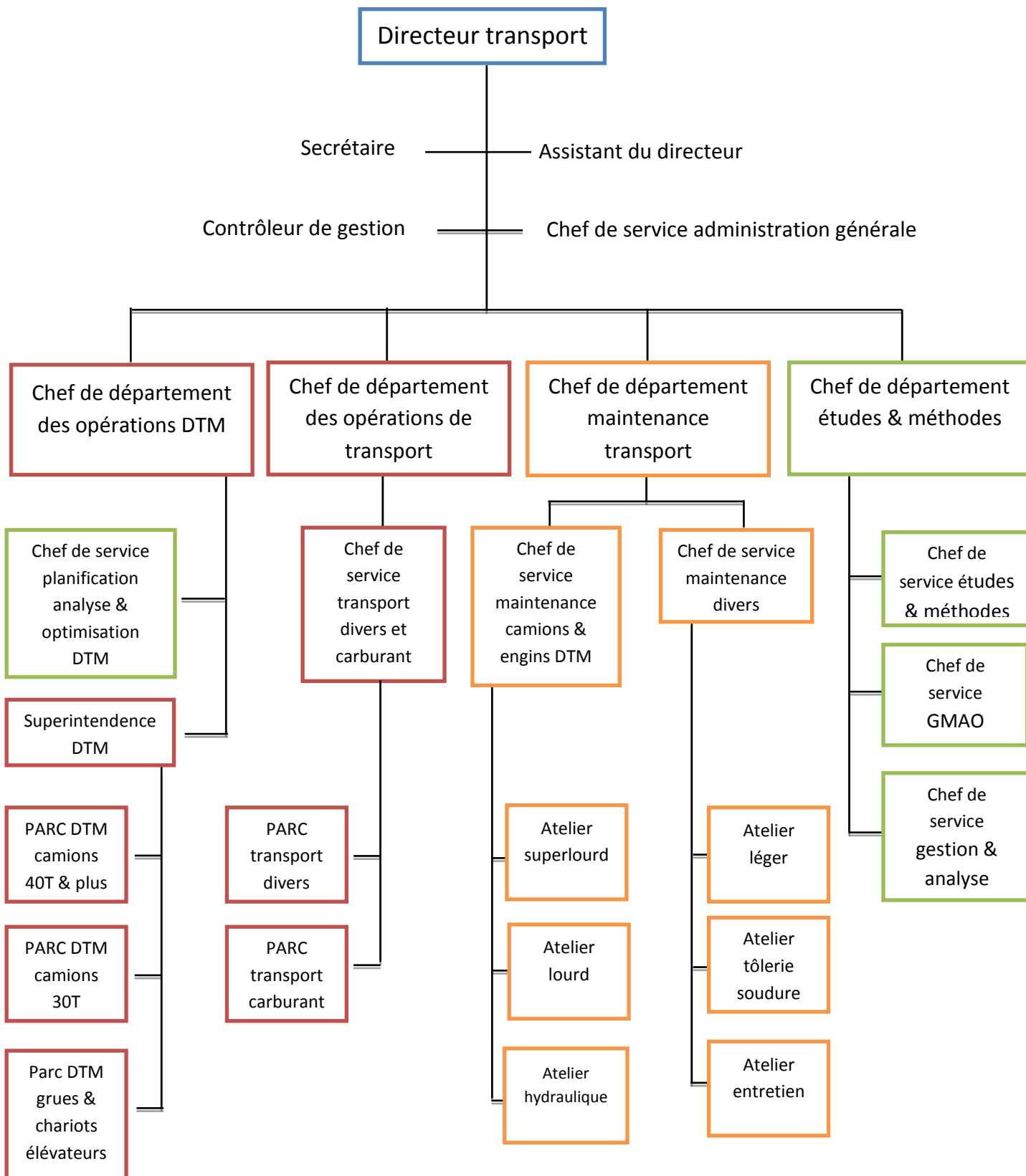


Figure I .2 : organisation de la direction transport

chapitre II

**Généralités sur la maintenance, la fiabilité, l'analyse
fonctionnelle et les cahiers de charge**

II.1 Généralités sur la maintenance

II.1 .1 Définition de la maintenance :

D'après la norme AFNOR X60-010, la maintenance est définie comme « l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ».

La maintenance est un ensemble des travaux destinés à soutenir l'aptitude au travail au la réparation d'un matériel pendant son utilisation, son stockage, ou son transport.

Conserver l'état de la machine ; Assurer la qualité de la production avec un coût global optimal. [1]

II.1.2 L'importance et le rôle de la maintenance :

L'importance et le rôle de la maintenance sont illustrés par :

- la nécessité d'assurer la disponibilité permanente
- le bon fonctionnement des installations matérielles de production.

Le rôle de la maintenance serait, en définitif :

- de permettre aux autres services de l'entreprise de remplir leurs fonctions en obtenant le rendement optimum des investissements. [2]

II.1.3 Objectifs de la maintenance :

C'est la nature de l'entreprise qui dicte les objectifs du service de maintenance clairement définis par une politique bien déterminée à partir de la prise en compte de trois facteurs essentiels :

- Facteur technique.
- Facteur économique.
- Facteur humain et écologique. [2]

II.1.4 Les niveaux de maintenance : [2]

Niveau	Personnel d'intervention	Moyens
1	Exploitant sur place.	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation.
2	Technicien habilité, sur place.	Idem, plus pièce de rechange trouvées à proximité sans délai.
3	Technicien spécialisé, sur place ou en local de maintenance.	Outillage prévu plus appareils de mesure, banc d'essai, contrôle,...etc.
4	Equipe encadrée par un technicien spécialisé ou en atelier central.	Outillage général plus spécialisé, matériel d'essais, de contrôle, ...etc.
5	Equipe complète, polyvalente, en atelier central.	Moyens proches de la fabrication par le constructeur.

Tableau II.1 : les niveaux de maintenance

II.1.5 Les Temps De La Maintenance [1]

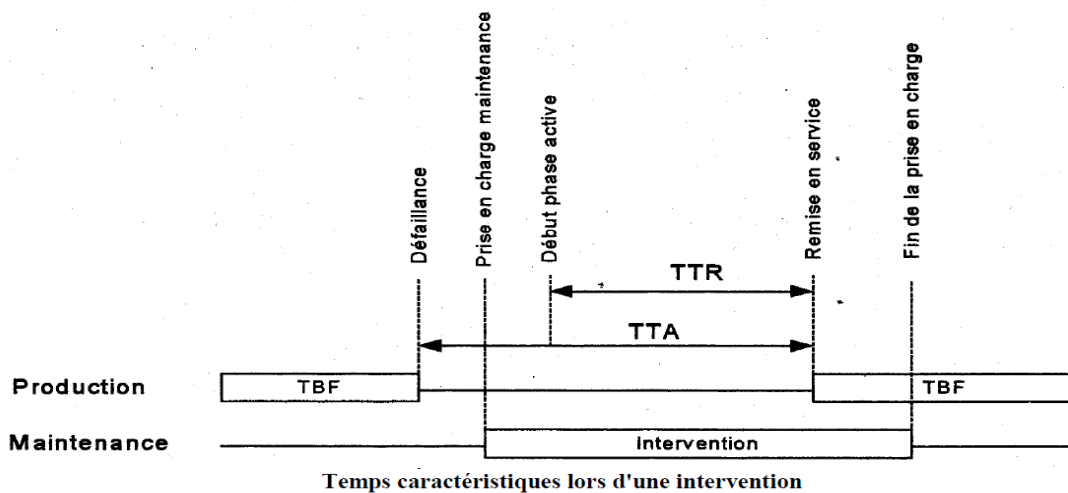


Figure II.1 les temps de la maintenance [1]

II.1.5.1. La MTBF

La MTBF est la moyenne des temps de fonctionnement entre deux défaillances successives (TBF). Remarque : En anglais, MTBF signifie mean time between failures (norme X60-500).

II.1.5.2. La MTTR

La MTTR : est la moyenne des temps techniques de réparation (TTR).

Le TTR : est le temps durant lequel on intervient physiquement sur le système défaillant. Il débute lors de la prise en charge de ce système jusqu'après les contrôles et essais avant la remise en service.

Remarque : En anglais, MTTR signifie mean time to restauration (norme X60-500).

II.1.5.3. La MTTA

La MTTA : est la moyenne des temps techniques d'arrêt (TTA).

Les temps techniques d'arrêt sont une partie des temps d'arrêt que peut connaître un système de production en exploitation. Ils sont pour cause une raison technique et, ce faisant, sont à distinguer des arrêts inhérents à la production (attente de pièce, de matière, d'énergie, changement de production, etc.).

II.1.5.4. La relation entre MTBF, MTTR et MTTA

- Redonner au matériel des qualités perdues et nécessaires aux fonctionnements
- Faire le nécessaire pour assurer les bons fonctionnements du bien, donc de réduire le nombre de défaillances et augmenter le MTBF, si ce bien subit une défaillance, on doit utiliser tous les moyens qu'il dispose
- Pour le ramener le plus vite possible en état de fonctionnement et par la suite diminuer le MTTR

II.1.6 Types de maintenance :

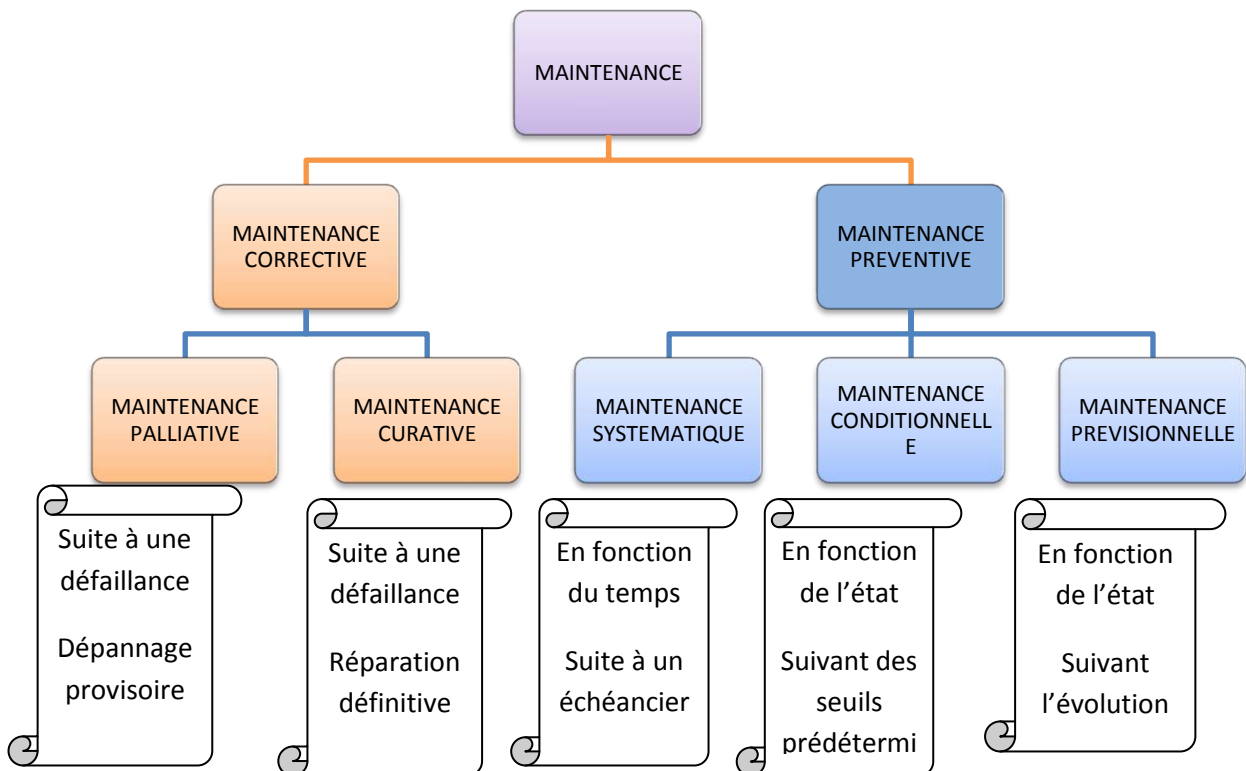


Figure II-2 : Différents types de maintenance [1]

Il existe plusieurs façons d'organiser les actions de maintenance pour obtenir la disponibilité maximale du matériel au coût minimum. Il en ressort les types de maintenance suivants :

a) Maintenance corrective

Qui vise à intervenir à la suite de pannes, cela ne veut pas dire que toutes ces pannes n'ont pas été prévisibles, ce type de maintenance sera facilité par une bonne maintenabilité (aptitudes à maintenir ou à rétablir un dispositif, dans un état, lui permettant d'accomplir sa fonction), il pourra permettre d'améliorer la fiabilité globale en analysant les problèmes rencontrés en contrôle techniques ou cercles de qualité ou avec les constructeurs.

b) Maintenance préventive

Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien. Les matériels visés sont ceux dont le coût des pannes est élevé (20 % des pannes représentant 80 % des coûts), la mise en pratique nécessite de décomposer les sous-systèmes en éléments maintenable la périodicité des visites s'établit par l'étude des lois statistiques de la durée de vie.

Des gammes d'entretien sont élaborées de façon à préciser le travail à exécuter et de garder la traçabilité de l'entretien. [3]

II.1.7 Politiques de maintenance [2]

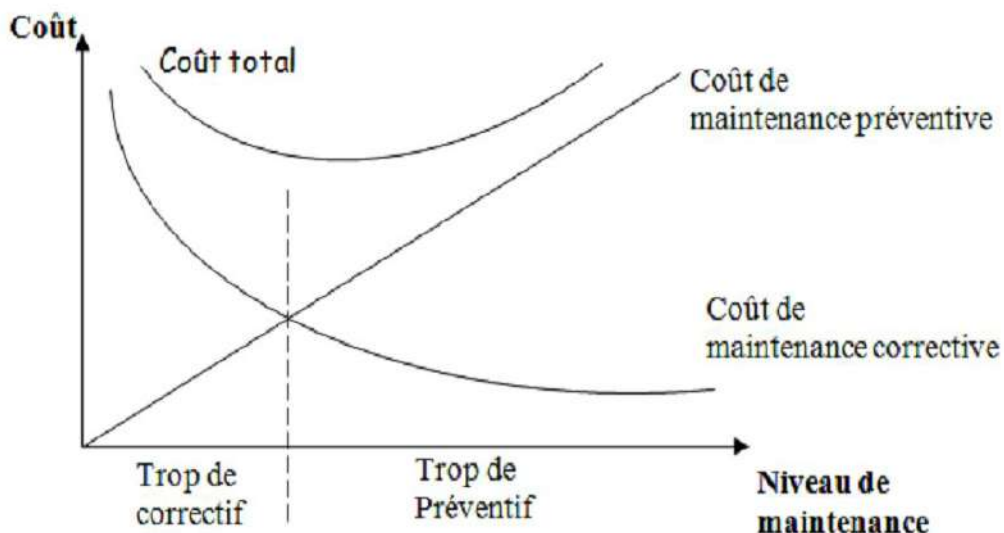


Figure II.3 : Politiques de maintenance [1]

II.1.8 Les opérations de maintenance

- **Le dépannage** : c'est une action ou opération de maintenance corrective sur un équipement en panne en vue la remettre en état de fonctionnement.
- **La réparation** : c'est une intervention définitive et limitée de maintenance corrective après panne ou défaillance. L'équipement réparé doit assurer les performances pour lesquelles il a été conçu.
- **Les inspections** : ce sont des activités de surveillance consistant à relever périodiquement des anomalies et exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique ni d'arrêt de l'outil de production ou des équipements.
- **Les visites** : ce sont des opérations de surveillance qui dans le cadre de la maintenance préventive systématique, s'opèrent selon une périodicité prédéterminée.
- **Les contrôles** : ils correspondent à des vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivis d'un jugement.
- **Les révisions** : ensemble des actions d'examens, de contrôle des interventions effectuées en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique, pendant un temps ou pour un nombre d'unités d'usage donné. [4][5]

II.2 Etudes (FMD)

II.2.1 Etudes de fiabilité, maintenabilité, disponibilité (FMD) :

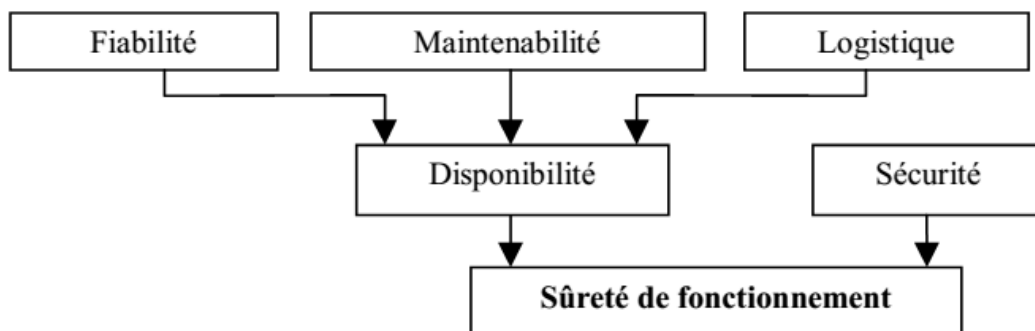


Figure II.4 : diagramme FMD [1]

II.2.1.1 Sûreté de fonctionnement

Ensemble des propriétés qui décrivent la disponibilité et les facteurs qui la conditionnent : fiabilité, maintenabilité, et logistique de maintenance. (Norme NF EN 13306) [1]

II.2.1.2 Fiabilité

Aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, durant un intervalle de temps donné. (Norme NF EN 13306) [1]

II.2.1.3 Maintenabilité

Dans des conditions données d'utilisation, aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits. (Norme NF EN 13306) [1]

II.2.1.4 Disponibilité

Aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires est assurée. (Norme NF EN 13306)

La disponibilité se calcule par la formule suivante :

$$\text{Disponibilité} = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$$

Remarque : En anglais, MTTR correspond à "mean time to restoration" (norme X60-500), il serait donc plus rigoureux d'utiliser

MMTA dans le calcul de la disponibilité. Cependant, la grandeur de MTTR (ou MTTA) étant petite devant MTBF, l'erreur engendrée par cette imprécision de traduction est tout de même acceptable. [1]

II.2.1.5 Logistique de maintenance

Ressources, services, et moyens de gestion nécessaire à l'exécution de la maintenance. (Norme NF EN 13306)

II.2.2 Le Taux de défaillance

II.2.2.1 Définition

Le taux de défaillance est un indicateur de fiabilité qui représente :

- soit le nombre de défaillances par unité d'usage : c'est le taux de défaillance moyen
- soit la fonction $\lambda(t)$ qui représente la probabilité d'apparition d'une défaillance d'un équipement à l'instant t : c'est le taux de défaillance instantané. Par conséquent, l'appareil considéré est encore en fonctionnement à l'instant t .

Le taux de défaillance s'exprime le plus souvent en pannes / heure. [1]

II.2.2.2 La courbe en baignoire

L'allure générale des variations de la fonction $\lambda(t)$ d'un équipement au long de sa durée de vie est une courbe en forme de baignoire. Cette évolution est fréquemment vérifiée sur les systèmes industriels. [1]

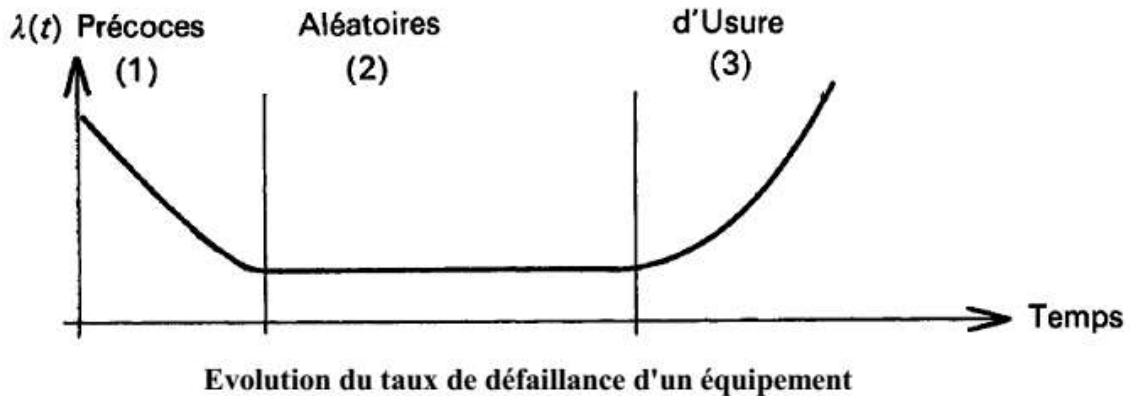


Figure II.5 : la courbe en baignoire [1]

La courbe met en évidence 3 périodes distinctes :

- la période de jeunesse**, caractérisée par des défaillances précoces
- la période de maturité**, caractérisée par des défaillances aléatoires et un taux de défaillance sensiblement constant
- la période de vieillesse**, ou d'usure, caractérisée par un taux de défaillance croissant jusqu'à obsolescence

II.2.3 Analyse FMD d'un historique :

Le concept de FMD correspond à la prise en compte et l'analyse des 3 indicateurs "fiabilité – maintenabilité – disponibilité".

II.2.3.1 Analyse du non fiabilité

Un graphique en (n) permet de déterminer quel système est à étudier prioritairement pour améliorer la fiabilité.

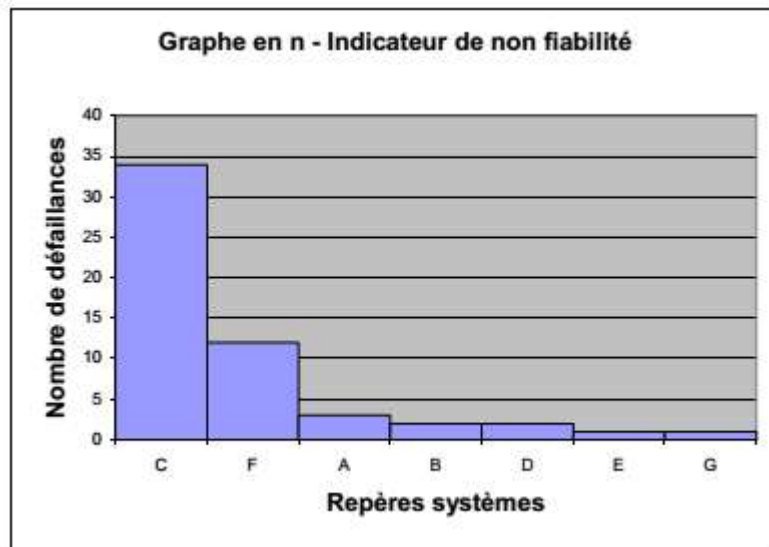


Figure II.6 : graphe indicateur de non fiabilité [1]

II.2.3.2 Analyse du non maintenabilité

Un graphique en t permet de déterminer quel système est à étudier prioritairement pour améliorer la maintenabilité. [1]

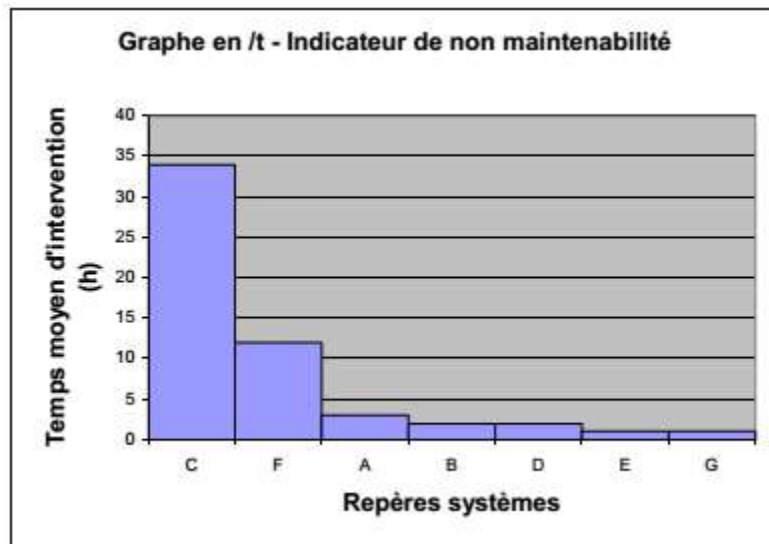


Figure II.7 : graphe indicateur de non maintenabilité [1]

II.2.3.3 Analyse du non disponibilité

La non disponibilité (ou indisponibilité) d'un système est le résultat de la combinaison de deux facteurs : le nombre de défaillances et la durée moyenne de réparation (ou de dépannage).

Si on note "n" le nombre de défaillances sur une période donnée et " t " le temps moyen des interventions sur cette période, on peut caractériser le temps d'indisponibilité du système sur cette période en effectuant le produit n.t. [1]

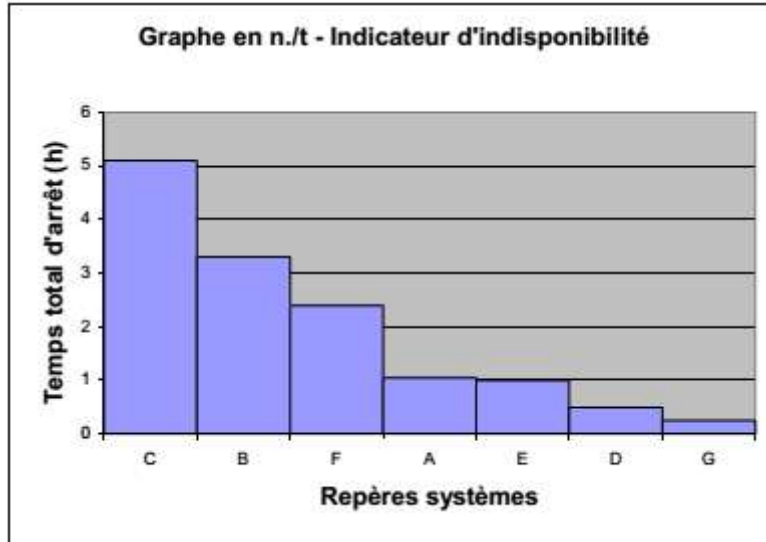


Figure II.8 : graphe indicateur indisponibilité [1]

Ce type de graphique permet de déterminer quel système est à étudier prioritairement pour améliorer la disponibilité.

II.2.4 Etude de la fiabilité

II.2.4.1 Intérêt de l'étude de la fiabilité

L'analyse de la fiabilité d'un système permet de modéliser et de prévoir sa durée de vie (dans le cas d'un système non réparable) ou son temps de bon fonctionnement (dans le cas d'un système réparable).

La connaissance de la durée de vie d'un système ou d'un composant permet de déterminer par exemple les périodicités dans le cas d'une maintenance préventive systématique. [1]

II.2.4.2 Calcul de la fiabilité

La fiabilité $R(t)$ représente la probabilité pour qu'une entité accomplisse une fonction requise, dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné.

Remarque : On peut être amené à utiliser aussi la fonction de répartition $F(t)$ qui est la fonction complémentaire de $R(t)$:

$$F(t) + R(t) = 1 \quad (II.1)$$

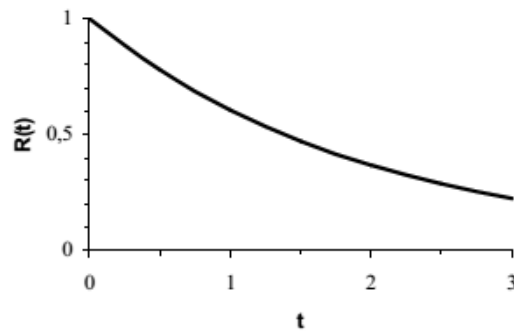


Figure II.9 : graphe la fiabilité [1]

- Deux méthodes permettent de faire une étude de fiabilité
 - le modèle de WEIBULL
 - le modèle exponentiel

Dans notre étude, nous avons utilisé la première méthode, qui s'adapte bien aux équipements mécaniques et électromécaniques vu que l'étude se fait sur une grue.

Remarque : Le modèle exponentiel ne fonctionne que si λ est considéré constant. Il ne pourra donc pas être utilisé dans les périodes de jeunesse ni de vieillesse du matériel.

• Fiabilité : $R(t) = e^{-\lambda t}$ (II.2)

• MTBF : $MTBF = \frac{1}{\lambda}$ (II.3)

II.2.5 LE MODELE DE WEIBULL

La loi de Weibull est un modèle couramment employé pour modéliser la durée vie d'un matériel.

Cela permet de déterminer par exemple les périodicités dans le cas d'une maintenance préventive systématique.

La loi de Weibull est très souple d'utilisation, ce qui lui permet de s'ajuster à un grand nombre d'échantillons prélevés au long de la vie d'un équipement. Elle couvre les cas de taux de défaillance variables, décroissants (périodes de jeunesse), ou croissant (période de vieillesse).

Elle permet d'ailleurs, à partir des résultats obtenus de déterminer dans quelle période de sa vie se trouve le système étudié. [1]

II.2.5.1 Définitions des paramètres utilisés

Paramètres de Weibull : - β est le paramètre de forme.

- η est le paramètre d'échelle.

- γ est le paramètre de position.

• **Fiabilité $R(t)$** :
$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$$
 (II.4)

• **Taux de défaillance $\lambda(t)$** :
$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \times \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$$
 (II.5)

• **MTBF** :
$$MTBF = \eta \times A + \gamma$$
 (II.6)

Le paramètre A est déterminé par la lecture des tables de Weibull en fonction du paramètre β

II.2.5.2 Détermination graphique des paramètres de la loi de Weibull :

La courbe est tracée sur un papier spécial appelé papier de Weibull ou d'Allen Plait, ce qui permet de tracer une droite et de simplifier les calculs.

Schématisation des axes

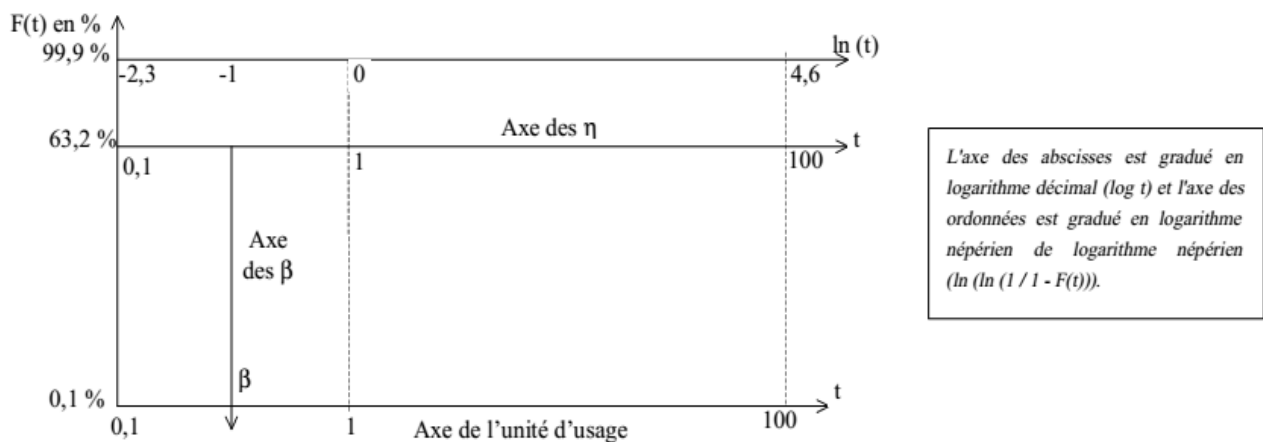


Figure II.10 : schématisation des axes [1]

II.2.5.3 Méthodologie de WEIBULL [11]

- Consulter les historiques de pannes et dresser la liste des temps de bon fonctionnement entre deux défaillances.
- Classer ces temps par ordre croissant.

- Cumuler le nombre de défaillances (rang). Au premier temps il y a 1 avarie, au deuxième temps, il y en a 2, etc.
- Calculer les fréquences des avaries $F(i)$, en fonction de la taille N de l'échantillon :

$N \leq 20$ méthode des rangs médians	$N > 20$ et $N < 50$ formule des rangs moyens	$N \geq 50$ groupement par classes
$F(i) = \frac{i - 0,3}{N + 0,4}$	$F(i) = \frac{i}{N + 1}$	nombre de classes : $K \approx \sqrt{N}$ avec $X_M = \text{TBF}_{\text{maxi}}$, $X_m = \text{TBF}_{\text{mini}}$ $F(i)$ est alors calculé pour la limite supérieure de chacune des classes, en utilisant les rangs moyens.

Tableau II.2 : méthodologie de WEIBULL [1]

- Reporter les points ainsi trouvés sur le papier de WEIBULL en plaçant les TBF ou UT en abscisse et les $F(i)$ en ordonnée.
- Tracer la droite passant au mieux par les points obtenus.
- Si les points sont alignés sur une droite, on a $\gamma = 0$.
- Détermination des paramètres η et β :
- ✓ Le paramètre (η) est obtenu par l'intersection de la droite tracée avec l'axe des η lue sur ce dernier axe. L'échelle utilisée pour la lecture devra être la même que celle choisie pour l'axe de t .
- ✓ Le paramètre (β) est obtenu en traçant une parallèle à la droite précédente et passant par la valeur 1 de l'axe des η . La valeur de β se lit sur l'axe des β , à l'intersection avec la droite parallèle tracée ci-dessus.
- ✓ Interpréter les résultats

II.3 L'analyse Fonctionnelle

II.3.1 Quelques Définitions

Analyse fonctionnelle : L'analyse fonctionnelle consiste à rechercher et à caractériser les fonctions offertes par un produit placé dans un système pour satisfaire les besoins de son utilisateur. [6]

- **Besoin :** Les besoins peuvent être de plusieurs natures : (objectifs • subjectifs).
- **Système, Produit :** Un système est un ensemble d'éléments formant un tout structuré satisfaisant plusieurs besoins cohérents.

- C'est un ensemble vaste où l'on trouve souvent tous les types de produits représentés (matériel, processus, service). Cela peut être par exemple une entreprise de forage pétrolier (foreurs, appareils de forage, forage ou maintenance d'es puits de gaz ou de pétrole, ...)
- Le mot produit est pris au sens large du terme. Il peut s'agir
 - D'un objet, d'un matériel, d'un processus administratif ou technique, d'un service, d'un logiciel, d'un système, voire, d'un patient.
- **Fonction** : Les fonctions nécessaires à la satisfaction des besoins peuvent être :
 - Des fonctions de service ou d'estime
 - Des contraintes imposées par un client, un milieu environnant particulier ou par certains règlements.
- ❖ Il ne faut pas confondre une fonction avec une solution :
 - La fonction exprime un résultat à atteindre
 - La solution indique le moyen pour l'atteindre. [6]
- **Analyse fonctionnelle externe**
 - Le produit peut être considéré comme une boîte noire et seules les fonctions qui « sortent » de la boîte vers l'extérieur sont à prendre en considération.
 - Cette forme d'analyse est intitulée analyse fonctionnelle externe ou expression fonctionnelle du besoin. Elle exprime le point de vue du client utilisateur et met en évidence les fonctions de service ou d'estime. [6]
- **Analyse fonctionnelle interne**
 - Lorsque l'analyse porte sur le produit lui-même, pour :
 - Améliorer son comportement,
 - Diminuer son coût,
 - Améliorer sa fiabilité, etc.

Il n'est plus considéré comme une boîte noire, mais au contraire l'analyse va porter sur l'intérieur de la boîte pour comprendre ses fonctionnalités internes.

Le produit est considéré comme un assemblage de constituants dont chacun remplit certaines fonctions vis-à-vis des autres. [6]

La compréhension du fonctionnement d'un produit est obtenue grâce à l'analyse fonctionnelle interne. Celle-ci porte sur les fonctions remplies par ses composants afin de bien comprendre

le rôle qu'ils jouent les uns par rapport aux autres et vis à vis des fonctions de services assurées par le produit et attendues par l'utilisateur. [9]

II.3.2 la démarche simplifiée d'Analyse Fonctionnelle [7] :

Elle consiste à recenser et caractériser les fonctions de service d'un produit (bien, service, processus)

- Pour qui ? Les concepteurs, Dans quel but ? Faciliter la conception, Pourquoi ? Exprimer le besoin sans référence aux solutions techniques afin de favoriser l'émergence d'idées novatrices au moment de la conception. [7]

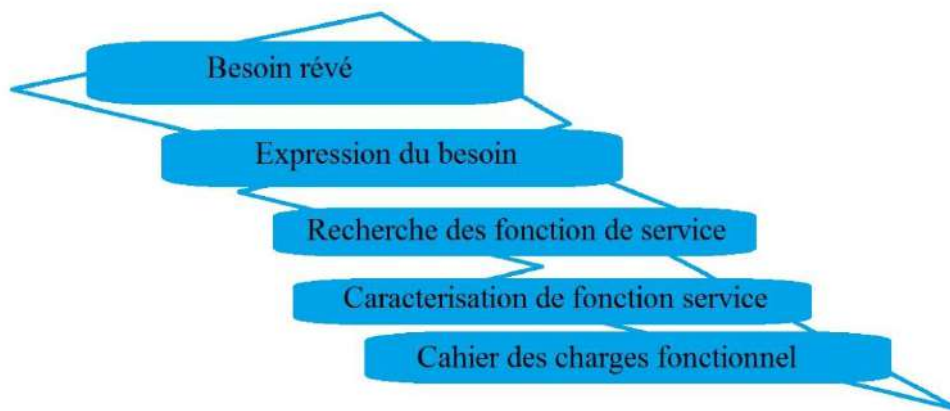


Figure II.11 : la démarche simplifiée d'Analyse Fonctionnelle [7]

II.3.3 les principes de base

1. Le « produit » conçu doit satisfaire le « client »
2. Le besoin de produit peut être décomposé « Fonctions de service »
3. Les fonctions de service sont indépendantes des solutions qui les réalisent
4. Cette analyse nécessite un travail de groupe

II.3.4 Les normes

Analyse fonctionnelle, analyse de la valeur

-NFX 50-150, Guide pour l'élaboration d'un cahier des charges fonctionnelles, AFNOR1984

-NFX 50-151, Analyse fonctionnelle, AFNOR 2007

-NFX 50-101, L'analyse fonctionnelle, Outil interdisciplinaire de compétitivité, AFNOR 1995

-NFX 50-156, Management par la valeur-conception à Objectif désigné ou à cout objectif-exigences pour un pilotage concerté de la conception, AFNOR, en cour

II.3.5 Les étapes [7]

Etape 1 : Analyse du Besoin

Exprimer le besoin

Besoin : nécessité ou le désir éprouvé par un utilisateur.

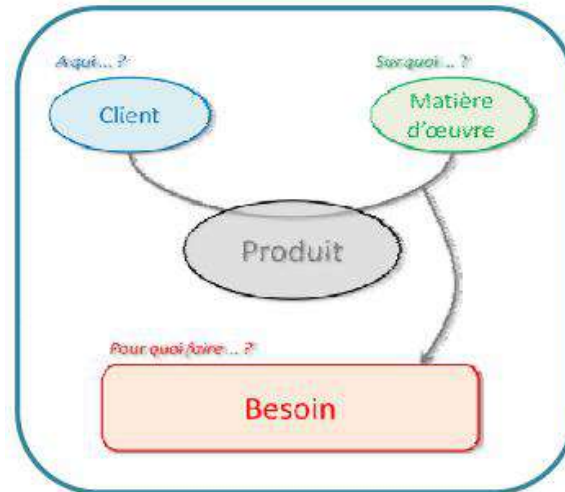


Figure II.12 : schéma bête a corne [7]

1. Qu'est-ce qu'un besoin ? Un besoin est un désir ou une nécessité éprouvée par l'utilisateur.
2. La satisfaction d'un besoin

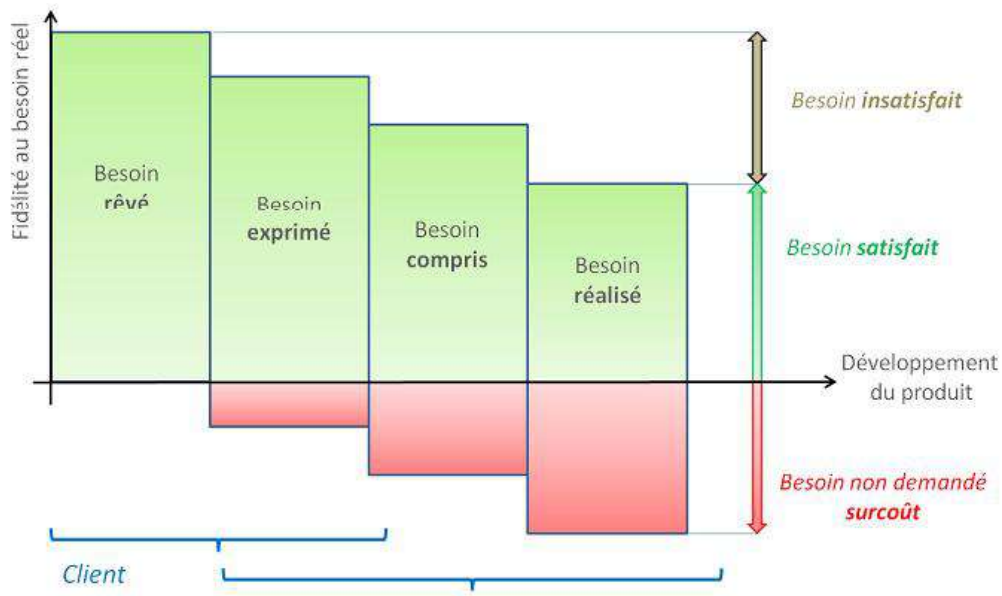


Figure II.13 : La satisfaction d'un besoin [7]

3. Les questions à se poser pour exprimer le besoin

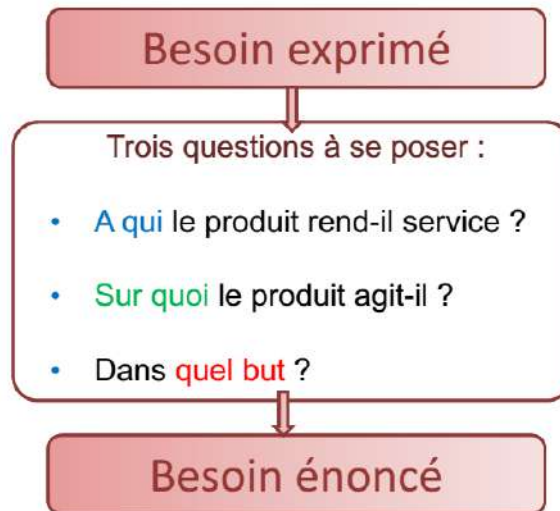


Figure II.14 : questions à poser pour expression du besoin [7]

4. Le schéma du besoin

5. La verbalisation du besoin

Le produit rend service au client en agissant sur la matière d'œuvre pour satisfaire le besoin.

Etape 2 : Analyse fonctionnelle du besoin (AFB)

- L'AFB est appelée ainsi car elle va permettre de traduire le besoin en fonctions à réaliser
- Le besoin est satisfait par l'utilisation du produit
- Les fonctions de service : c'est « une action d'un produit, ou de l'un de ses constituants, exprimée en termes de finalité » (X50-151)

Une fonction de service est « une action attendue du produit pour répondre au besoin [7]

1. Le cycle de vie d'un produit comporte plusieurs phases :

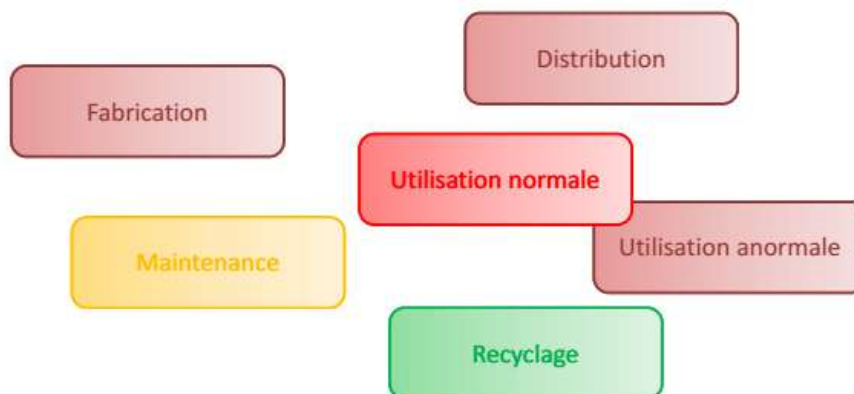


Figure II.15 : Le cycle de vie d'un produit [7]

2. Identification des éléments du milieu extérieur (EME) [7]

Pour être exhaustive, l'AFB doit être conduite pour chaque phase de vie étudiée

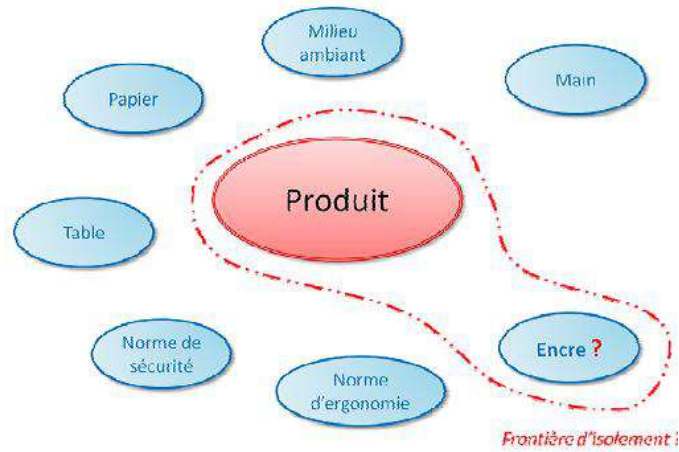


Figure II.16 : schéma identification des EME [7]

3. Caractérisation des EME

Tableau de caractérisation des EME [7]

Elément du milieu Extérieur	Critère	Niveau	Flexibilité
EME 1	Critère n°1	Valeur	F1
	...		
EME 2			
...			

Tableau II.3 : caractérisation des EME

4. Recensement des fonctions de service

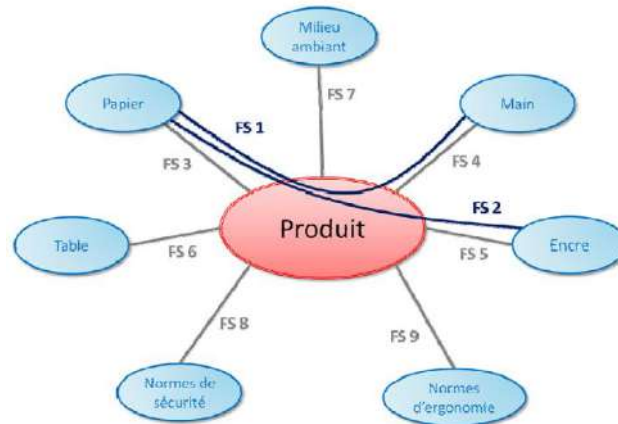


Figure II.17 : schéma recensement de fonction de service [7]

5. Classification en fonctions principales & fonctions contraintes [7]

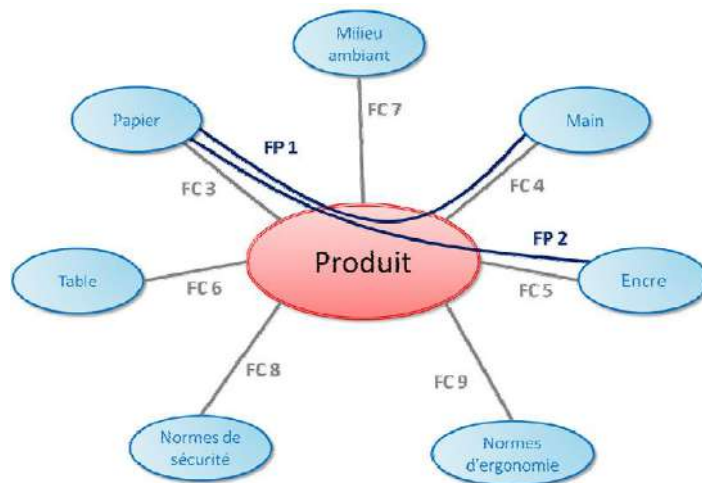


Figure II.18 : schéma classification les fonctions [7]

Etape 3 : Analyse Fonctionnelle du besoin (AFB)

1. Caractérisation des Fonctions de Service

- Caractériser une FS, c'est caractériser une action vis-à-vis d'un EME.
- Les EME ont déjà été caractérisés, plus tôt.

2. Tableau de caractérisation des FS :

Fonction de Service	Critère	Niveau	Flexibilité
FP 1	Critère n°1	Valeur	F1
	...		
FP..			
FC 1			
..			

Tableau II.4 : caractérisation de fonction de service

II.4. Cahier des charges

II.4.1 Définition :

Un cahier des charges vise à définir exhaustivement les « spécifications de base » d'un produit ou d'un service à réaliser. Consistance générale d'un cahier des charges

Le cahier des charges décrit notamment :

- les objectifs généraux à atteindre,
- les modalités éventuelles d'exécution (notamment coûts estimés a priori, délai...), sans toutefois imposer des solutions,
- les critères d'évaluation,
- les contraintes principales,
- les exclusions. [8]

II.4.2 Utilisation du cahier des charges :

En interne, le cahier des charges sert à formaliser les besoins et à les expliquer aux différents acteurs pour s'assurer que tout le monde est d'accord. En particulier, le cahier des charges permet de cadrer la ou les missions des acteurs impliqués, et notamment celles du directeur de projet (coté maîtrise d'ouvrage) et/ou du chef de projet (coté maîtrise d'œuvre).

Le cahier des charges sert ensuite à sélectionner le prestataire et à organiser la relation tout au long du projet.

Le cahier des charges est considéré comme un référentiel partagé par le prestataire et l'équipe interne, et décliné dans les documents contractuels.

Le cahier des charges est un document contractuel entre le client et le prestataire/vendeur, mais il ne constitue pas à lui seul le contrat commercial.

Vers l'externe, le cahier des charges est en outre un outil fondamental de communication du directeur de projet et/ou du chef de projet. [8]

II.4.3 Composition d'un cahier des charges :

Construire et Rédiger le Cahier des Charges d'un Projet

Il existe deux cahiers des charges :

- 1- le cahier des charges fonctionnel
- 2- le cahier des charges technique.

II.4.3.1. Cahier des charges fonctionnel

- Le cahier des charges fonctionnel est rédigé en premier (il peut se faire suite à l'étude de faisabilité commerciale). Une fois rédigé, il sera transféré aux équipes chargées d'écrire le cahier des charges technique.
- Le cahier des charges fonctionnel est donc un document qui décrit les besoins que le produit devra satisfaire sous la forme d'exigences fonctionnelles. C'est un outil de dialogue entre le client et le concepteur.
- Pour faire un cahier des charges, il faut commencer par faire une analyse fonctionnelle.
- L'analyse fonctionnelle est une technique qui peut fortement aider à la réalisation du cahier des charges. Elle permet de traduire les besoins sous la forme de fonctionnalités à atteindre.
- Quatre étapes sont à suivre pour la réaliser :
 - Identifier les fonctions à satisfaire et les contraintes à respecter
 - Classer les fonctions en sous-groupes
 - Caractériser les fonctions en identifiant des critères d'appréciation et en les quantifiant
 - Déterminer l'ordre d'importance des différentes fonctions
- Poser le problème : objet et impact attendu, identifier et formuler les contraintes
- Apporter tous les éléments nécessaires à sa compréhension (contexte, environnement...)
- Définir la prestation souhaitée

- Définir les résultats attendus
- Il faut synthétiser les résultats de cette analyse en regroupant l'ensemble des fonctions à satisfaire. Suite à cela, on pourra passer à la rédaction du cahier des charges fonctionnel en décrivant le projet. Il devra cerner:
 - Le contexte et les enjeux
 - Les objectifs marketings
 - Le positionnement du futur produit innovant
 - Le planning prévisionnel
 - La description fonctionnelle du produit :
 - Caractériser le contexte, les utilisateurs, les utilisations prévues
 - Formuler les besoins à satisfaire, clarifier les objectifs
 - Énoncer les fonctions à remplir sans préjuger des solutions techniques
 - un critère définissant la nature de la performance,
 - un niveau précisant la valeur de la performance [9],

Normes

- ✓ De nombreuses normes existent : AFNOR, DOD, NF X50-151 qui proposent des plans types de rédaction d'un cahier des charges.

Étude d'opportunité

Cela consiste à étudier le contexte du projet, à déterminer les besoins généraux de la maîtrise d'ouvrage et à vérifier si ceux-ci correspondent bien aux attentes des utilisateurs finaux et aux évolutions probables à venir.

Cela permet de décider de la viabilité du projet.

Étude de faisabilité

Cette étape repose sur l'analyse de la faisabilité aussi bien aux niveaux économique et technique qu'au niveau organisationnel. C'est une analyse des besoins qui permet ensuite d'estimer grossièrement les coûts d'investissement et de fonctionnement du projet (moyens humains et matériels), les délais prévus et les retours sur investissements possibles.

Ceci mène aux études de scénario, qui envisagent les risques pouvant menacer le projet et présentent un bilan prévisionnel. Le dossier de faisabilité conclut cette étape, permettant au comité de pilotage d'étudier chaque scénario. [8]

II.4.3.2. Cahier des charges technique

Le cahier des charges technique

Le cahier des charges fonctionnel étant fait, on peut désormais passer à la rédaction du cahier des charges technique (il peut se faire suite à l'étude de faisabilité technique).

Pour ce faire, deux possibilités s'offrent à l'entreprise : le faire en interne si l'entreprise a les compétences techniques requises ou se faire aider par un consultant.

Ce cahier comportera les éléments techniques nécessaires à mettre en œuvre pour réaliser correctement le produit innovant. [8]

CHAPITRE III

Etude FMD des grues de chantier pétrolier

III.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons procéder au calcul de la fiabilité, maintenabilité et disponibilité, des équipements de levage GROVE 55T 6*6 et TEREX 6*6 et comparer les résultats à ceux d'un équipement neuf, qui sera la grue GROVE 4*4 vu son jeune âge et sa bonne fiabilité.

Les données de calcul ont été prises à partir du système de gestion intégré (ERP) de l'entreprise ENAFOR, [10] et concernent l'historique des pannes des grues en question dans une durée de cinq ans. En consultant la référence [11], ainsi qu'en se référant aux études faites dans les références [12] et [13], la méthode de calcul et d'analyse est rendue plus claire.

III.2. Exploitation de l'historique

Nous avons exploité l'historique des pannes d'une flotte de 67 grues, de trois types, et avons recensé toutes les pannes signalées pendant une période de cinq ans. Les données sont présentées dans le tableau III.1.

- GROVE 55T 6*6 (2014-2018)
- TEREX 55T 6*6 (2008-2012)
- GROVE 60T 4*4 (2015-2019)

Type de GRUE	GROVE 6*6	TEREX 6*6	GROVE 4*4	Total
Nombre de grues	23	10	34	67
Nombre de pannes	750	359	450	1559
Nombre de panne moyen par grue	$750/23=32.65$	35.9	13.24	81.8
Répartition des pannes par type de grues	$(32.65/81.8) * 100 = 40\%$	44%	16%	100%

Tableau III.1: Nombre de pannes des GRUES [10]

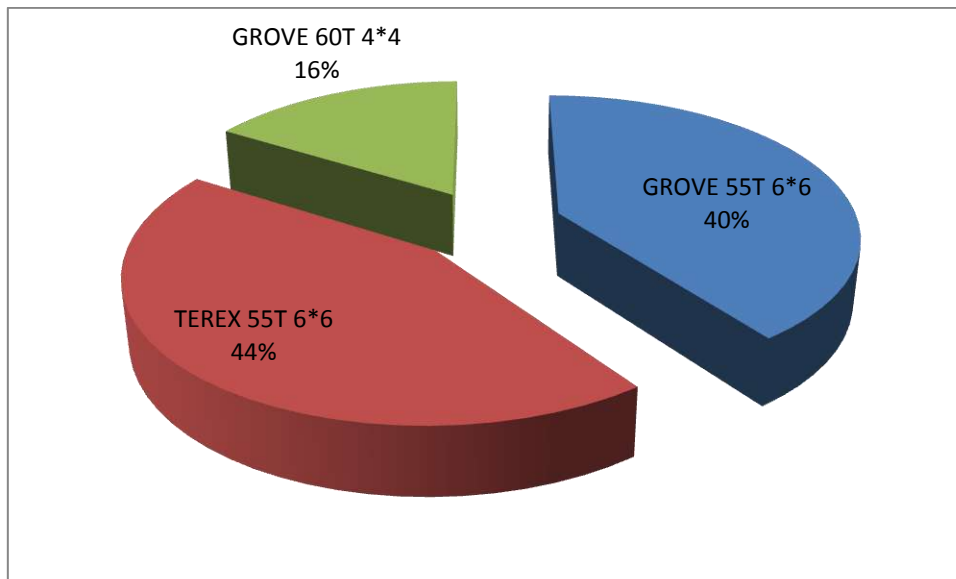


Figure III.1 : Pourcentage de pannes des GRUES

La figure ci-dessus illustre la répartition des pannes par type de grue, donnée en pourcentage, et nous remarquons clairement que nombre de pannes enregistrées pour les grues GROVE 6*6, TEREX 6*6 est nettement supérieur à celui enregistré pour de la grue GROVE 4*4. Un calcul de fiabilité de tous les types de grues sera présenté pour en déterminer les paramètres essentiels. Les résultats seront analysés et comparés et des recommandations seront faites pour le chapitre qui suivra.

III.3 Etude de la fiabilité les grues :

En regardant les moyennes des nombres de pannes, nous avons pu constater que les grues GROVE 60T 4*4 sont relativement meilleures et plus fiables que les grues GROVE 6*6 et TEREX 6*6, le calcul de fiabilité et l'exploitation de l'historique des pannes permettront d'analyser la situation et d'expliquer cette différence.

Vu le nombre total élevé des grues (67), le calcul de fiabilité détaillé sera effectué sur une grue choisie de chaque type en se basant sur le nombre moyen de pannes. Une analyse et une comparaison entre les trois grues étudiées seront faites à la fin.

III.3.1 Fiabilité des grues GROVE 55T 6*6

En se basant sur l'historique des grues Grove 55T 6*6 (pris du système de gestion ENAFOR), nous avons recensé le nombre des arrêts des vingt-trois grues, puis nous avons calculé la moyenne des arrêts pour une seule grue, ensuite nous avons comparé le nombre d'arrêts de chaque grue avec la moyenne d'arrêts.

GROVE 6x6 55T			
Equipement	Nombre d'arrêts	Moyenne des arrêts de toutes les Grove 6*6	Ecart
GRUE 55 T N° 55	35	32.65	2.35
GRUE 55 T N° 56	33	32.65	0.35
GRUE 55 T N° 57	34	32.65	1.35
GRUE 55 T N° 58	20	32.65	12.65
GRUE 55 T N° 59	4	32.65	28.65
GRUE 55 T N° 60	23	32.65	9.65
GRUE 55 T N° 61	23	32.65	9.65
GRUE 55 T N° 62	16	32.65	16.65
GRUE 55 T N° 63	47	32.65	14.35
GRUE 55 T N° 64	17	32.65	15.65
GRUE 55 T N° 65	37	32.65	4.35
GRUE 55 T N° 66	36	32.65	3.35
GRUE 55 T N° 67	67	32.65	34.35
GRUE 55 T N° 68	68	32.65	35.35
GRUE 55 T N° 69	37	32.65	4.35
GRUE 55 T N° 70	21	32.65	11.65
GRUE 55 T N° 71	38	32.65	5.35
GRUE 55 T N° 72	24	32.65	8.65
GRUE 55 T N° 73	13	32.65	19.65
GRUE 55 T N° 74	53	32.65	20.35
GRUE 55 T N° 75	14	32.65	18.65
GRUE 55 T N° 76	36	32.65	3.35
GRUE 55 T N° 77	55	32.65	22.35

Tableau III.2 : Nombre des arrêts des grues Grove 55T 6*6 durant 5ans [10]

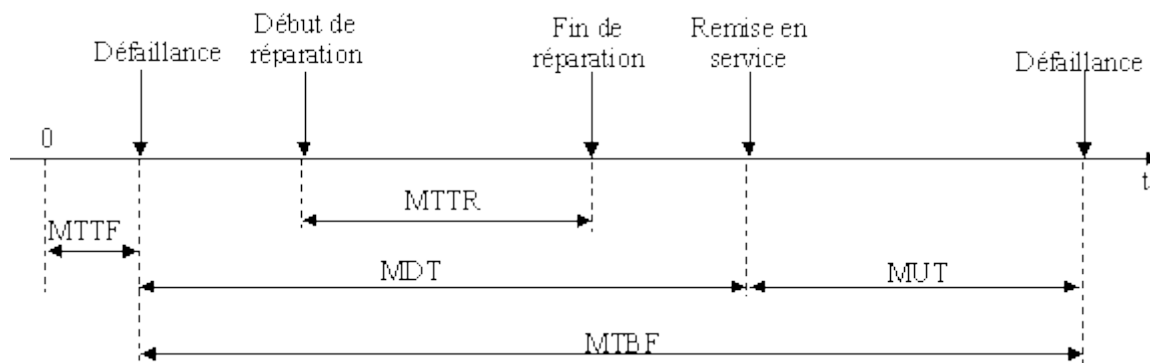
- Le total des arrêts des vingt-trois (23) grues Grove 55T est égal à 751 Arrêts.
- La moyenne d'arrêts pour une grue est égale à 32.65 Arrêt.

- Après avoir analysé l'historique de chaque grue et vérifié les défauts qu'elles contiennent, nous avons choisi la grue GROVE 6x6 N°58 pour l'étude. Nous avons classé le tableau en fonction du temps de bon fonctionnement (UT) (en triant UT par ordre croissant) :

III.3.1.1. Historique des pannes avec TTR et TBF et UT :

Le traitement des données brutes de l'historique, passe par :

- Le calcul des heures de fonctionnement entre pannes (TBF), qui résulte des différences entre deux pannes successives.
- Le calcul des heures techniques de réparation (TTR)
- Le calcul du temps de bon fonctionnement pur (UT)



Date avis	Date OT	TBF (h)	DT (h)	UT
21/01/2015	26/01/2015	750	50	700
06/04/2015	28/04/2015	1080	260	820
23/07/2015	23/07/2015	570	0	570
18/09/2015	19/09/2015	1060	80	980
02/01/2016	05/01/2016	2090	45	2045
29/07/2016	02/08/2016	460	120	340
13/09/2016	13/09/2016	110	80	30
24/09/2016	24/09/2016	120	0	120
06/10/2016	09/10/2016	650	40	610
10/12/2016	10/12/2016	150	10	140
25/12/2016	26/12/2016	480	15	465
11/02/2017	13/02/2017	500	30	470
02/04/2017	02/04/2017	70	5	65
09/04/2017	10/04/2017	270	15	255
06/05/2017	09/05/2017	180	65	115
24/05/2017	25/05/2017	410	80	330
04/07/2017	12/07/2017	170	125	45
21/07/2017	31/07/2017	370	100	270
27/08/2017	28/08/2017	150	25	125

Tableau III.3 : Historique des TTR, TBF et UT (Grove 55t 6*6 N 58) [10]

✓ **Application numérique:**

TBF1 = ([Date et heure du prochain arrêt] - [Date et heure du début d'arrêt]) *10, une journée compte dix heures de travail.

TTR1= Temps réalisé de réparation en heures, en convertissant la journée en 10 heures de travail, d'après l'ENAFOR.

Calcul de M.T.B.F :

$$MTBF = \frac{\sum TBF}{N} = \frac{9640}{19} = 507.37 \approx 507 \text{ heures} \quad (\text{III.1})$$

Calcul de M.U.T :

$$MUT = \frac{\sum UT}{N} = \frac{8495}{19} = 447.1 \approx 447 \text{ heures} \quad (\text{III.2})$$

Disponibilité D :

$$D = \frac{\sum UT}{\sum TBF} = \frac{8495}{9640} = 0.8812 \approx 88\% \quad (\text{III.3})$$

Calcul de MTTR :

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{N} = \frac{1225}{19} = 64.47 \approx 65 \text{ heures} \quad (\text{III.4})$$

Taux de réparation μ :

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{65} = 0.0153846 \text{ 1/heures} \quad (\text{III.5})$$

III.3.1.2. Calcul des paramètres de WEIBULL (Grove 55t 6*6 N 58) :

L'application de la loi de Weibull, est justifiée pour les équipements mécaniques et électromécaniques, les grues en question sont menues d'une technologie sophistiquée comportant en plus des systèmes mécaniques, des composants électroniques.

a) **Tracé de la droite de WEIBULL :**

Le tableau III.4 comporte les valeurs du temps de bon fonctionnement UT de la grue Grove N58 classées par ordre croissant, et les valeurs de la fonction de répartition réelle donnée par la formule des rangs médians pour un nombre de pannes inférieur à 20, F(i). Ces données permettent de tracer la courbe de WEIBULL, et d'en déduire graphiquement les paramètres de WEIBULL (β , η , γ), à partir du logiciel MINITEB.

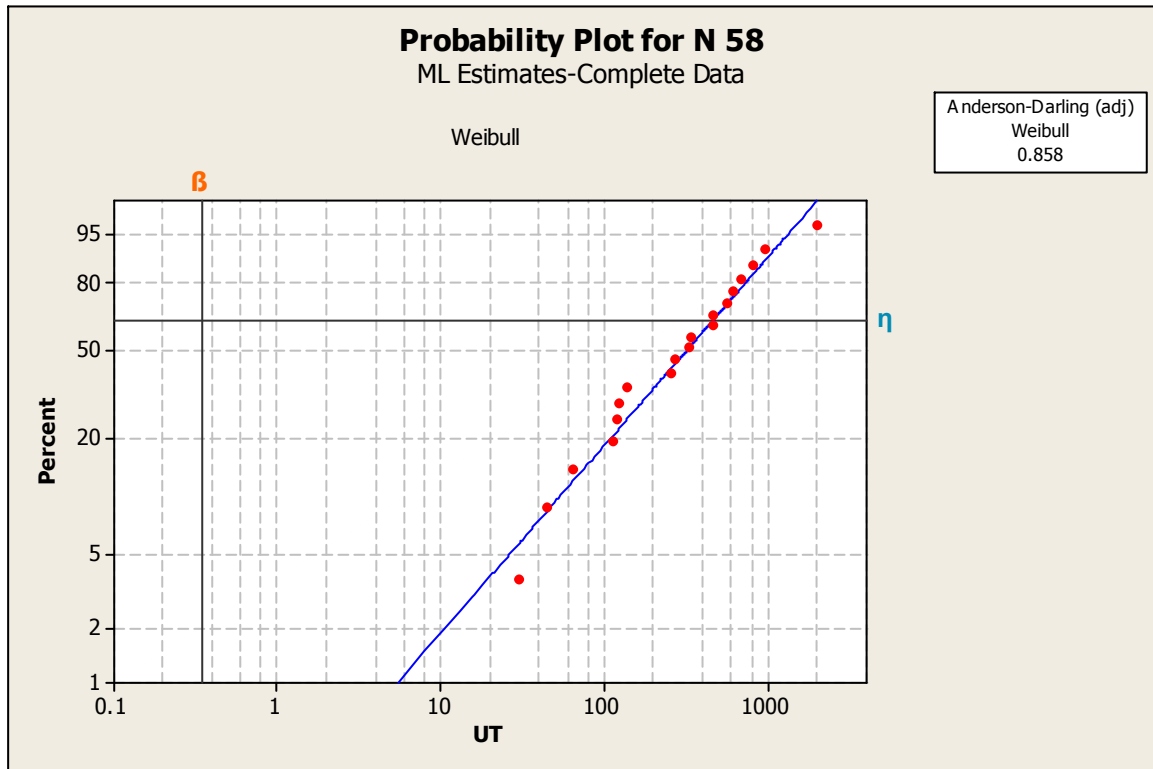


Figure III.2 : papier de WEIBULL en logiciel MINITAB (Grove 55t 6*6 N 58)

D'après graphe de Weibull les données sont presque alignées ce qui permet de conclure que le premier paramètre est nul $\gamma = 0$, les autres paramètres seront d'après le graphe :

$\beta = 1.037$ et $\eta = 545.27$ heures. Les fonctions de fiabilité théoriques seront donc données par les formules suivantes :

$$R(t) = \exp\left(-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right) \quad (\text{III.6})$$

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (\text{III.7})$$

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (\text{III.8})$$

• **Test d'adéquation :**

Le test d'adéquation permet de justifier le choix de la loi choisie, celle de WEIBULL pour notre cas. Admettons un risque d'erreur ($\alpha=0.05$) [voire ANNEXE 01]

L'écart point par point entre les deux fonctions de répartition est donné par :

$$\Delta Di = \mathcal{F}(i) - F(t) \quad (\text{III.9})$$

$F(t)$: fonction théorique.

$\mathcal{F}(i)$: fonction de répartition réelle donnée par la formule :

$$\mathcal{F}(i) = \frac{ni-0.3}{N+0.4} \quad (\text{La méthode des rangs médians}) \quad (\text{III.10})$$

Avec i : ordre de t_j . N : nombre total

Pour $N=19$ et $\alpha=0.05$, selon le tableau d'ANNEXE 01 on trouve : $Dn. \alpha = 0,301$

$|\mathcal{F}(i) - F(t)|$, est l'erreur absolue entre la fonction réelle et fonction théorique et $Dn. \alpha$ l'erreur de référence, dans le tableau de Kolmogorov-Smirnov

- Dressons le tableau qui nous permet de faire la comparaison.

N°	UT	F(i)	R(t)	F(t)	F(i)-F(t)
1	30	0.036082	0.934241	0.065759	0.029677
2	45	0.087629	0.903001	0.096999	0.00937
3	65	0.139175	0.862967	0.137033	0.002142
4	115	0.190722	0.770475	0.229525	0.038803
5	120	0.242268	0.76179	0.23821	0.004058
6	125	0.293814	0.753202	0.246798	0.047016
7	140	0.345361	0.728016	0.271984	0.073377
8	255	0.396907	0.560918	0.439082	0.042175
9	270	0.448454	0.542162	0.457838	0.009385
10	330	0.5	0.473202	0.526798	0.026798
11	340	0.551546	0.462593	0.537407	0.01414
12	465	0.603093	0.348426	0.651574	0.048481
13	470	0.654639	0.344498	0.655502	0.000862
14	570	0.706186	0.27461	0.72539	0.019204
15	610	0.757732	0.2508	0.7492	0.008532
16	700	0.809278	0.204505	0.795495	0.013784
17	820	0.860825	0.15579	0.84421	0.016615
18	980	0.912371	0.108389	0.891611	0.02076
19	2045	0.963918	0.009689	0.990311	0.026394

Tableau III.4 : Fonction de répartition théorique et réelle (Grove 55t 6*6 N 58)

D'après ce tableau on voit bien que $\Delta Dmax = 0.073377$ donc :

$$\Delta Dmax = 0.073377 < Dn. \alpha = 0,301$$

Par conséquent nous avons pu conclure que la loi WEIBULL est adéquate pour la distribution des pannes de la grue Grove 55T N58

III.3.1.3. Exploitation Les paramètres de WEIBULL (Grove 55t 6*6 N 58) :

- a) **Calcul du MUT** : L'expression du temps de bon fonctionnement MUT est donnée par

$$MUT = y + \eta \Gamma(1 + \frac{1}{\beta})$$

$$MUT = y + \eta a \quad (\text{III.11})$$

$MUT = y + \eta a = (454.27)(0.9803) = 445,32$ heures, avec $A= 0,9803$ $B=0,934$ (ANNEXE 02)

b) La densité de probabilité en fonction du MUT

$$f(t = MUT) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-y}{\eta}\right)^{\beta-1} \times e^{-\left(\frac{t-y}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{III.12})$$

$$f(t = MUT) = \frac{1,03}{454,27} \left(\frac{445,32}{454,27}\right)^{1,03-1} \times e^{-\left(\frac{445,32}{454,27}\right)^{1,03}} = 0.000826$$

c) La fonction de répartition en fonction de MUT

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-y}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{III.13})$$

$$F(MUT) = 1 - e^{-\left(\frac{445,32}{454,27}\right)^{1,03}} = 0.63567=63.57\%$$

d) La fiabilité en fonction de MUT

$$R(t = MUT) = 1 - F(t = MUT) \quad (\text{III.14})$$

$$R(t = MUT) = 1 - 63.57\% = 36.43\%$$

On remarque que la fiabilité de la grue est faible

e) Le taux de défaillance en fonction de MUT

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-y}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (\text{III.15})$$

$$\lambda(MUT) = 0.002266 \text{ panne/heures}$$

f) Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique

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

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{III.16})$$

$$\ln R(t) = -\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta = \ln(0.8) \leftrightarrow -[\ln R(t)]^{1/\beta} = \frac{t}{\eta} \leftrightarrow \eta[\ln R(t)]^{1/\beta}.$$

$$T = 454.27 \ln[(1/0.8)]^{1/1.03}$$

$$t_{sys} = 105.9407 \text{ heures.}$$

Pour garder la fiabilité à 80% il faut intervenir chaque temps systématique 106 h.

III.3.1.4. Tracé des fonctions de fiabilité du modèle de WEIBULL pour la grue (Grove 55t 6*6 N 58) :

N°	UT	F(i)	R(t)	F(t)	f(t)	λ (t)
1	30	4%	0.934241	0.065759	1.95E-03	0.00209
2	45	9%	0.903001	0.096999	1.91E-03	0.002115
3	65	14%	0.862967	0.137033	1.85E-03	0.002139
4	115	19%	0.770475	0.229525	1.68E-03	0.002176
5	120	24%	0.76179	0.23821	1.66E-03	0.002179
6	125	29%	0.753202	0.246798	1.64E-03	0.002181
7	140	35%	0.728016	0.271984	1.59E-03	0.002189
8	255	40%	0.560918	0.439082	1.25E-03	0.002228
9	270	45%	0.542162	0.457838	1.21E-03	0.002232
10	330	50%	0.473202	0.526798	1.06E-03	0.002246
11	340	55%	0.462593	0.537407	1.04E-03	0.002248
12	465	60%	0.348426	0.651574	7.91E-04	0.002269
13	470	65%	0.344498	0.655502	7.82E-04	0.00227
14	570	71%	0.27461	0.72539	6.27E-04	0.002283
15	610	76%	0.2508	0.7492	5.74E-04	0.002288
16	700	81%	0.204505	0.795495	4.70E-04	0.002297
17	820	86%	0.15579	0.84421	3.60E-04	0.002308
18	980	91%	0.108389	0.891611	2.51E-04	0.00232
19	2045	96%	0.009689	0.990311	2.30E-05	0.002372

Tableau III.5 : Fonctions de fiabilité f(t), F(t), R(t) et λ (t) pour la grue Grove 55t 6*6 N 58

a) Courbe de la fonction de la densité de probabilité

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-y}{\eta}\right)^{\beta-1} \times e^{-\left(\frac{t-y}{\eta}\right)^\beta} \text{ Ou } f(t) = \lambda(t) \cdot R(t)$$

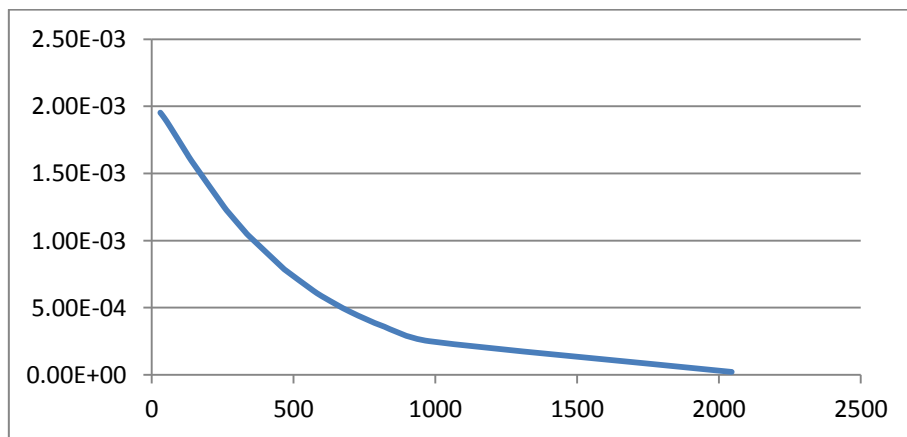


Figure (III.3) : Courbe de la densité de probabilité (Grove 55t 6*6 N 58)

Interprétation : D’après cette courbe on remarque que la fonction f(t) (densité de probabilité) diminue avec l’évaluation de UT.

b) Courbe de la fonction de répartition $F(t) : F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\lambda}{\eta}\right)^\beta}$

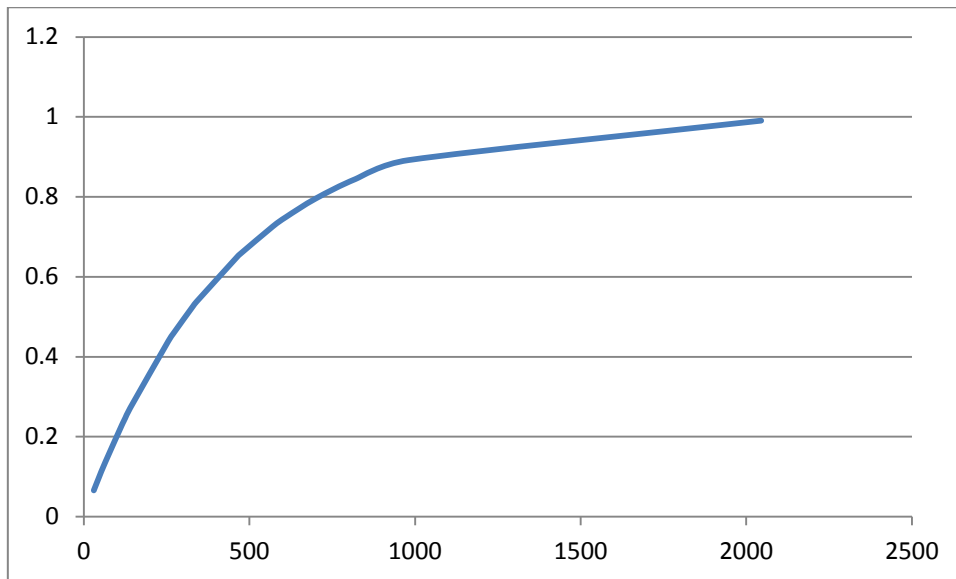


Figure (III.4) : La Courbe de Fonction Répartition (Grove 55t 6*6 N 58)

Interprétation : La fonction de défaillance est croissante exponentiellement en fonction du temps, pour $t=UT$, $F(MUT) = 0,6357 = 63.57\%$

c) Courbe de la fiabilité $R(t)$

La fonction fiabilité $R(t) = e^{-\left(\frac{t-\lambda}{\eta}\right)^\beta}$, décroît exponentiellement en fonction du temps. Pour $t=MUT$, $R(t = MUT) = 0.3643$

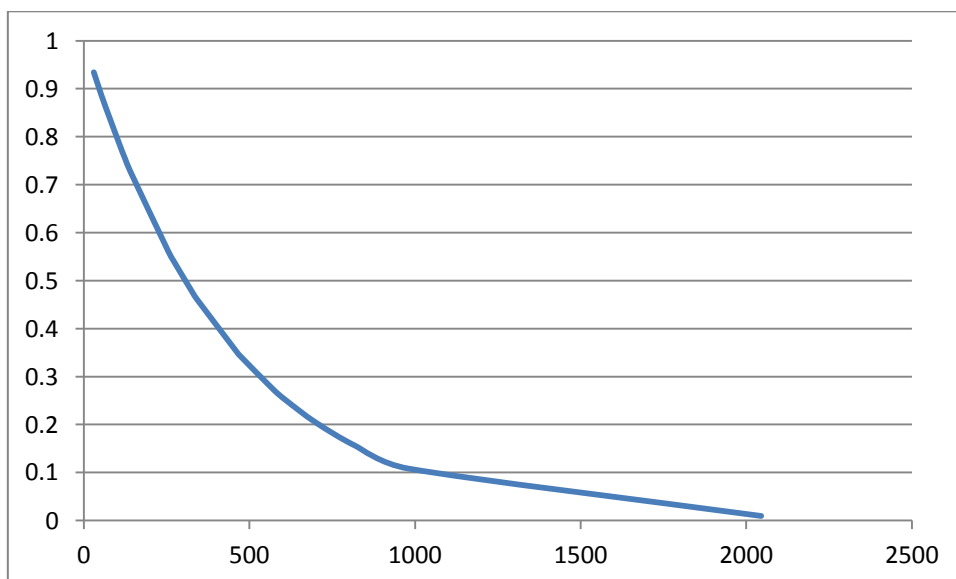


Figure (III.5) : La Courbe de la Fonction Fiabilité (Grove 55t 6*6 N 58)

Interprétation : Le graphe décroissant en fonction de temps s'explique par le phénomène de dégradation, la grue subi plusieurs arrêts dus à une mauvaise utilisation (non – respect des exigences du constructeur) ou à cause de l'absence d'une maintenance adéquate

c) **Courbe du taux de défaillance $\lambda(t)$**

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

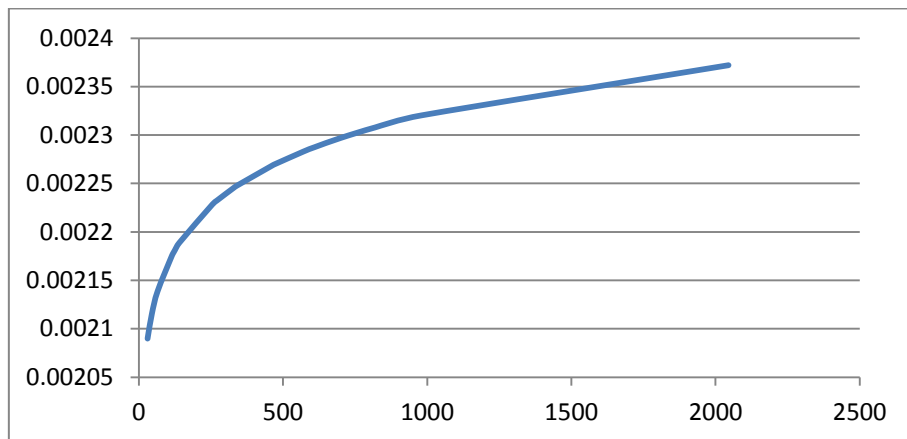


Figure (III.6) : La Courbe Du taux de défaillance (Grove 55t 6*6 N 58)

Interprétation : Le taux de défaillance augmente en fonction de temps cela signifie que la grue présente d'avantages de pannes, un problème qui devra être résolu en analysant la nature de ces pannes, et en proposant des solutions convenables.

III.3.1.5. Calcul et tracé de la courbe de Maintenabilité $M(t)$ de la grue Grove 6*6 N 58

D'après l'historique des pannes :

$$MTTR = \sum TTR/N$$

TTR : temps de réparation, *N* : nombre de pannes

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t}, \tag{III.17}$$

avec $\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{65} = 0.0153846$ intervention/heure

N°	UT	M(t)
1	30	0.369687
2	45	0.49958
3	65	0.63212
4	115	0.829536
5	120	0.842157
6	125	0.853843
7	140	0.883963
8	255	0.98022

9	270	0.984296
10	330	0.993761
11	340	0.994651
12	465	0.999218
13	470	0.999276
14	570	0.999845
15	610	0.999916
16	700	0.999979
17	820	0.999997
18	980	1
19	2045	1

Tableau (III.6) : La maintenabilité (Grove 55t 6*6 N 58)

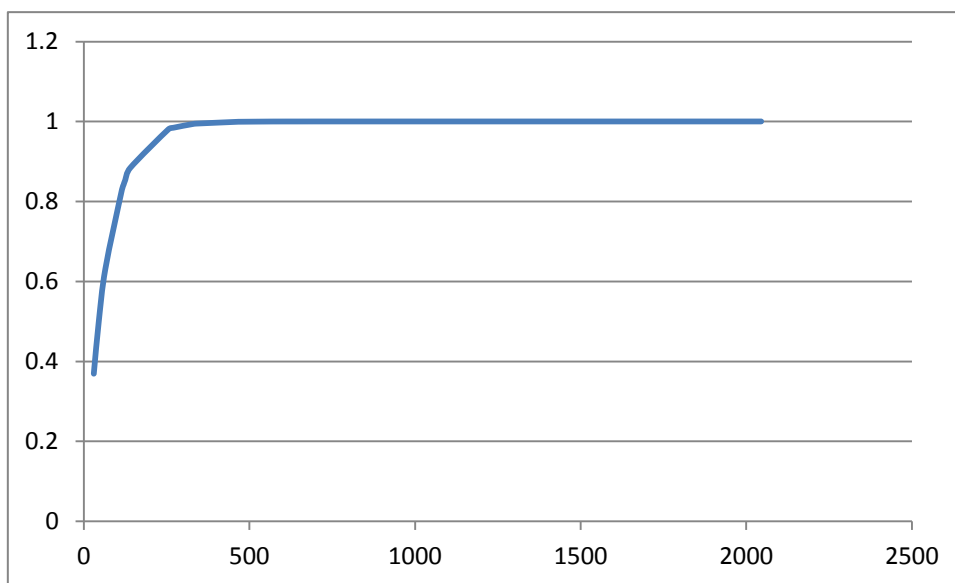


Figure (III.7) : La Courbe de Maintenabilité (Grove 55t 6*6 N 58)

Interprétation : La Maintenabilité est croissante en fonction du temps

III.3.1.6. Calcul et tracé de la courbe de la disponibilité de la grue Grove 55t 6*6 N 58

a) Disponibilité intrinsèque ou asymptotique

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} = \frac{507}{507+65} = 0.8863 \quad (\text{III.18})$$

b) Disponibilité instantanée

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda+\mu} + \frac{\lambda}{\lambda+\mu} e^{-(\lambda+\mu)t} \quad (\text{III.19})$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{507} = 0.00197239$$

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \rightarrow \mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{65} = 0.01538462$$

$$\mu + \lambda = 0.01538462 + 0.00197239 = 0.0173570054$$

$$D(t) = \frac{0.01538462}{0.0173570054} + \frac{0.00197239}{0.0173570054} e^{-(0.0173570054)t} \quad (III.20)$$

N°	UT	D(t)
1	30	0.953875
2	45	0.9384
3	65	0.923138
4	115	0.901804
5	120	0.90052
6	125	0.899343
7	140	0.896368
8	255	0.887723
9	270	0.887411
10	330	0.886734
11	340	0.886675
12	465	0.886399
13	470	0.886396
14	570	0.886369
15	610	0.886367
16	700	0.886364
17	820	0.886364
18	980	0.886364
19	2045	0.886364

Tableau (III.7) : Tableau de disponibilité de la grue Grove 55t 6*6 N 58

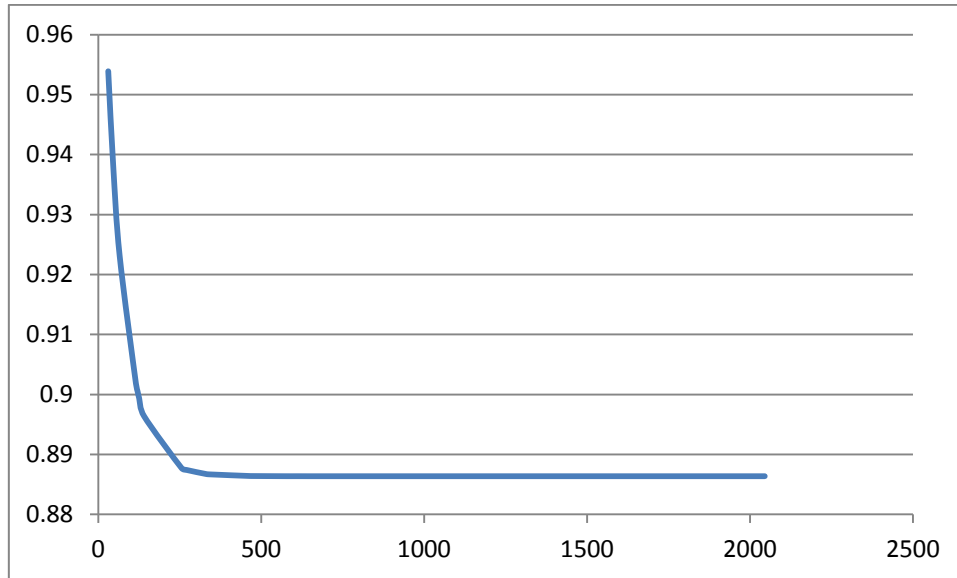


Figure (III.8) : La Courbe de disponibilité de la grue Grove 55t 6*6 N 58

Interprétation : La disponibilité est décroissante en fonction de temps, l'augmentation de la disponibilité d'une grue consiste à diminuer le nombre de ses arrêts (augmenter sa fiabilité) et réduire le temps nécessaire pour résoudre les causes de ceux-ci (augmenter sa Maintenabilité).

III.3.2 Fiabilité des grues TEREX 55T

En se basant sur l'historique des grues TEREX 55T, pris du système de gestion ENAFOR pour cinq ans, nous avons recensé le nombre des arrêts des 10 grues, puis nous avons calculé la moyenne des arrêts pour une seule grue, ensuite nous avons comparé le nombre d'arrêt de chaque grue avec la moyenne d'arrêt.

TEREX 55T			
Equipement	Nombre d'arrêts	Moyenne d'arrêts de toutes les grues TEREX 55T	Ecart
TEREX 55 T N° 45	35	35.9	0.9
TEREX 55 T N° 46	35	35.9	0.9
TEREX 55 T N° 47	40	35.9	4.1
TEREX 55 T N° 48	9	35.9	26.9
TEREX 55 T N° 49	21	35.9	14.9
TEREX 55 T N° 50	50	35.9	14.1
TEREX 55 T N° 51	25	35.9	10.9
TEREX 55 T N° 52	63	35.9	27.1
TEREX 55 T N° 53	49	35.9	13.1
TEREX 55 T N° 54	32	35.9	3.9

Tableau III.8 : Nombre des arrêts des grues TEREX 55T durant 5ans [10]

- Le total des arrêts des 10 grues TEREX 55T est égal à 359 Arrêts.
- La moyenne d'arrêts pour une grue est égale à 35.9 Arrêt.
- Après une analyse des pannes, nous avons choisi la grue TEREX N°51 pour l'étude.

III.3.2.1. Historique des pannes avec TTR et TBF et UT (TEREX 55T N°51) :

Date avis	Date OT	TBF (h)	DT (h)	UT
05/06/2009	05/06/2009	1230	20	1210
06/10/2009	07/10/2009	110	30	80
17/10/2009	27/10/2009	1010	135	875
26/01/2010	30/01/2010	180	100	80
13/02/2010	13/02/2010	350	15	335
20/03/2010	20/03/2010	100	0	100
30/03/2010	30/03/2010	150	15	135
14/04/2010	14/04/2010	350	25	325
19/05/2010	19/05/2010	130	5	125
01/06/2010	01/06/2010	610	20	590
01/08/2010	02/08/2010	210	75	135
22/08/2010	23/08/2010	590	45	545
20/10/2010	21/10/2010	90	20	70
29/10/2010	31/10/2010	350	30	320
03/12/2010	04/12/2010	1330	60	1270
15/04/2011	16/04/2011	370	15	355
22/05/2011	23/05/2011	270	10	260
18/06/2011	18/06/2011	20	20	0
20/06/2011	20/06/2011	130	10	120
03/07/2011	03/07/2011	260	25	235
29/07/2011	30/07/2011	130	30	100
11/08/2011	11/08/2011	230	120	110
03/09/2011	04/09/2011	770	10	760
19/11/2011	19/11/2011	560	10	550

Tableau III.9: Historique des TTR, TBF et UT (TEREX 55t 6*6 N°51) [10]

III.3.2.2. Calcul les paramètres de WEIBULL (TEREX 55T N°51) :

Tracé de la droite de WEIBULL :

Le tableau III.10 comporte le temps de bon fonctionnement UT de la grue TEREX N°51 classé par ordre croissant, ainsi que les F(i). Pour déterminer graphiquement les paramètres de WEIBULL (β , η , γ) on trace la courbe de WEIBULL donné par le logiciel MINITEB

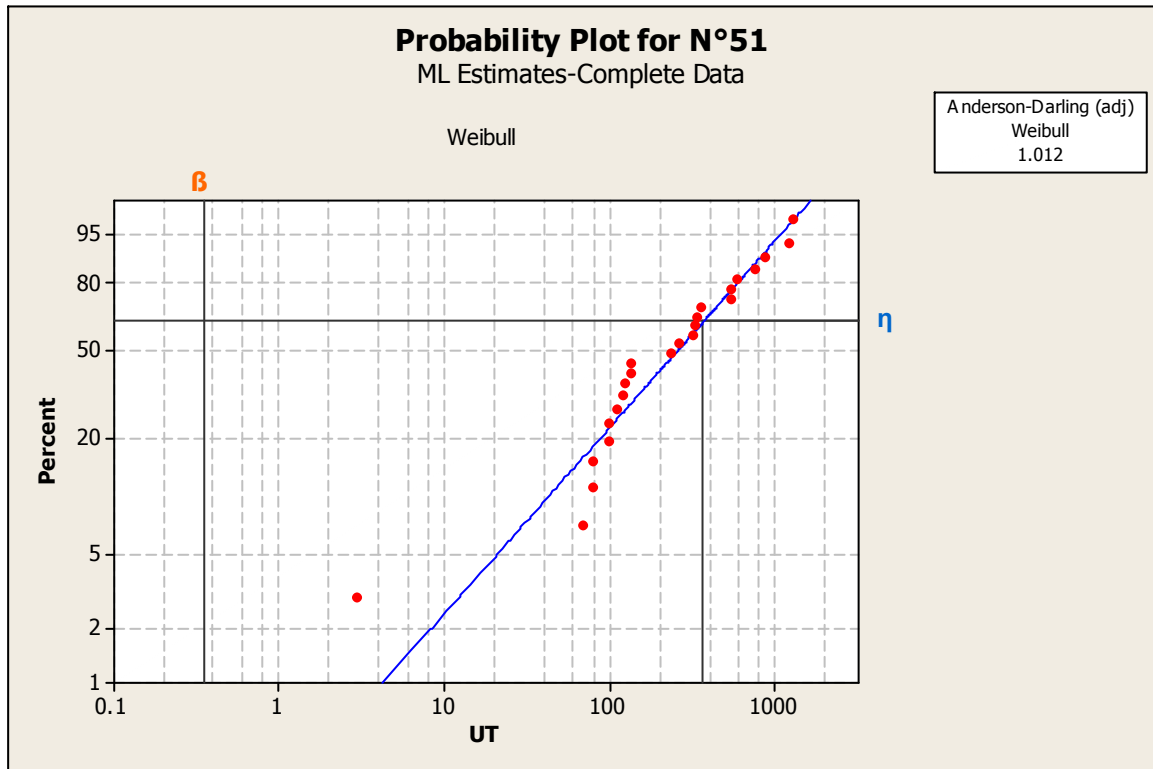


Figure III.9 : papier de WEIBULL par le logiciel MINITAB (TEREX 55T N°51)
D'après le graphe de Weibull les données sont presque alignées ce qui permet de conclure que le premier paramètre est nul $\gamma = 0$, les autres paramètres, $\beta = 1.15$ et $\eta = 399.78$ heures

- **Test d'adéquation** : Admettons un risque d'erreur ($\alpha=0.05$) [voire ANNEXE 01]

Nous avons la taille de l'échantillon $n=24$ nous avons mesuré l'écart point par point entre les deux fonctions de répartition.

$$\Delta D_i = \mathcal{F}(i) - F(t) \tag{III.21}$$

Pour $N=24$ et $\alpha=0.05$

Selon le tableau d'ANNEXE 0 1 on trouve : $D_n \cdot \alpha = 0,270$

$|\mathcal{F}(i) - F(t)|$, est l'erreur absolue entre la fonction réelle et fonction théorique et $D_n \cdot \alpha$ l'erreur de référence, dans le tableau de Kolmogorov-Smirnov

- Dressons le tableau qui permet de faire la comparaison.

N°	UT	F(i)	R(t)	F(t)	F(i)-F(t)
1	0	4%	1	0	0.04
2	70	8%	0.817617	0.182383	0.102383
3	80	12%	0.794433	0.205567	0.085567
4	80	16%	0.794433	0.205567	0.045567
5	100	20%	0.750018	0.249982	0.049982
6	100	24%	0.750018	0.249982	0.009982
7	110	28%	0.72875	0.27125	0.00875
8	120	32%	0.708086	0.291914	0.028086
9	125	36%	0.697974	0.302026	0.057974
10	135	40%	0.678183	0.321817	0.078183
11	135	44%	0.678183	0.321817	0.118183
12	235	48%	0.508649	0.491351	0.011351
13	260	52%	0.473354	0.526646	0.006646
14	320	56%	0.398317	0.601683	0.041683
15	325	60%	0.392629	0.607371	0.007371
16	335	64%	0.381496	0.618504	0.021496
17	355	68%	0.360167	0.639833	0.040167
18	545	72%	0.208516	0.791484	0.071484
19	550	76%	0.205539	0.794461	0.034461
20	590	80%	0.183199	0.816801	0.016801
21	760	84%	0.112343	0.887657	0.047657
22	875	88%	0.080701	0.919299	0.039299
23	1210	92%	0.030787	0.969213	0.049213
24	1270	96%	0.025907	0.974093	0.014093

Tableau III.10 : Comparaison entre la fonction de répartition théorique et réelle TEREX 55T

N51

D'après ce tableau on voit bien que $\Delta D_{max} = 0.102383$ donc :

$$\Delta D_{max} = 0.102383 < D_n \cdot \alpha = 0,270$$

Par conséquent nous avons pu conclure que la loi WEIBULL est adéquate pour la distribution des pannes de la grue TEREX 55T N51

III.3.2.3. Exploitation les paramètres de WEIBULL (TEREX 55T N°51) :

a) **Calcul de MUT :** L'expression du temps de bon fonctionnement MUT est donnée par

$$MUT = y + \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (III.22)$$

$$MUT = y + \eta a$$

$$MUT = (y + \eta a = 399.78)(0.9517) = 380.47 \text{ heures, } A = 0,9517 \quad B = 0.83 \text{ (ANNEXE 02)}$$

b) La densité de probabilité en fonction du MUT

$$f(t = MUT) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \times e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{III.23})$$

$$f(t = MUT) = \frac{1.15}{399.78} \left(\frac{399.78}{380.47}\right)^{1.15-1} \times e^{-\left(\frac{380.47}{399.78}\right)^{1.15}} = 0.00095573 \quad (\text{III.24})$$

c) La fonction de répartition en fonction du MUT

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

$$F(MUT) = 1 - e^{-\left(\frac{380.47}{399.78}\right)^{1.15}} = 0.6653 = 66.53\%$$

d) La fiabilité en fonction du MUT

$$R(t = MUT) = 1 - F(t = MUT) \quad (\text{III.25})$$

$$R(t = MUT) = 1 - 66.53\% = 33.47\%$$

e) Le taux de défaillance en fonction de MUT

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (\text{III.26})$$

$$\lambda(MUT) = 0.002853 \text{ panne/heures}$$

f) Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique

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

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{III.27})$$

$$\ln R(t) = -\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta = \ln(0.8) \leftrightarrow -[\ln R(t)]^{1/\beta} = \frac{t}{\eta} \leftrightarrow \eta[\ln R(t)]^{1/\beta}$$

$$T = 399.78 \ln[(1/0.8)]^{1/1.15}, t_{\text{sys}} = 108.5 \text{ heures.} \quad (\text{III.28})$$

Pour garder la fiabilité de la grue à 80% il faut intervenir chaque temps systématique 108.5 h.

III.3.2.4. Tracé des fonctions de fiabilité du modèle de WEIBULL pour la grue (TEREX 55T N°51)

N°	UT	R(t)	F(t)	f(t)	λ (t)
1	0	1	0	0.00E+00	0
2	70	0.817617	0.182383	1.81E-03	0.002215
3	80	0.794433	0.205567	1.80E-03	0.00226
4	80	0.794433	0.205567	1.80E-03	0.00226
5	100	0.750018	0.249982	1.75E-03	0.002337
6	100	0.750018	0.249982	1.75E-03	0.002337
7	110	0.72875	0.27125	1.73E-03	0.00237
8	120	0.708086	0.291914	1.70E-03	0.002401
9	125	0.697974	0.302026	1.69E-03	0.002416
10	135	0.678183	0.321817	1.66E-03	0.002444
11	135	0.678183	0.321817	1.66E-03	0.002444
12	235	0.508649	0.491351	1.35E-03	0.002656
13	260	0.473354	0.526646	1.28E-03	0.002697
14	320	0.398317	0.601683	1.11E-03	0.002782
15	325	0.392629	0.607371	1.09E-03	0.002789
16	335	0.381496	0.618504	1.07E-03	0.002801
17	355	0.360167	0.639833	1.02E-03	0.002826
18	545	0.208516	0.791484	6.28E-04	0.003013
19	550	0.205539	0.794461	6.20E-04	0.003018
20	590	0.183199	0.816801	5.59E-04	0.00305
21	760	0.112343	0.887657	3.56E-04	0.003168
22	875	0.080701	0.919299	2.61E-04	0.003235
23	1210	0.030787	0.969213	1.05E-04	0.003396
24	1270	0.025907	0.974093	8.86E-05	0.003421

Tableau III.11: Résultat du calcul de f(t), F(t), R(t), et λ(t) (TEREX 55T N°51)

a) La fonction de la densité de probabilité

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \times e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \text{ Ou } f(t) = \lambda(t) \cdot R(t) \quad \text{(III.29)}$$

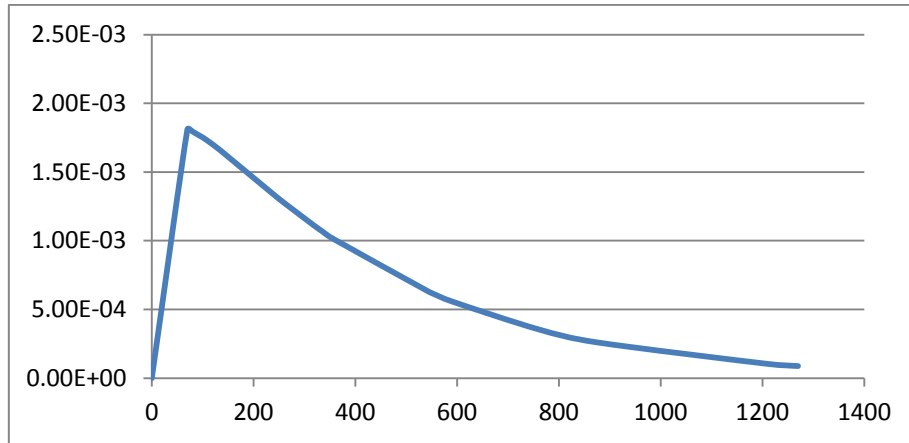


Figure (III.10) : La courbe densité de probabilité (TEREX 55T N°51)

Interprétation : D'après cette courbe on remarque que la fonction $f(t)$ augmente puis diminue avec l'évolution du temps.

b) Fonction de répartition $F(t)$:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (III.30)$$

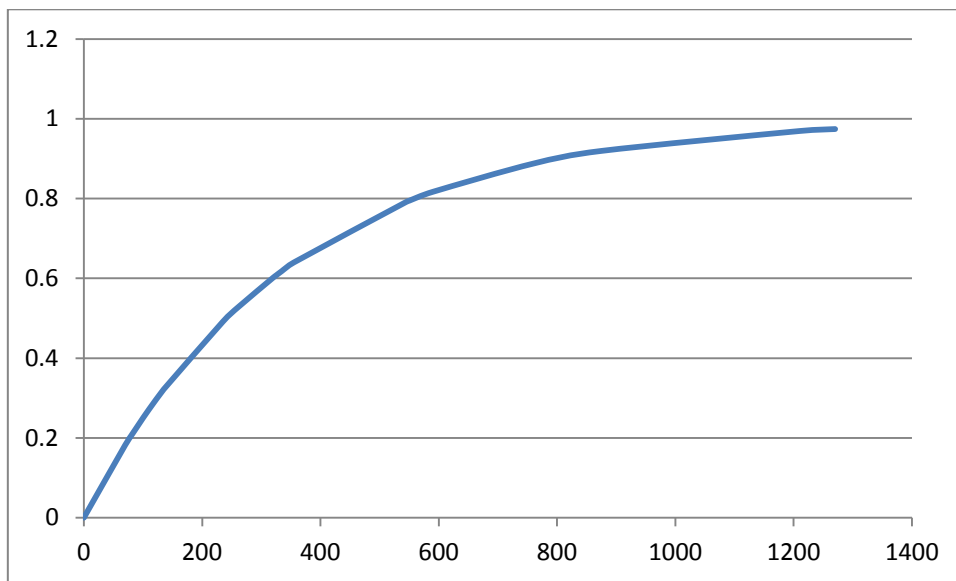


Figure (III.11) : La Courbe de fonction répartition (TEREX 55T N°51)

Interprétation : L'allure de la fonction de défaillance est croissante en fonction de temps parfaitement logique, et pour $t=MUT$, $F(MUT) = 66.53\%$.

c) La fiabilité $R(t)$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (III.31)$$

$$R(t = MUT) = 0.3347$$

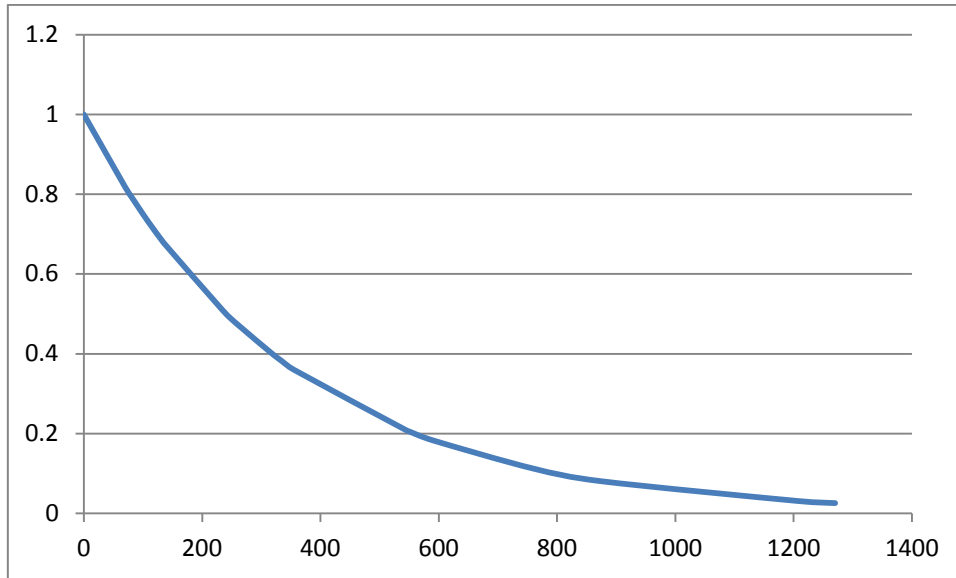


Figure (III.12) : La Courbe De la Fonction Fiabilité (TEREX 55T N°51)

Interprétation : Le graphe décroissant en fonction de temps s'explique par le phénomène de dégradation. L'amélioration de la fiabilité de la grue passe obligatoirement par une analyse des défaillances avec une étude détaillée de leurs causes de leurs modes et de leurs conséquences.

c) **Le taux de défaillance $\lambda(t)$**

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{x-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (III.32)$$

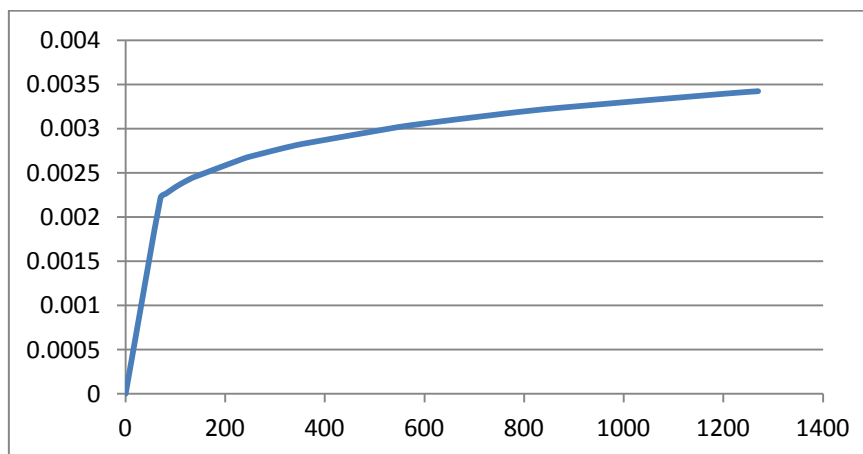


Figure (III.13) : La Courbe Du taux de défaillance (TEREX 55T N°51)

Interprétation : Le taux de défaillance augmente en fonction de temps parfaitement justifié avec la dégradation des grues dans le temps.

III.3.2.5. Calcul et tracé de la courbe de la Maintenabilité (TEREX 55T N°51)

D'après l'historique des pannes :

$$MTTR = \sum TTR/N$$

TTR : temps de réparation, N : nombre de pannes, $M(t) = 1 - e^{-\mu t}$ (III.33)

Avec $\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{35} = 0.02857143$ intervention/heure

N°	UT	M(t)
1	0	0
2	70	0.864665
3	80	0.898299
4	80	0.898299
5	100	0.942567
6	100	0.942567
7	110	0.956841
8	120	0.967567
9	125	0.971884
10	135	0.978872
11	135	0.978872
12	235	0.998787
13	260	0.999406
14	320	0.999893
15	325	0.999907
16	335	0.99993
17	355	0.999961
18	545	1
19	550	1
20	590	1
21	760	1
22	875	1
23	1210	1
24	1270	1

Tableau (III.12) : La maintenabilité de la grue TEREX 55T N°51

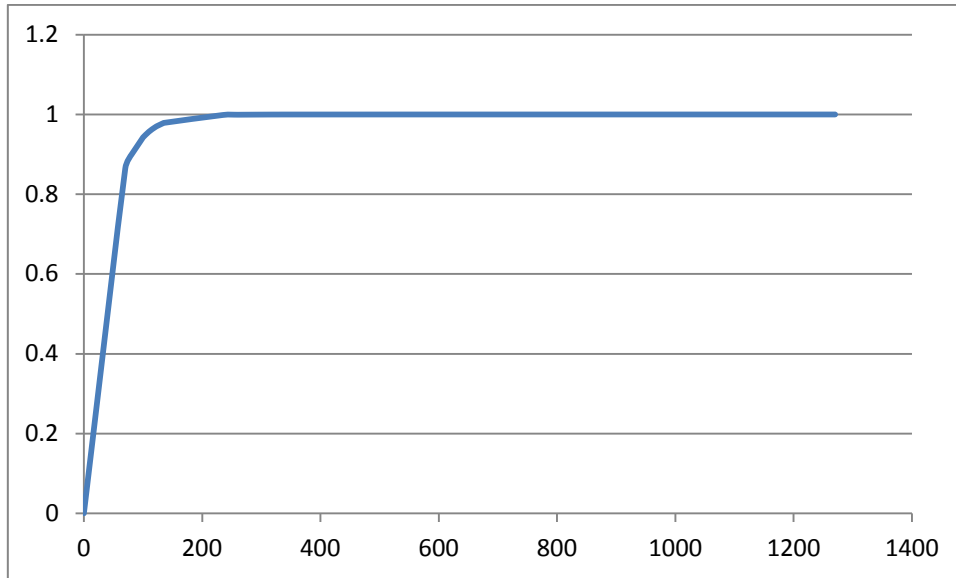


Figure (III.14) : La Courbe de Maintenabilité (TEREX 55T N°51)

Interprétation : La Maintenabilité est croissante en fonction du temps

III.3.2.6. Calcul de la disponibilité de la grue TEREX

a) Disponibilité intrinsèque au asymptotique

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} = \frac{397}{397+35} = 0.9189 \quad (III.34)$$

b) Disponibilité instantanée

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda+\mu} + \frac{\lambda}{\lambda+\mu} e^{-(\lambda+\mu)t} \quad (III.35)$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{397} = 0.0025188917$$

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \rightarrow \mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{35} = 0.0285714286$$

$$\mu + \lambda = 0.0285714286 + 0.0025188917 = 0.0310903203$$

$$D(t) = \frac{0.0285714286}{0.0310903203} + \frac{0.0025188917}{0.0310903203} e^{-(0.0310903203)t} \quad (III.36)$$

N°	UT	D(t)
1	0	1
2	70	0.928174
3	80	0.925717
4	80	0.925717
5	100	0.922598
6	100	0.922598
7	110	0.921632
8	120	0.920924
9	125	0.920644
10	135	0.9202
11	135	0.9202
12	235	0.919036
13	260	0.919006
14	320	0.918985
15	325	0.918985
16	335	0.918984
17	355	0.918983
18	545	0.918981
19	550	0.918981
20	590	0.918981
21	760	0.918981
22	875	0.918981
23	1210	0.918981
24	1270	0.918981

Tableau (III.13) : Tableau de disponibilité (TEREX 55T N°51)

c) Courbe de la disponibilité

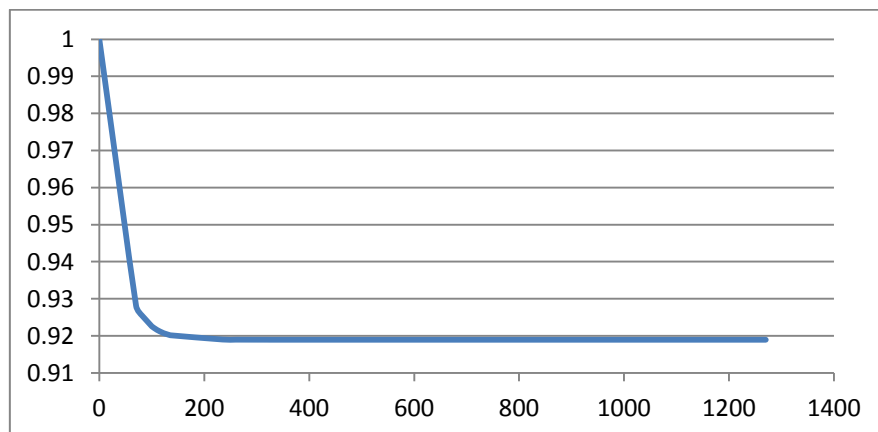


Figure (III.15) : La Courbe de disponibilité (TEREX 55T N°51)

Interprétation : La disponibilité est décroissante en fonction de temps, pour augmenter la disponibilité d'une grue il faut diminuer le nombre de ses arrêts et réduire le temps nécessaire pour résoudre les causes de ceux-ci.

III.3.3 Fiabilité les grues GROVE 4*4

En se basant sur l'historique des grues GROVE 4*4 (pris du système de gestion ENAFOR), [10] nous avons recensé le nombre des arrêts des (34) des grues, puis nous avons calculé la moyenne des arrêts pour une seule grue, ensuite nous avons comparé le nombre d'arrêt de chaque grue avec la moyenne d'arrêt.

GROVE 4x4 60T			
Equipement	Nombre d'arrêts	Moyenne des arrêts de toutes les grues 4x4 60T	Ecart
GRUE 60 T N° 1	22	13.24	8.76
GRUE 60 T N° 2	12	13.24	1.24
GRUE 60 T N° 3	14	13.24	0.76
GRUE 60 T N° 4	19	13.24	5.76
GRUE 60 T N° 5	13	13.24	0.24
GRUE 60 T N° 6	16	13.24	2.76
GRUE 60 T N° 7	7	13.24	6.24
GRUE 60 T N° 8	19	13.24	5.76
GRUE 60 T N° 9	14	13.24	0.76
GRUE 60 T N° 10	14	13.24	0.76
GRUE 60 T N° 11	12	13.24	1.24
GRUE 60 T N° 12	8	13.24	5.24
GRUE 60 T N° 13	17	13.24	3.76
GRUE 60 T N° 14	22	13.24	8.76
GRUE 60 T N° 15	17	13.24	3.76
GRUE 60 T N° 16	2	13.24	11.24
GRUE 60 T N° 17	11	13.24	2.24
GRUE 60 T N° 18	16	13.24	2.76
GRUE 60 T N° 19	5	13.24	8.24

GRUE 60 T N° 20	16	13.24	2.76
GRUE 60 T N° 21	16	13.24	2.76
GRUE 60 T N° 22	6	13.24	7.24
GRUE 60 T N° 23	13	13.24	0.24
GRUE 60 T N° 24	16	13.24	2.76
GRUE 60 T N° 25	9	13.24	4.24
GRUE 60 T N° 26	6	13.24	7.24
GRUE 60 T N° 27	13	13.24	0.24
GRUE 60 T N° 28	21	13.24	7.76
GRUE 60 T N° 29	11	13.24	2.24
GRUE 60 T N° 30	12	13.24	1.24
GRUE 60 T N° 31	14	13.24	0.76
GRUE 60 T N° 32	9	13.24	4.24
GRUE 60 T N° 33	15	13.24	1.76
GRUE 60 T N° 34	13	13.24	0.24

Tableau III.14 : nombre des arrêts des grues GROVE 4x4 60T durant 5ans [10]

- Le total des arrêts (34) grues GROVE 4x4 60T est égal à 450 Arrêts.
- La moyenne d'arrêts pour une grue est égale à 13.24 Arrêt.
- Après avoir analysé l'historique de chaque grue et vérifié les défauts qu'elles contiennent, nous avons ainsi choisi la grue GROVE 4x4 N°23 pour l'étude.

III.3.3.1. Historique des pannes avec TTR et TBF et UT :

Date avis	Date OT	TBF (h)	DT (h)	UT
09/11/2016	10/11/2016	850	35	815
02/02/2017	02/02/2017	440	10	430
18/03/2017	18/03/2017	3070	35	3035
19/01/2018	19/01/2018	2190	10	2180
26/08/2018	26/08/2018	140	125	15
09/09/2018	11/09/2018	720	20	700
20/11/2018	21/11/2018	140	45	95
04/12/2018	06/12/2018	1630	45	1585
16/05/2019	16/05/2019	780	30	750
02/08/2019	03/08/2019	240	35	205
26/08/2019	26/08/2019	160	15	145
11/09/2019	11/09/2019	750	0	750

Tableau III.15 : Historique des TTR, TBF et UT (GROVE 4x4 N23) [10]

Calcul de M.T.B.F :

$$MTBF = \frac{\sum TBF}{N} = \frac{11110}{12} = 925.83 \approx 926 \text{ HEURS} \quad (\text{III.37})$$

Calcul de M.U.T :

$$MUT = \frac{\sum UT}{N} = \frac{10705}{12} = 892.08 \approx 892 \text{ hours} \quad (\text{III.38})$$

Calcul de MTTR :

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{N} = \frac{405}{12} = 33.75 \approx 34 \text{ hours} \quad (\text{III.39})$$

Taux de réparation μ :

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{34} = 0,029412 \text{ 1/heurs} \quad (\text{III.40})$$

III.3.3.2. Calcul les paramètres de WEIBULL de la grue Grove 4*4 N°23 :

a) Tracé de la droite de WEIBULL :

Le tableau III.6 comporte les temps de bon fonctionnement UT Grove 4*4 N°23 classés par ordre croissant, et les F(i), on détermine graphiquement les paramètres de WEIBULL (β , η , γ) en traçant la courbe de WEIBULL donné par le logiciel MINITEB

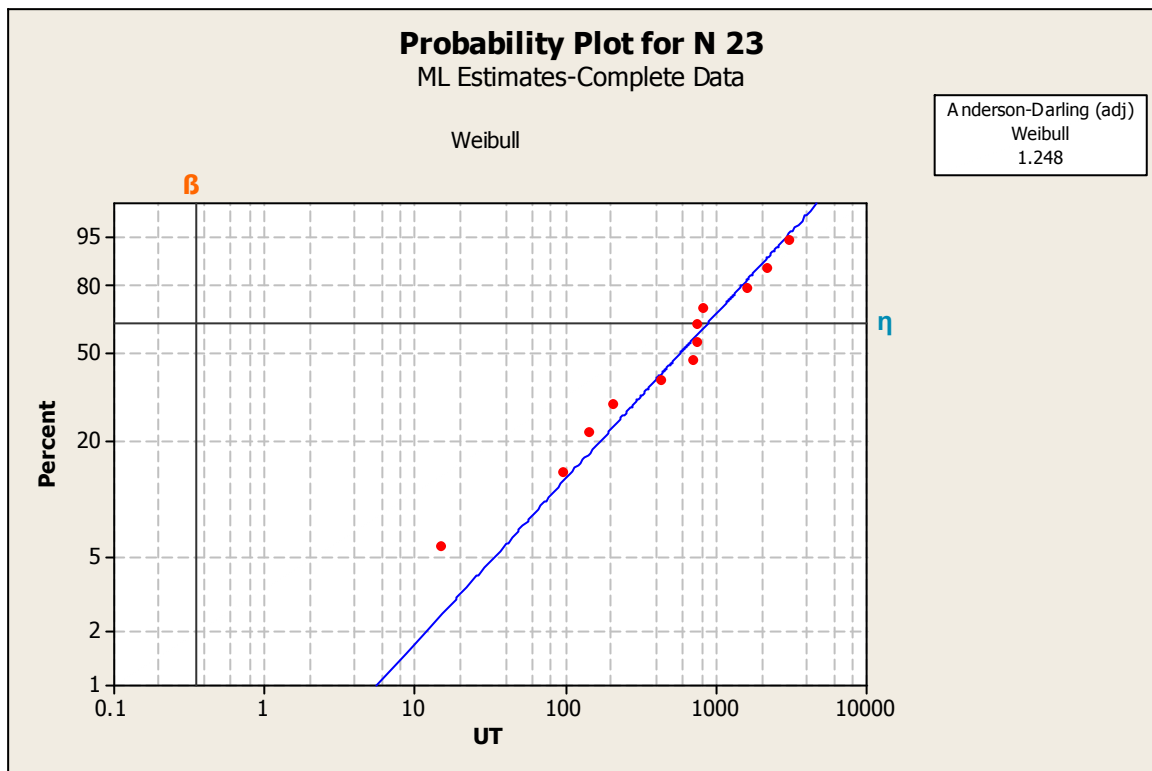


Figure III.16 : papier de WEIBULL en logiciel MINITAB (GROVE 4x4 N23)

D'après graphe de Weibull les données sont presque alignées ce qui permet de conclure que le premier paramètre est nul $\gamma = 0$, les paramètres $\beta = 0.91$ et $\eta = 855.44$ heurs

• **Test d'adéquation :**

Admettons un risque d'erreur ($\alpha=0.05$) [voire ANNEXE 0 1]

Nous avons la taille de l'échantillon $N=12$ nous avons mesuré l'écart point par point entre les deux fonctions de répartition.

$$\Delta D_i = \mathcal{F}(i) - F(t) \quad (\text{III.41})$$

$\mathcal{F}(i)$: fonction de répartition réelle (t) : fonction de théorique.

La fonction de répartition réelle est donnée par la formule :

$$\mathcal{F}(i) = \frac{i-0.3}{N+0.4} \quad (\text{La méthode des rangs médians}) \quad (\text{III.42})$$

Avec i : ordre de t_i .

N : nombre total

Pour $N=12$ et $\alpha=0.05$

Selon le tableau de l'ANNEXE 01 on trouve :

$$D_{n,\alpha} = 0,375$$

$|\mathcal{F}(i) - F(t)|$, est l'erreur absolue entre la fonction réelle et fonction théorique et $D_{n,\alpha}$ l'erreur de référence, dans le tableau de Kolmogorov-Smirnov

- Dressons le tableau qui nous permet de faire la comparaison.

N°	UT	F(i)	R(t)	F(t)	F(i)-F(t)
1	15	0.056452	0.98417	0.01583	0.040622
2	95	0.137097	0.90388	0.09612	0.040976
3	145	0.217742	0.857059	0.142941	0.074801
4	205	0.298387	0.804065	0.195935	0.102452
5	430	0.379032	0.632911	0.367089	0.011943
6	700	0.459677	0.474902	0.525098	0.06542
7	750	0.540323	0.450303	0.549697	0.009375
8	750	0.620968	0.450303	0.549697	0.071271
9	815	0.701613	0.420218	0.579782	0.121831
10	1585	0.782258	0.185242	0.814758	0.0325
11	2180	0.862903	0.098368	0.901632	0.038729
12	3035	0.943548	0.039614	0.960386	0.016838

Tableau III.16 : comparaison des erreurs entre la fonction de répartition théorique et réelle (GROVE 60T N23)

D'après ce tableau on voit bien que $\Delta D_{max} = 0.121831$ donc :

$$\Delta D_{max} = 0.121831 < D_{n,\alpha} = 0,375$$

Par conséquent nous avons pu conclure que la loi WEIBULL est adéquate pour la distribution des pannes de la grue GROVE 60T N23

III.3.3.3. Exploitation les paramètres de WEIBULL de la grue Grove 4*4 N°23 :

a) Calcul de MUT:

L'expression du temps de bon fonctionnement MUT est donnée par

$$MUT = y + \eta\Gamma(1 + \frac{1}{\beta}) \tag{III.43}$$

$$MUT = y + \eta a = (855.44)(1.0234) = 875.46 \text{ heures, } A= 1,0234 \text{ } B=1,08 \text{ (ANNEXE 02)}$$

b) La densité de probabilité en fonction de MUT

$$f(t = MUT) = \frac{\beta}{\eta} (\frac{t-y}{\eta})^{\beta-1} \times e^{-\left(\frac{t-y}{\eta}\right)^\beta} \tag{III.44}$$

$$f(t = MUT) = \frac{0.91}{855.44} \left(\frac{875.46}{855.44}\right)^{0.91-1} \times e^{-\left(\frac{875.46}{855.44}\right)^{0.91}} = 0.000418 \tag{III.45}$$

c) La fonction de répartition en fonction de MUT

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-y}{\eta}\right)^\beta} \tag{III.46}$$

$$F(MUT) = 1 - e^{-\left(\frac{875.46}{855.44}\right)^{0.91}} = 0.606 = 60.6\%$$

d) La fiabilité en fonction de MUT

$$R(t = MUT) = 1 - F(t = MUT), \quad R(t = MUT) = 1 - 60.6\% = 39.4 \%$$

e) Le taux de défaillance en fonction de MUT

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-y}{\eta}\right)^{\beta-1} \tag{III.47}$$

$$\lambda(MUT) = 0.001062 \text{ panne/heures}$$

III.3.3.4. Étude de modèle de Weibull : f(t) F(t) R(t) λ (t) (GROVE 4x4 N23) :

N°	UT	F(i)	R(t)	F(t)	F(i)-F(t)	f(t)	y(t)
1	15	0.056452	0.98417	0.01583	0.040622	0.001507	0.001531
2	95	0.137097	0.90388	0.09612	0.040976	0.001172	0.001296
3	145	0.217742	0.857059	0.142941	0.074801	0.00107	0.001248
4	205	0.298387	0.804065	0.195935	0.102452	0.000973	0.00121
5	430	0.379032	0.632911	0.367089	0.011943	0.000716	0.001132
6	700	0.459677	0.474902	0.525098	0.06542	0.000514	0.001083
7	750	0.540323	0.450303	0.549697	0.009375	0.000485	0.001076
8	750	0.620968	0.450303	0.549697	0.071271	0.000485	0.001076
9	815	0.701613	0.420218	0.579782	0.121831	0.000449	0.001068
10	1585	0.782258	0.185242	0.814758	0.0325	0.000186	0.001006
11	2180	0.862903	0.098368	0.901632	0.038729	9.62E-05	0.000978
12	3035	0.943548	0.039614	0.960386	0.016838	3.76E-05	0.000949

Tableau III.17: Résultat du calcul de f(t), F(t), R(t), et λ(t) (GROVE 4x4 N23)

a) La fonction de la densité de probabilité (GROVE 4x4 N23) :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-y}{\eta}\right)^{\beta-1} \times e^{-\left(\frac{t-y}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{III.48})$$

$$\text{Ou } f(t) = \lambda(t) \cdot R(t) \quad (\text{III.49})$$

Courbe de la densité de la probabilité f(t) :

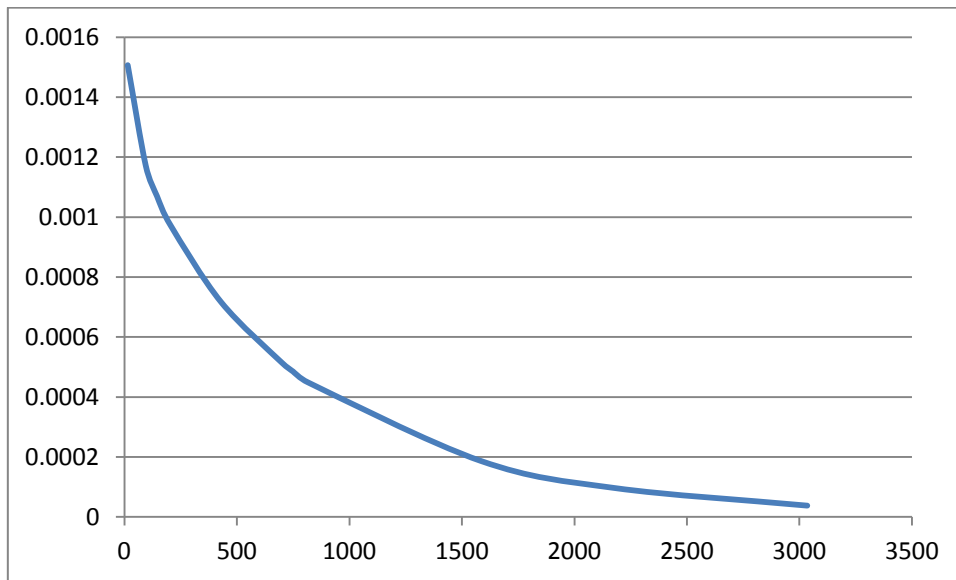


Figure III.17 : La Courbe Densité De Probabilité (GROVE 4x4 N23)

Interprétation : D'après cette courbe on remarque que la fonction f(t) (densité de probabilité) diminue avec l'évolution de UT.

b) Fonction de répartition F(t) (GROVE 4x4 N23) :

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-y}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{III.50})$$

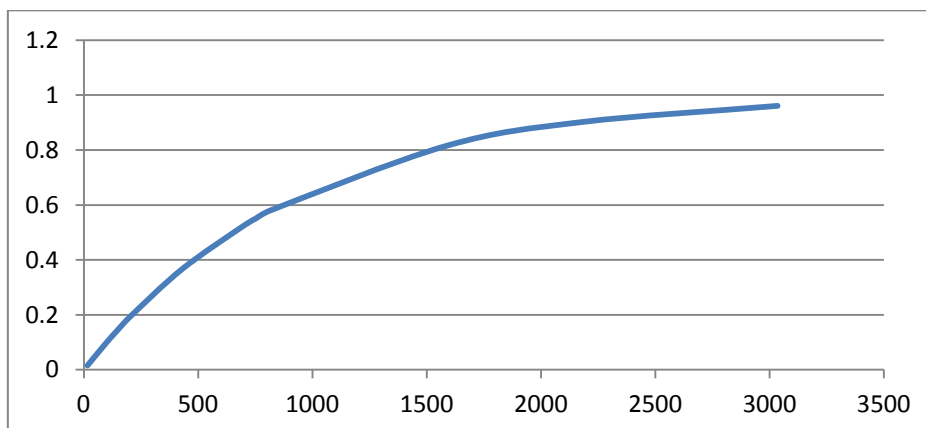


Figure III.18 : La Courbe De Fonction Répartition (GROVE 4x4 N23)

Interprétation : La fonction de défaillance est croissante en fonction de temps, et pour t=UT,

$$F(MUT) = 0,7323 = 73.23\%$$

c) La fiabilité R(t) (GROVE 4x4 N23)

La fonction fiabilité : $R(t) = 1 - F(t)$, $R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$ (III.51)

$$R(t = MUT) = 0.267$$

Courbe de la fiabilité :

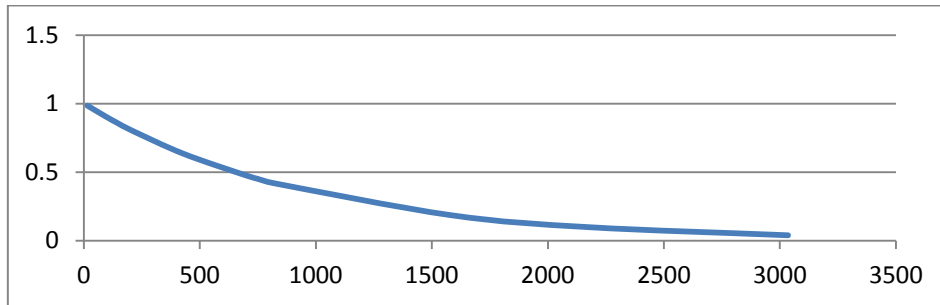


Figure (III.19) : La Courbe de la fonction fiabilité (GROVE 4x4 N23)

Interprétation : Le graphe décroissant en fonction de temps se qui fait expliqué par le fait du phénomène de dégradation. L'amélioration de la fiabilité de la grue passe obligatoirement par une analyse des défaillances avec une étude détaillée de leurs causes de leurs modes et de leurs conséquences.

d) Le taux de défaillance λ(t) (GROVE 4x4 N23) :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{x-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$$
 (III.52)

Courbe du taux de défaillance :

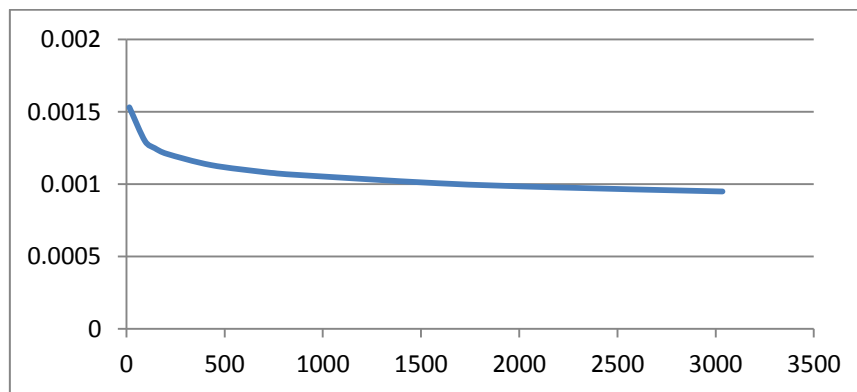


Figure (III.20) : La Courbe Du taux de défaillance (GROVE 4x4 N23)

Interprétation : Le taux de défaillance est décroissant en fonction de temps. Cette diminution signifie que la grue est dans la période de jeunesse

III.3.3.5. Calcul de Maintenabilité (GROVE 4x4 N23) :

D'après l'historique des pannes :

$$MTTR = \sum TTR/N$$

TTR : temps de réparation, N : nombre de pannes, $M(t) = 1 - e^{-\mu t}$ (III.53)

$$\text{Avec } \mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{34} = 0.02941176 \text{ intervention/heure}$$

N°	UT	M(t)
1	15	0.356721
2	95	0.938831
3	145	0.985944
4	205	0.997593
5	430	0.999997
6	700	1
7	750	1
8	750	1
9	815	1
10	1585	1
11	2180	1
12	3035	1

Tableau III.18 : La maintenabilité (GROVE 4x4 N23)

Courbe de maintenabilité

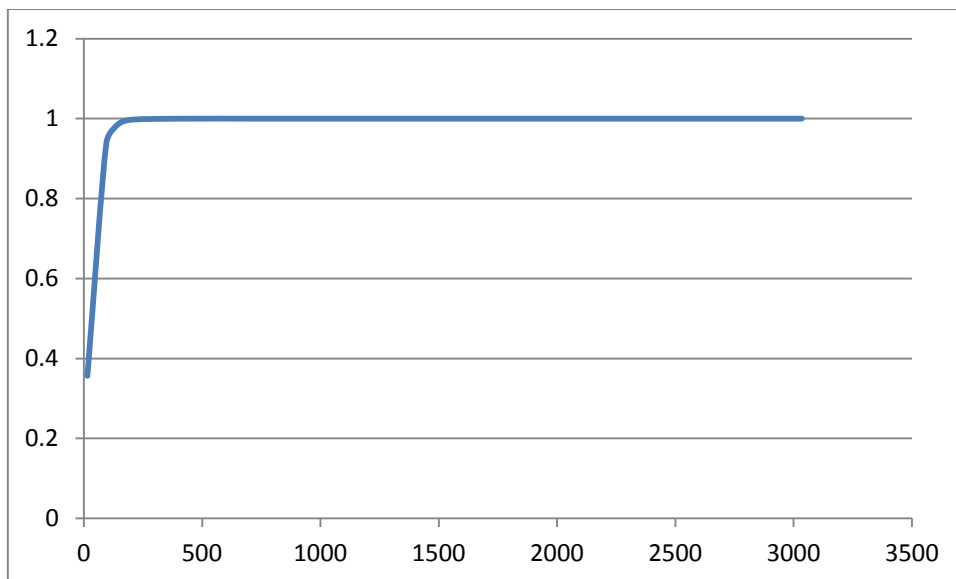


Figure (III.21) : La Courbe de Maintenabilité (GROVE 4x4 N23)

Interprétation : La maintenabilité est croissante en fonction du temps de réparation à l'instant T=700 heures, la maintenabilité est 100%., C'est-à-dire que la maintenabilité exercée est bonne quelque peu.

III.3.3.6. Calcul de la disponibilité de la grue (GROVE 4x4 N23)

a) Disponibilité intrinsèque ou asymptotique

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} = \frac{926}{926+34} = 0.96458 \quad (III.54)$$

e) Disponibilité instantanée

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda+\mu} + \frac{\lambda}{\lambda+\mu} e^{-(\lambda+\mu)t} \quad (III.55)$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{926} = 0.0010799 \quad (III.56)$$

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \rightarrow \mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{153} = 0.02941176 \quad (III.57)$$

$$\mu + \lambda = 0.02941176 + 0.0010799 = 0.03049166$$

$$D(t) = \frac{0.02941176}{0.03049166} + \frac{0.0010799}{0.03049166} e^{-(0.03049166)t} \quad (III.58)$$

N°	UT	D(t)
1	15	0.987
2	95	0.966539
3	145	0.965009
4	205	0.964652
5	430	0.964584
6	700	0.964584
7	750	0.964584
8	750	0.964584
9	815	0.964584
10	1585	0.964584
11	2180	0.964584
12	3035	0.964584

Tableau III.19 : Tableau de disponibilité (GROVE 4x4 N23)

Courbe de la disponibilité

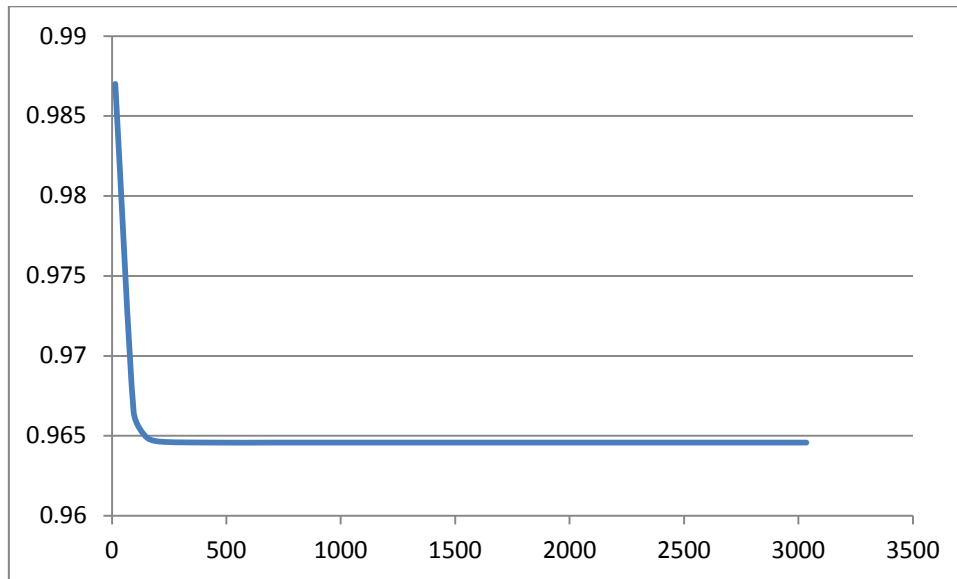


Figure (III.22) : La Courbe de disponibilité (GROVE 4x4 N23)

Interprétation : La disponibilité est presque constante en fonction de temps à l'instant $T=430$ heures, la maintenabilité est 96%, l'augmentation de la disponibilité d'une grue consiste à diminuer le nombre de ses arrêts ou augmenter sa fiabilité, et réduire le temps nécessaire pour résoudre les causes de ces arrêts.

III.4. Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté une étude 'FMD' sur les grues (ENFOR), qui a pour but de faire une analyse qui pourra aider à la diminution des pannes répétitives et de trouver des solutions pour l'amélioration de la fiabilité et la disponibilité des grues.

L'étude « FMD » des équipements GROVE 6 * 6 et TEREX 6 * 6 montre que ces grues sont moins disponibles que les nouvelles grues GROVE 4 * 4. L'historique des pannes reflète le nombre élevé des arrêts des grues GROVE 6X6 et TEREX, ceci s'explique par leur âge et le système de maintenance. La résolution de ces problèmes est l'application d'un système de maintenance adéquat, après la rénovation bien sûr.

Les résultats sont dressés dans le tableau suivant :

Méthode	Paramètre de WEIBULL	Fiabilité des grues		
		GROVE 6*6	TEREX 6*6	GROVE 4*4
	β	1.03	1.15	0.91
	η	454.27	399.78	855.44
	γ	0	0	0
	MUT (heures)	445	380	875
	Disponibilité	88%	91%	96%

Tableau III.20 : Les résultats comparaison des grues

CHAPITRE IV

Analyse fonctionnelle et élaboration d'un cahier de charge amélioré

IV. 1 Introduction :

Dans ce chapitre nous allons utiliser l'analyse fonctionnelle pour réaliser le cahier des charges fonctionnel d'une grue sur pneus.

L'analyse fonctionnelle permet de traduire un besoin client, sans décrire un moyen, tout en restant axée sur les caractéristiques du résultat à obtenir, ou de fonctions de service à satisfaire, les contraintes (obligations) sont également prises en compte.

IV. 2 Bête à corne :

Le diagramme bête à cornes est un outil graphique d'analyse du besoin qui permet de répondre à trois questions :

- A qui le produit rend-il service ? Utilisateur (conducteurs de grues)
- Sur quoi le produit agit-il ? Colis et matériels de chantiers pétroliers
- Dans quel but ? Manutentionner des colis et matériels de chantiers pétroliers

Exprimer le besoin (grue mobile sur pneumatiques)

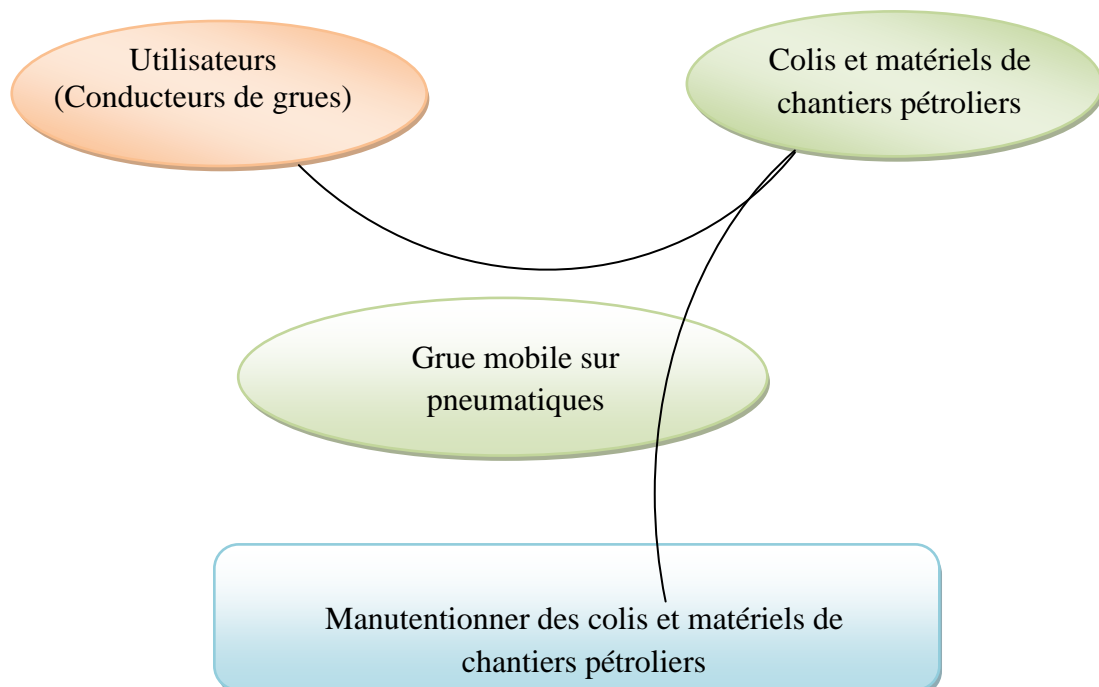


Figure IV. 1 : schéma bête à corne (grue mobile sur pneumatiques)

IV.3 L'analyse fonctionnelle, diagramme pieuvre :

Le diagramme pieuvre est la représentation graphique des interactions d'un produit avec son environnement.

Le diagramme pieuvre est composé :

- Du produit (au centre du diagramme),
- Des éléments du Milieu Extérieur (E.M.E.) (à la périphérie du produit),
- Des relations d'interaction ou d'adaptation entre le produit et les E.M.E.,
- Des repères des fonctions principales (FP1, FP2, ...) et des fonctions contraintes (FC1, FC2, ...).

IV. 3.1 Identification des éléments du milieu extérieur (EME)

1. Utilisateur
2. Sol (route)
3. Sécurité
4. Législation
5. Environnement
6. Ergonomie
7. Energie

1. Utilisateur

- a) **FP1** : Permettre à l'utilisateur de manutentionner des colis et matériels de chantiers pétroliers
- b) **FC1** : Doit avoir une durée d'exploitation attendue de 20 ans
- c) **FC2** : Doit être capable de fonctionner au maximum de ses performances de conception pour une durée de deux (02) ans sans défaillance.
- d) **FC3** : Doit être apte à se déplacer par ses propres moyens
- e) **FC4** : Doit posséder les équipements adaptés pour le travail de nuit. Au minimum, un phare de travail à l'avant d'une puissance de 45W, positionné sur la flèche
- f) **FC5** : Doit être configurée pour permettre un transport et un déploiement rapide
- g) **FC6** : Doit être remorquable en cas de panne
- h) **FC7** : Doit être transportable sur semi-remorques, et doit pouvoir être soulevée par une grue. Elle sera dès lors équipée de points « d'accroche » en nombre suffisant pour permettre une manipulation à l'horizontale

- i) FC8 : Doit être équipée d'une aide au diagnostic, l'utilisateur sera à même de diagnostiquer la panne au travers de codes panne clairement détaillés
- j) FC9 : Doit être en mesure de circuler à une vitesse supérieure ou égale à 80 km/h.
- k) FC10 : Les pneumatiques et les jantes doivent être d'un diamètre identique AV et AR
- l) FC11 : La grue est livrée avec une roue de secours avec un support fixé au châssis de la grue. Cette roue est fixée avec la valve de gonflage vers l'extérieur.
- m) FC12 : L'utilisateur doit être apte à obtenir toutes les pièces de rechange nécessaires ainsi qu'une expertise technique si demandée ;
- n) FC13 : L'utilisateur doit être informé de toutes les modifications techniques, les changements de numéros de référence et source d'approvisionnement si tel était le cas.

2. Sol (route)

- o) **FP2** : Permettre au conducteur de se déplacer sur route et pistes en toute sécurité

3. Sécurité

- p) FC14 : La grue doit être équipée d'un système de sécurité coupant automatiquement le moteur ou avertissant l'opérateur en cas de température élevée et/ou de pression d'huile trop basse.

4. Législation

- q) FC15 : Doit être conforme au code de la route et à la législation en vigueur
- r) FC16 : être conforme à la législation en vigueur
 - i. Emissions de bruit ;
 - ii. Interférences électromagnétiques

5. Environnement

- s) FC17 : Le moteur devra répondre aux normes environnementales antipollution industrielles en vigueur à la signature du marché
- t) FC18 : la grue doit être utilisable de manière intensive dans des conditions extrêmes ;
- u) FC 19 : La grue doit être utilisable dans un climat ayant une variation de température allant de -10°C à +50°C).

6. Ergonomie

- v) FC 20 : La grue doit disposer d'un poste de conduite ergonomique avec siège adapté,
- w) FC 21 : La cabine doit être insonorisée et climatisée, accessible par un marchepied antidérapant et échelle d'accès complétée par des poignées

7. Energie

- x) FC 22 : Le moteur doit démarrer et fonctionner avec le carburant diesel produit par NAFTAL
- y) FC23 : La capacité du réservoir doit permettre une utilisation supérieure ou égale à 12 heures dans les conditions d'exploitation décrites
- z) FC24 : Le système de filtration du carburant doit permettre un fonctionnement optimum de la machine spécialement lors de l'utilisation de carburants « basse qualité », un filtre séparateur d'eau est requis ;

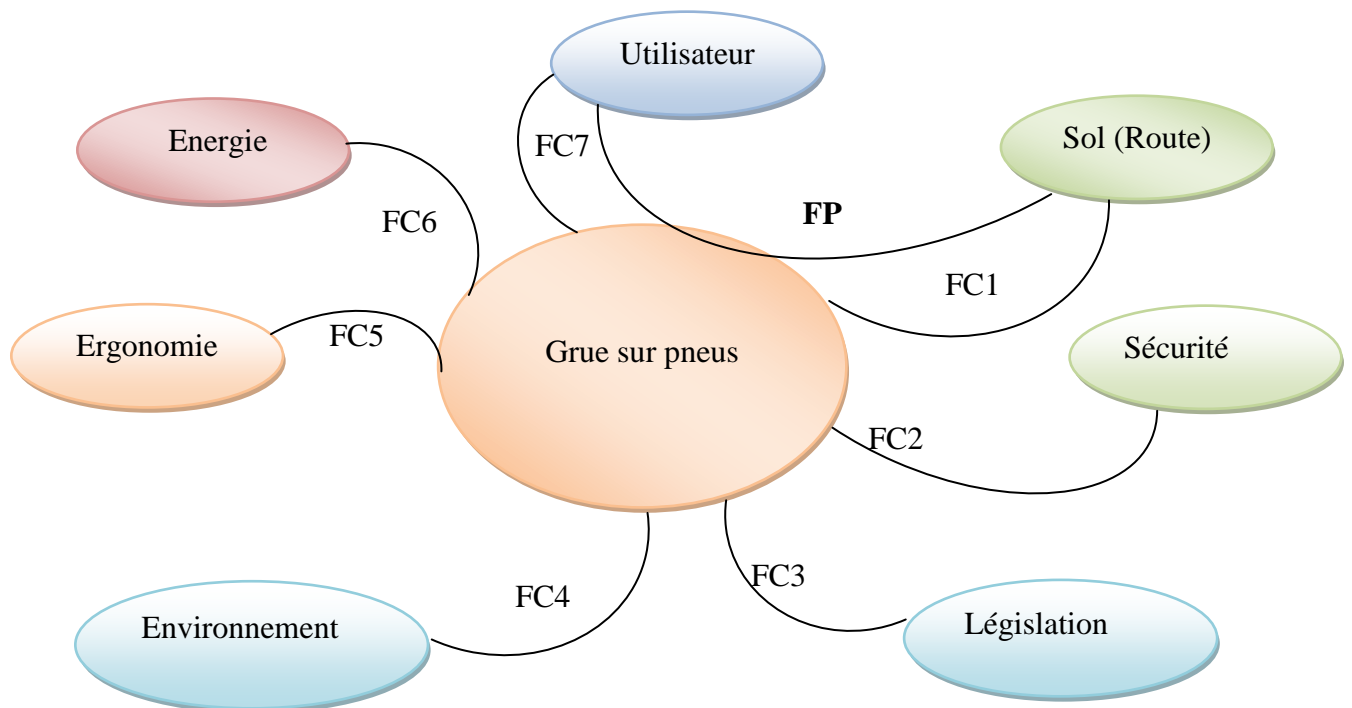


Figure IV.2 : diagramme pieuvre (Grue sur pneus)

IV. 4 élaboration d'un cahier de charge amélioré

L'analyse fonctionnelle une fois réalisé, on a pu élaborer le cahier de charge dressé sur le tableau ci-dessous.

Tableau IV.1 Cahier de charge fonctionnel :

Repère	Fonctions	Critères	Niveaux	Tolérance
FP 1	Permettre à l'utilisateur de manutentionner des colis et matériels de chantiers pétroliers	Capacité de levage	60 t	± 5 t
		Longueur de flèche	45 m	± 3 m
FP 2	Permettre au conducteur de se déplacer sur route et pistes en toute sécurité	Vitesses de déplacement sur route	90 km	± 10 km
		Vitesses de déplacement sur piste	25 km	± 05 km
		Pneus et jantes AV & AR	Identique	
FC 1	Doit être fiable et disponible	Durée d'exploitation attendue	20 ans	
		Capacité de fonctionner au maximum de ses performances sans défaillance	02 ans	
FC 2	Doit être utilisable dans des conditions extrêmes et de façon intensive	Piste et terrain	Gypse et sableux	
		Climat et température	-10°C à +50°C	
		Pente	12%	
FC 3	Doit être équipée d'un système de sécurité coupant automatiquement le moteur ou avertissant l'opérateur en cas de température élevée et/ou de pression d'huile trop basse.			
FC 4	Doit être conforme au code de la route et à la législation en vigueur			
FC 5	Le moteur devra répondre aux normes environnementales antipollution industrielles en vigueur à la signature du marché			
FC 6	La cabine doit être insonorisée et climatisée, accessible par un marchepied antidérapant et échelle d'accès complétée par des poignées			
FC 7	Le moteur doit démarrer et fonctionner avec le carburant diesel produit par NAFTAL			

Tableau IV.1 : tableau du cahier de charge fonctionnel

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Le résultat de l'analyse de l'historique de l'exploitation des cinq (05) premières années des grues ENAFOR nous a permis de déceler les arrêts pour pannes dues à la mauvaise conception de certains systèmes.

Ces systèmes une fois identifiés permettront d'alimenter les contraintes des futurs cahiers des charges grues et améliorer leur disponibilité

Au terme de notre travail il en ressort que la grande majorité des arrêts pour pannes liés aux grues mobiles sont dus aux systèmes électriques.

En conclusion, nous sommes convaincus qu'une bonne rédaction des cahiers des charges pourrait améliorer la disponibilité des grues mobiles et nous croyons que l'utilisation des cahiers des charges fonctionnelles par les entreprises pourrait considérablement réduire l'occurrence des pannes.

Bibliographie

- [1] A. BELHOMME, Cours de stratégie de maintenance 2010/2011
- [2] REZGI Imane, cours maintenance industrielle univ-ouargla 2017
- [3] ABA. A, « Diagnostic vibratoire sur des pompes rotatives EP2 & P112 ». Rapport de Fin de Mise en Situation Professionnelle du Technicien Supérieur en Mécanique Industrielle, DIRECTION REGIONALE HAOUUD BERKAOUI (2015)
- [4] Installation des turbines à gaz et leurs éléments principaux ANTONOV ANATOLI ; ORAN (1978)
- [5] HATHAT Abdelkader, DEBLAOUI Hicham Mémoire (Etude analytique FMD d'une turbine DR990) université Kasdi Merbah – Ouargla 2014/2015
- [6] Cours Analyse fonctionnelle Gérard Baillarguet
- [7] Guide de l'analyse fonctionnelle Février 2010 Ph. Taillard
- [8] Cours E. Fays cahier des charges
- [9] Joëlle FOREST, Cours analyse fonctionnelle -cahier des charges fonctionnel
- [10] Système de gestion intégré (ERP) de l'entreprise ENAFOR
- [11] BENKHELIFA Abdelhadi, MOHAMMEDI Morad, Fiabilité des équipements de DTM, Analyse fonctionnelle, et implications organisationnelles de la fonction maintenance de transport. Mémoire de Master université Kasdi Merbah – Ouargla 2010 – 2011
- [12] Tibat Belkacem, Naghmouche Ali ourabi, Analyse de la sureté de fonctionnement d'un top drive, mémoire de master université Kasdi Merbah Ouargla, 2014 -2015
- [13] SAADOUDI Mohamed Tidjani : L'élaboration d'un plan de maintenance pour une grue LIEBHERR 55 tonnes, Master en génie mécanique option maintenance industrielle. Université KASDI MERBAH OUARGLA, 2012

ANNEXE

ANNEXE 0 1

Tableau de loi kolmogorov-smirnov

N	Niveau significatif				
	0,2	0,15	0,1	0,05	0,01
1	0,900	0,925	0,950	0,975	0,995
2	0,684	0,726	0,776	0,842	0,929
3	0,565	0,597	0,642	0,708	0,828
4	0,494	0,525	0,564	0,624	0,733
5	0,446	0,474	0,510	0,565	0,669
6	0,410	0,436	0,470	0,521	0,618
7	0,381	0,405	0,438	0,486	0,577
8	0,358	0,381	0,411	0,457	0,543
9	0,339	0,360	0,388	0,432	0,514
10	0,322	0,342	0,368	0,410	0,490
11	0,307	0,326	0,352	0,391	0,468
12	0,295	0,313	0,338	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	0,252	0,274	0,295	0,328	0,392
17	0,250	0,266	0,286	0,318	0,381
18	0,244	0,259	0,278	0,309	0,371
19	0,237	0,252	0,272	0,301	0,363
20	0,231	0,246	0,264	0,294	0,356
25	0,210	0,220	0,240	0,270	0,320
30	0,190	0,200	0,220	0,240	0,290
35	0,180	0,190	0,210	0,230	0,270
>35	$\frac{1,07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,14}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{N}}$

ANNEXE

ANNEXE 02

Tableau – Distribution de Weibull : valeurs des coefficients a et b en fonction du paramètre de forme β

B	A	B	B	A	B	B	A	B
0,2	120	1 901	1,5	0,9027	0,613	4	0,9064	0,254
0,25	24	199	1,55	0,8994	0,593	4,1	0,9077	0,249
0,3	9,2625	50,08	1,6	0,8966	0,574	4,2	0,9086	0,244
0,35	5,291	19,98	1,65	0,8942	0,556	4,3	0,9102	0,239
0,4	3,3234	10,44	1,7	0,8922	0,54	4,4	0,9146	0,235
0,45	2,4686	6,46	1,75	0,8906	0,525	4,5	0,9125	0,23
0,5	2	4,47	1,8	0,8893	0,511	4,6	0,9137	0,226
0,55	1,7024	3,35	1,85	0,8882	0,498	4,7	0,9149	0,222
0,6	1,546	2,65	1,9	0,8874	0,486	4,8	0,916	0,218
0,65	1,3663	2,18	1,95	0,8867	0,474	4,9	0,9171	0,214
0,7	1,2638	1,85	2	0,8862	0,463	5	0,9162	0,21
0,75	1,1906	1,61	2,1	0,8857	0,443	5,1	0,9192	0,207
0,8	1,133	1,43	2,2	0,8856	0,425	5,2	0,9202	0,203
0,85	1,088	1,29	2,3	0,8859	0,409	5,3	0,9213	0,2
0,9	1,0522	1,17	2,4	0,8865	0,393	5,4	0,9222	0,197
0,95	1,0234	1,08	2,5	0,8873	0,38	5,5	0,9232	0,194
1	1	1	2,6	0,8882	0,367	5,6	0,9241	0,191
1,05	0,9803	0,934	2,7	0,8893	0,355	5,7	0,9251	0,186
1,1	0,9649	0,878	2,8	0,8905	0,344	5,8	0,926	0,165
1,15	0,9517	0,83	2,9	0,8919	0,334	5,9	0,9269	0,183
1,2	0,9407	0,787	3	0,893	0,316	6	0,9277	0,18
1,25	0,99314	0,75	3,1	0,8943	0,325	6,1	0,9266	0,177
1,3	0,9236	0,716	3,2	0,8957	0,307	6,2	0,9294	0,175
1,35	0,917	0,667	3,3	0,897	0,299	6,3	0,9302	0,172
1,4	0,9114	0,66	3,4	0,8984	0,292	6,4	0,931	0,17
1,45	0,9067	0,635	3,5	0,8997	0,285	6,5	0,9316	0,168
1,5	0,9027	0,613	3,6	0,9011	0,278	6,6	0,9325	0,166
1,55	0,8994	0,593	3,7	0,9025	0,272	6,7	0,9335	0,163
1,6	0,8966	0,574	3,8	0,9083	0,266	6,8	0,934	0,161
1,65	0,8942	0,556	3,9	0,9051	0,26	6,9	0,9347	0,15

Résumé

Le résultat de l'analyse de l'historique de l'exploitation des cinq (05) premières années des grues ENAFOR nous a permis de déceler les arrêts pour pannes dues à la mauvaise conception de certains systèmes.

Ces systèmes une fois identifiés permettront d'alimenter les contraintes des futurs cahiers des charges grues et améliorer leur disponibilité

Au terme de notre travail il en ressort que la grande majorité des arrêts pour pannes liés aux grues mobiles sont dus aux systèmes électriques.

En conclusion, nous sommes convaincus qu'une bonne rédaction des cahiers des charges pourrait améliorer la disponibilité des grues mobiles et nous croyons que l'utilisation des cahiers des charges fonctionnelles par les entreprises pourrait considérablement réduire l'occurrence des pannes.

abstract

As a result of analyzing history exploitation for the first five (5) years of ENAFOR cranes, it allowed us to discover and identify stations for faults due to poor design of some systems.

Once these systems are defined, it makes it possible to replenish the future tender of the crane and improve its availability.

At the end of our work, it turned out that the vast majority of interruptions related to mobile cranes were due to electrical systems.

In conclusion, we are convinced that writing a good condition book can improve the availability of movable cranes.

We believe that using the functional conditions book. By companies it can greatly reduce the incidence of failures.

خلاصة

نتيجة تحليل سجل الاستغلال لفترة خمس (5) سنوات الاولى لرافعات ENAFOR ، سمح لنا باكتشاف وتحديد محطات للأعطال بسبب التصميم السيئ لبعض الأنظمة.

بمجرد تحديد هذه الانظمة، يجعل من الممكن تغذية قيود دفتر الشروط المستقبلية للرافعة وتحسين توفرها.

في نهاية عملنا، اتضح أن اغلبية العظمى من حالات الانقطاع المتعلقة بالرافعات المتحركة بسبب الأنظمة الكهربائية.

وفي الختام، نحن مقتنعون ان كتابة دفتر شروط جيدة يمكن ان يحسن من توافر الرافعات المتحركة

ونعتقد ان استخدام دفتر الشروط الوظيفي. من قبل الشركات يمكن ان يقلل بشكل كبير من حدوث حالات الفشل.