

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Hydrocarbures et des Energies Renouvelables et Science de la Terre et de l'Univers



N° Série :

Mémoire de fin d'études pour l'obtention de diplôme

MASTER PROFESSIONAL

Option : mécanique des chantiers pétroliers

Présenté Par :

1-MOUHED Bilal 2-LAMOURI Nadir 3-MASMOUDI Nadir

Thème :

**Étude et Amélioration de la maintenance (FMD) de la
pompe à boue (IDECO 800)**

Soutenu publiquement le : 29/05/2017

Devant le jury composé de :

Président :	S .LAANI	UKM, Ouargla
Examineur :	R.FROUHAT	UKM, Ouargla
Promoteur :	M .A.BENSACI	UKM, Ouargla

Année universitaire : 2016/2017

Remerciements

L'élaboration de ce modeste travail n'a été possible qu'avec le concours d'un bon nombre de personnes.

A cet effet, nous exprimons toutes nos reconnaissances et gratitude a :

- L'administration de l'université Kasdi Merbah Ouargla et au corps enseignant du département de forage et de mécanique des chantiers pétroliers qui nous ont aidé durant nos études.
- M. Bensaci, professeur qui a bien voulu nous encadrer ; les conseils qu'il nous a prodigué, la patience et la confiance qu'il nous a témoignés ont été déterminants dans notre travail de recherche.
- Aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre ouvrage de recherche en examinant et en enrichissant le contenu par leurs propositions.
- Tous nos parents pour leur contribution, leur disponibilité et leur soutien constant.
- Tous nos proches et amis, qui nous ont toujours encouragés au cours de la réalisation

Liste des figures

Figure I.1	Le mât de l'appareil de forage	4
Figure I.2	Substructure	5
Figure I.3	Description d'un appareil de forage.	6
Figure I.)	Poste de commande et de contrôle	7
Figure I.5	Schéma de fonctions du circuit de boue sur un appareil de forage.	9
Figure II.1	Bâti	12
Figure II.2	Couple d'engrenage	12
Figure II.3	Arbre à grande vitesse	13
Figure II.4	Arbre à petite vitesse	13
Figure II.5	Système bielle-manivelle	14
Figure II.6	Crosse et rallonge de crosse	14
Figure II.7	Roulement de bielle	15
Figure II.8	Moteur électrique	16
Figure II.9	Poulies et courroies	16
Figure II.10	Piston et la tige de piston	18
Figure II.11	Chemise	18
Figure II.12.a	Siège	19
Figure II.12.b	Clapet	19
Figure II.13	Amortisseur de pulsations Sur l'aspiration	20
Figure II.14	Amortisseur de pulsations Sur le refoulement	20
Figure II.15	L'amortisseur de pulsations	21
Figure II.16.a	Soupape de décharge à clou	22
Figure II.16.b	Soupape de décharge à ressort	22
Figure II.17	Principe de fonctionnement de la pompe à boue triplex à simple effet.	23
Figure II.18	Les pompes de suralimentation	24
Figure III.1	Les trois périodes de la courbe en baignoire avec les différentes valeurs de β .	38
Figure III.2	Graphique d'Alain Platt	39
Figure III.3	Allure d'un taux de défaillance « en baignoire ».	39
Figure III.4	Description du papier de Weibull	41
Figure III.5	Chronologie des temps des activités de maintenance	43
Figure IV.1	Paramètres loi de Weibull en logiciel LAALA	49
Figure IV.2	Le Graphe du papier de Weibull	50
Figure IV.3	Exemple du modèle du graphe	56
Figure IV.4	Graphe de fonction Densité de probabilité	57
Figure IV.5	Graphe de fonction de réparation	58
Figure IV.6	Graphe de fonction du taux de défaillance	59
Figure IV.7	Graphe de la fonction de Fiabilité	60
Figure IV.8	Graphe fonction de maintenabilité	61
Figure IV.9	Graphe de la fonction de disponibilité	62

Liste des tableaux

Tableau II.1	Maintenance préventive de la pompe à boue triplex à simple effet	25-26-27
Tableau II.2	Pannes de la pompe à boue et leurs remèdes	28-29-30-31
Tableau III.1	Test de Kolmogorov Smirnov: valeurs de $D_{N\alpha}$	42
Tableau IV.1	Dossier Historique des pannes (pompe à boue “Enafor 47”)	47
Tableau IV.2	Application du modèle de Weibull	48
Tableau IV.3	Test de Kolmogorov Smirnov	51
Tableau IV.4	Étude de modèle de Weibull	53
Tableau IV.5	De la maintenabilité	54
Tableau IV.6	De la disponibilité	55

Nomenclatures

Symbole	Désignation	Unité
λ	Taux de défaillance	Défaillance/Heure
MTBF	Moyenne de temps de bon fonctionnement	Heure
f(t)	Fonction de densité de probabilité	
t	Temps	Heure
β	Paramètre de forme	
η	Paramètre de d'échelle	
γ	Paramètre de position	
F(t)	Fonction de répartition	
R(t)	Fonction de fiabilité	
A	Constant	
Δt	Différences de temps	Heure
TBF	Temps de bon fonctionnement	Heure
Ln	Logarithme	
MUT	Mean up time	Heure
Fe (ti)	Fonction théorique	
N	Nombre de panne	
n	Nombre de dispositifs en essai	
$D_{n,max}$	Valeur absolu maximale	
D_N	Valeur absolu	
T	Duré de l'essai	Heure
K	Nombre entier	
α	le niveau significatif du test	
i	Défaillance	
T_f	Durée de	Heure
M(t)	fonction de maintenabilité	
μ	taux de réparation	Int/Heure
Exp	Exponentielle	
MTTR	Moyenne des temps technique de réparation	Heure
D_i	Disponibilité intrinsèque	
D(t)	Disponibilité instantanée	
TTR	Temps technique de réparation	Heure

Remerciements.....	I
Liste des figures.....	II
Liste des tableaux.....	III
Nomenclature.....	IV

SOMMAIRE

Introduction	1
--------------------	---

Chapitre I : Description d'un appareil de forage

I.1. Introduction.....	3
I .2. Les différents équipements d'un appareil de forage	4
I.2.1. Les équipements de levage.....	4
I.2.2. Les équipements de rotation.....	7
I.2.3. Les équipements de pompage.....	7
I.3. Aperçu sur le fluide de forage	8
I.3.1. Le fluide de forage	8
I.3.2. Rôle du fluide de forage.....	8
I.3.3. Différents types et composants de fluide de forage (la boue).....	8
I.3.4. Fonctionnement du circuit de boue « basse pression ».....	8

Chapitre II : Généralité sur la pompe à boue

II.1. Introduction.....	11
II.2. Description de la pompe à boue triplex à simple effet.....	11
II.3. Construction de la pompe à boue triplex à simple effet.....	11
II.3.1. Le compartiment mécanique.....	11
II.3.2. Le compartiment hydraulique.....	17
II.3.3. Annexe de la pompe triplex à simple à effet.....	19
II.3.3.1. Les amortisseurs de pulsation	19
II.3.4. Principe de fonctionnement de la pompe à boue et débit instantané.....	22
II.3.4.3. Les pompe de suralimentation.....	23
II.3.5. Avantages et inconvénients de la pompe à boue triplex à simple effet.....	24
II.5. Maintenance de la pompe à boue triplex à simple effet.....	25
II.5.1. Maintenance préventive de la pompe à boue triplex à simple effet.....	25
II.5.2. Maintenance corrective de la pompe à boue triplex à simple effet.....	27
II.5.3. Méthode de lancement des travaux de réparation de la pompe à boue.....	31
II.5.4. Montage et démontage de la pompe à boue	32
II.5.4.1. Démontage de la pompe à boue.....	32

II.5.4.2. Remontage de la pompe à boue.....	33
---------------------------------------------	----

Chapitre III: Généralité sur la fiabilité, maintenabilité et disponibilité

III.1. Introduction.....	35
III.2. Concept de la fiabilité.....	35
III.2.1. La fiabilité	36
III.2.2. Indicateurs de fiabilité (λ) et (MTBF).....	36
III.2.3. Les différents sorts de la fiabilité.....	36
III.2.4. Analyse de la fiabilité	36
III.2.4.1. Loi de Weibull.....	36
III.2.4.2. Caractéristiques de la loi de Weibull.....	37
III.2.5. Signification des paramètres.....	38
III.2.6. Structure du papier de Weibull.....	40
III.2.6.1. Description de papier fonctionnel de Weibull.....	41
III.2.6.2. Application du modèle de Weibull	43
III.3. La maintenabilité.....	43
III.3.1. Définition de la maintenabilité.....	43
III.3.2. Caractéristiques de la maintenabilité.....	44
III.4. La disponibilité.....	44
III.4.1. Définition de la disponibilité.....	45
III.4.2. Les différentes sortes de disponibilité.....	45

Chapitre IV : Application et analyse des résultats

IV.1. Introduction.....	47
IV.2. Exploitation de l'historique.....	47
IV.2.1.1. La fiabilité.....	48
IV.2.1.1.a. Application du modèle de Weibull.....	48
IV.2.1.1.b. Test de Kolmogorov-Smirnov.....	50
IV.2.1.1.c. Calcul de $R(t)$, $f(t)$, (λ) et $F(t)$ lorsque $t = \text{MTBF}$	52
IV.2.1.1.d. Étude de modèle de Weibull.....	53
IV.2.2. La maintenabilité.....	53
IV.2.3. La disponibilité.....	54
IV.3. Analyse des résultats.....	56
Conclusion.....	62
Annexes.....	63
Bibliographie.....	V
Résumé.....	VI

INTRODUCTION

Mondialement les hydrocarbures restent et peuvent être pour longtemps l'énergie la plus performante, et constituent la plus importante source d'énergie et d'économie de notre époque.

Pour exploiter les hydrocarbures le sondage est le seul moyen pour atteindre le réservoir et extraire le pétrole ou le gaz avec un prix de revient le plus minimal possible et dans des meilleures conditions de sécurité.

Dans un forage de pétrole ou de gaz on trouve le système de circulation d'un liquide qui est généralement la boue de différentes natures afin d'absorber la chaleur dégagée lors du frottement de l'outil de forage avec les roches pour le refroidir et de faire monter les déblais des roches vers la surface par circulation en recyclage. Cette circulation nécessite l'utilisation d'un équipement qui est la pompe volumétrique appelée pompe à boue qui assure un débit important et avec une grande pression.

Par là, elle fera l'objet de ce mémoire de fin d'étude qui aura pour but de faire une étude sur la maintenance (FMD) d'une pompe à boue triplex à simple effet et essayer d'améliorer sa maintenance en utilisant les trois facteurs de maintenance la fiabilité, maintenabilité et la disponibilité et pour cela on suggère le plan de travail suivant :

- Le premier chapitre présente une description Générale de l'appareil de forage sous nom "*Description de l'appareil de forage* ",
- le deuxième chapitre offre une présentation détaillée de notre équipement sous "*Généralité sur la pompe à boue* ", cette présentation expose (la définition, le principe de fonctionnement, les éléments constructives, et la maintenance générale de cet équipement).
- le troisième chapitre décrit une étude théorique de la maintenance (FMD) sous "*Étude théorique de la maintenance (FMD)*", pour l'équipement étudié on a cité toutes les informations et les données qui sont nécessaires et disponibles.
- le quatrième chapitre expose l'application pratique de cette étude sur l'équipement étudiée sous "*Application et Analyse des résultats* ".

Enfin, Ce mémoire a pour but d'aider les interlocuteurs de maintenance dans la mission de maintien de leurs équipements dans un état souhaité.



Chapitre I:

Description d'un appareil de forage

I.1. INTRODUCTION:

L'appareil de forage, ou plus globalement un chantier de forage est constitué d'un ensemble regroupant :

- Production d'énergie primaire.
- Les magasins stockages des produits consommables.
- Les abris de chantier.
- Le pompage et les bacs.

La classification d'un appareil de forage se fait en premier approche par la capacité de profondeur de forage maximale :

- Appareils légers1500 m jusqu'à 2000 m ;
- Appareils moyens.....3500 m ;
- Appareils lourds6000 m ;
- Appareils super lourds.....8000 m jusqu'à 10000 m.

Ces performances de profondeur se traduisent par un poids au crochet de levage compte tenu des poids des garnitures et de casings.

En prenant en compte les temps de manœuvres communément accepté. On peut évaluer la puissance maximale que devra développer le treuil de forage (drawwork).

C'est pour cela que dans la profession lorsque l'on veut déterminer un appareil de forage, on ne s'intéresse qu'à la puissance du treuil. Cette caractéristique rejoint la classification en profondeur et est même explicitée d'une manière très pragmatique par les anglo-saxons par la règle du poids suivant : pour 100 pieds de forage, il faut 10 hp de puissance au treuil. Pour les catégories citées plus haut cela donne donc :

- Appareil légers65 hp ;
- Appareil moyens.....1300 hp ;
- Appareil lourds.....2000 hp ;
- Appareil super lourds.....3000 hp.

Les autres fonctions (pompage, rotation) sont dimensionnées par rapport au programme de forage et de tubage, classique d'un puits à la profondeur désignée.

I.2. Les différents équipements d'un appareil de forage :

I.2.1. Les équipements de levage :

Ils sont principalement composés de :

- La structure de la tour de levage ;
- Le câble de forage ;
- Le treuil de forage ;
- Le poste de commande et de contrôle.

I.2.1.1. La structure de la tour de levage :

I.2.1.1.a. Le mât :

Le mat (figure I.1) est une structure en forme de A très pointu. Il a la particularité d'être articulé à sa base ce qui lui permet d'être assemblé ou démonté horizontalement puis relevé en position verticale en utilisant le treuil de forage et un câble de relevage spécial. Cette tour de forage est parfaitement adaptée aux appareils de forage terrestre nécessitant une grande mobilité. La passerelle d'accrochage est en porte-à-faux et le gerbage se fait sur un plancher indépendant de la structure du mat. [2]

Les spécifications techniques du mat de l'appareil de forage sont :

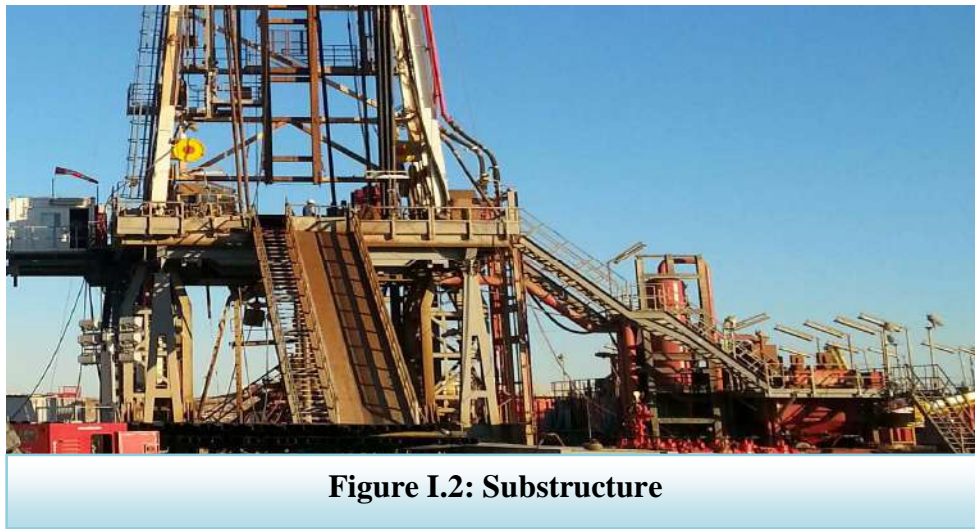
- Charge au crochet maximal compte tenu du mouflage ;
- Hauteur libre dans le mât ;
- Largeur à la base ;
- Résistance au vent avec et sans garniture gerbée.



Figure I.1: Le mât de l'appareil de forage

1.2.1.1.b. Les substructures:

Ces constructions (figure I.2) répondantes au besoin de surélévation du plancher de forage pour laisser la place aux empilages de têtes de puits ainsi que le BOP. La plupart des mats de moyenne capacité font partie d'un ensemble de levage avec élévation structure ou les planchers du treuil et du gerbage sont repliés au sol grâce à des poutrelles articulées en parallélogramme. Une fois le mat relevé grâce au treuil, le plancher est déplié en utilisant toujours la traction sur le câble de forage. [2]



1.2.1.1.c. Moufle fixe ou crow-block :

C'est l'ensemble des poulies sur lequel passe le câble. Il est supporté par la plateforme supérieure de la tour de forage. [2]

1.2.1.1.d. Moufle mobile et crochet :

Ils sont en général dits intégrés, c'est-à-dire que l'ensemble des poulies et du crochet sont assemblés d'une manière compacte. Le crochet comporte un amortisseur pour limiter les chocs à la reprise de la charge et faciliter le vissage des connexions. Aux deux oreilles latérales sont suspendus les bras de l'élévateur. [2]

1.2.1.1.e. brins morts :

L'ancrage du câble de forage se fait sur un réa spécifique qui permet de mesurer la tension sur cette extrémité et autorise également l'introduction dans le système d'une certaine longueur de câble neuf afin de déplacer les points d'usure sur les poulies du crow-block ou du moufle mobile. Cette opération de "filage" suivie par une coupe permet de prolonger la durée de vie du câble. [2]

1.2.1.1.f. Brin actif :

C'est l'extrémité du câble qui s'enroule sur le tambour du treuil. [2]

I.2.1.2. Le câble de forage :

Les câbles des appareils de forage sont à âme métallique sur laquelle on câble six torons constitués de fil d'acier. Le câblage des fils de torons est en général de sens inverse du câblage des torons sur ce qui donne un câble plus raide mais quelque anti giratoire. On trouve deux configurations usuelles ainsi que des références de résistance à la rupture. Les diamètres sont variables avec la classe de l'appareil mais généralement ne dépasse pas 1.5 pouce. Le câble de forage nécessite une surveillance attentive et pour quantifier la fatigue qu'il peut subir. [2]

I.2.1.3. Treuil de forage (drawworks) :

C'est le cœur de l'appareil de forage, comme nous l'avons vu précédemment c'est la capacité du treuil qui caractérise un chantier et indique la classe de profondeur des forages que l'on pourra effectuer. [2]

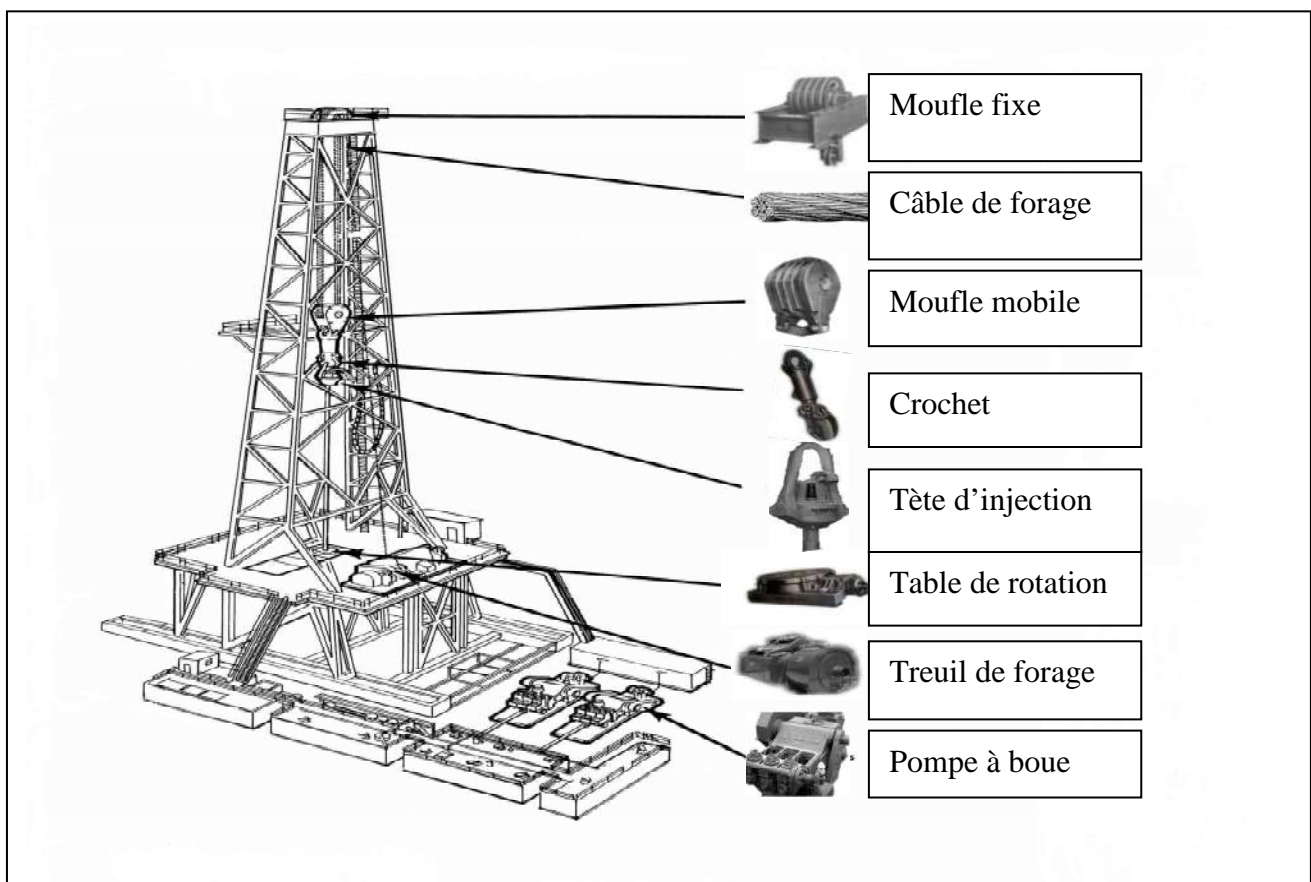


Figure I.3: Description d'un appareil de forage

I.2.1.4. Le poste de commande et de contrôle :

Le poste de commande et de contrôle (figure I.4) seul le chef de poste œuvre aux commandes de tous les



équipements de forage. La commande principale est le levier de frein. Le chef de poste contrôle et régule la descente du crochet de forage par action sur ce frein. [2]

Figure I.4: Poste de commande et de contrôle

I.2.2. Les équipements de rotation :

I.2.2.a. La table de rotation :

C'est un organe mécanique très simple et ne nécessite que très peu de maintenance, ce qui le rend très attrayant pour les conditions de travail en forage. La motorisation de la table se fait par l'intermédiaire d'une roue dentée et chaîne soit à partir du treuil (on dispose donc des rapports de la boîte de vitesse) soit, sur les appareils lourds, par moteur électrique indépendant de la transmission du treuil. [2]

I.2.2.b. La tige d'entraînement (Kelly) :

De section carrée, hexagonale ou triangulaire, elle est entraînée en rotation par la table et par l'intermédiaire du carré monté autour de sa longueur courante. Ce carré constitué de quatre rouleaux à axe horizontal de forme approprié pour transmettre le couple à la tige et par conséquent à la garniture de forage vissée sous le raccord inférieur. [2]

1.2.2.c. La tête d'injection :

C'est le composant qui est suspendu par son anse au crochet de levage. Il doit être conçu à la fois pour la charge maximale de garniture et pour la vitesse de rotation maximale. D'autre part. Un joint d'étanchéité relatif permet l'injection sous pression du fluide de forage par le flexible relié au col du cygne de la tête d'injection. [2]

1.2.3. Les équipements de pompage :

1.2.3.a. Pompe de forage :

Les pompes de forage doivent fournir le débit nécessaire aux phases de forage le choix de ce débit sera fait par l'ingénieur de forage. [2]

1.3. Aperçu sur le fluide de forage :

1.3.1. Le fluide de forage :

Le fluide de forage doit avoir des propriétés telles qu'il facilite, accélère le forage, favorise ou tout au moins ne réduise pas d'une manière sensible et permanente les possibilités de production des sondages. Le fluide de forage est la première barrière de sécurité dans forage. [1]

1.3.2. Rôle du fluide de forage:

- Nettoyage du puits ;
- Maintien des déblais en suspension ;
- Sédimentation des déblais fins en surface ;
- Refroidissement et lubrification de l'outil et du train de sonde ;
- Prévention du cavage et des resserrements des parois du puits ;
- Dépôt d'un cake imperméable ;
- Prévention des venues d'eau, de gaz, ou d'huile ;
- Augmentation de la vitesse d'avancement ;
- Entraînement de l'outil ;
- Diminution du poids apparent du matériel de sondage;
- Apport de renseignements sur le sondage. [1]

1.3.3. Différents types et composants de fluide de forage :

On classe habituellement les fluides en fonction de la phase continue et de la phase qui y est dispersée.

1.3.3.a. Boue bentonitique :

Le constituant de base est la bentonite plus l'eau et carbonate. Il s'agit ici essentiellement d'une boue de démarrage, donc un gros diamètre, avec des avancements rapides et des pertes en surface importantes, imposant de grosses fabrications journalières. [1]

I.3.3.b. Boue à l'huile :

Le constituant de base est l'huile, dont les spécifications dépendent de l'émulsifiant utilisé et les réducteurs de filtrat plus les viscosifiants utilisés pour augmenter la viscosité de la boue ainsi les agents mouillants ce sont des tensio-actif utilisés pour favoriser mouillabilité à l'huile des solides. [1]

I.3.4. Fonctionnement du circuit de boue « basse pression » :

Le circuit de boue »basse pression »(BP) est constitué de toute l'installation de boue depuis la sortie du puits jusqu'à l'aspiration des pompes haute-pression(HP) refoulant dans le puits. [1]

Dans l'ordre chronologique, les principales fonctions (figure I.5) à assurer sont :

- le tamisage ;
- la décantation ;
- le dessablage-désilage ;
- les traitements particuliers d'élimination des solides ;
- la fabrication-le brassage-le stockage ;
- la suralimentation des pompes (HP) et les transferts ;
- les mesures.



Figure I.5 : Schéma de fonctions du circuit de boue sur un appareil de forage

I.4. Conclusion :

Ce chapitre consiste à démontrer les divers équipements qui constituent l'appareil de forage. Le bon du forage dépend de tout un chacun d'où une attention particulière doit être accordée à ces équipements pour une parfaite harmonie ; celle-ci s'impose à l'effet d'éviter de rompre la chaîne d'exploitation du forage.

A photograph of an industrial site, likely a mill, showing a large blue pump assembly. The pump is mounted on a concrete base and has several pipes connected to it. A worker in a blue uniform and white hard hat is standing next to the pump, possibly inspecting or working on it. In the background, there are other industrial structures, including a building with the text "MILL SUPPLY" visible. The scene is outdoors and appears to be a maintenance or operational area.

Chapitre II: Généralité sur la pompe à boue

II.1. Introduction :

Dans le forage, la pompe à boue est l'élément principal du système de circulation. Une bonne installation de pompage doit assurer une vitesse de remontée des déblais suffisante pour éviter leur décantation et une pression de refoulement suffisante pour vaincre les pertes de charges dans le circuit.

En dehors de sa puissance et son débit, une pompe doit être souple, robuste et facile à entretenir. Les pompes de forage peuvent être de type duplex à double effet ou triplex à simple effet. Les pompes à boue les plus utilisées dans les chantiers de forage sont les pompes triplex à simple effet.

Dans ce chapitre nous allons vous présenter la construction, le principe de fonctionnement et la maintenance de la pompe à boue triplex à simple effet.

II.2. Description de la pompe à boue triplex à simple effet :

C'est une pompe volumétrique alternative à piston à mécanisme bielle-manivelle, de type triplex à simple effet, pour ce type les manivelles sont décalées à 120° , et le nombre de clapet est de 6 (3 à l'aspiration et 3 au refoulement). [3]

II.3. Construction de la pompe à boue triplex à simple effet:

Comme toutes les pompes à piston à simple effet elles sont constituées de deux compartiments principaux :

- Le compartiment mécanique qui sert à transformer le mouvement de rotation au mouvement de translation alternatif communiqué au piston ; [4]
- Le compartiment hydraulique est l'ensemble de tous les éléments qui permettent la circulation du fluide de forage. [5]

II.3.1. Le compartiment mécanique :

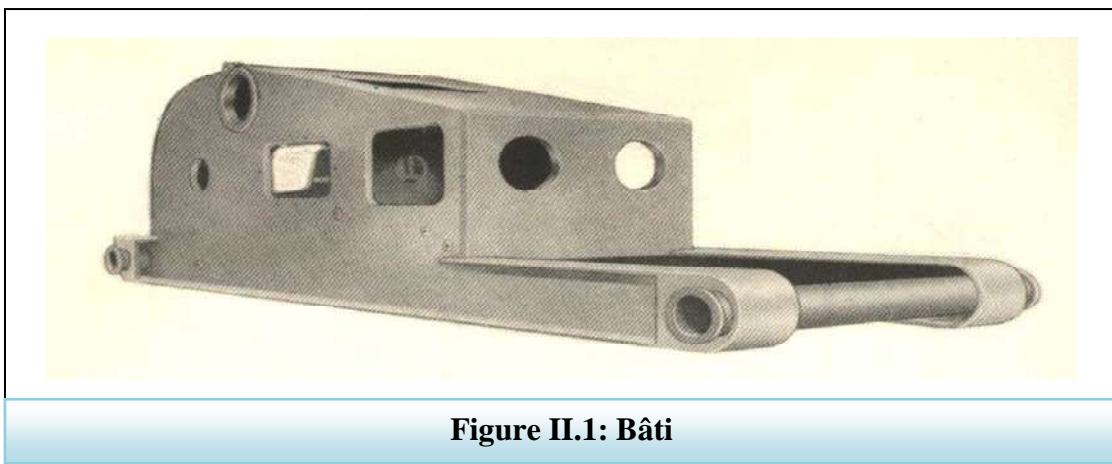
Le compartiment mécanique d'une pompe à boue représente la partie la plus importante de la valeur d'achat, il doit être robuste et permettre une longue période de service sans entretiens importants en dehors de la lubrification. Le compartiment mécanique de la pompe se compose des sous ensembles suivants : [4]

- Bâti ;
 - Couple d'engrenage ;
 - Arbre à grande vitesse ;
 - Arbre à petite vitesse ;
 - Système bielle- manivelle ;
 - La crosse et la rallonge de crosse ;
-

- Roulements ;
- Système d'entraînement (chaîne + pignon + roue dentée) ;
- Système de lubrification.

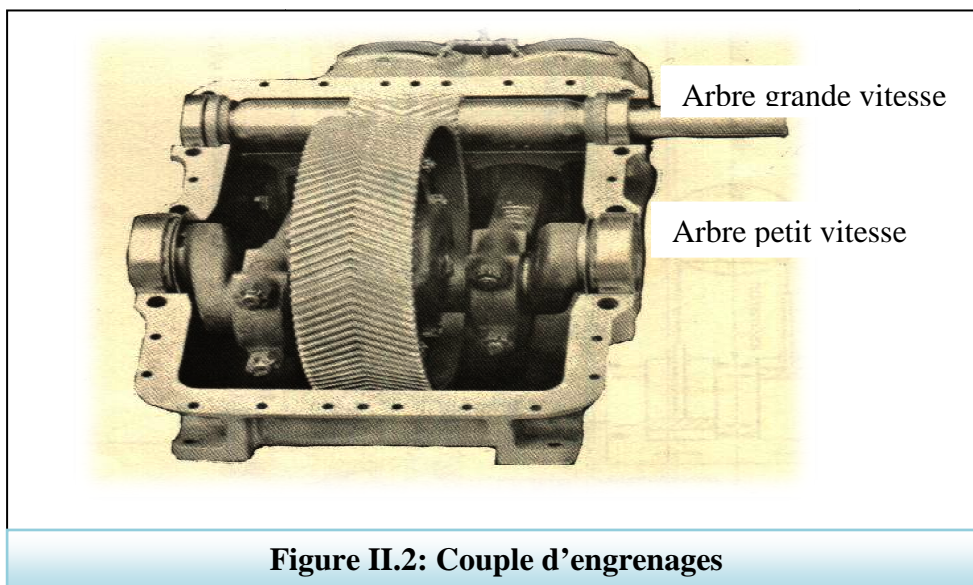
II.3.1.a. Bâti :

Il est en acier moulé de haute résistance ou en tôle d'acier assemblé par mécano- soudure. Le skid et le bâti sont intégrés. Le bâti (figure II.1) sert de carter pour l'huile de graissage, il doit donc être étanche et permettre un contrôle rapide du niveau et une vidange facile de l'huile. Un couvercle supérieur et des portes de visite latérales permettent d'effectuer rapidement et facilement l'inspection ou les réglages nécessaires, afin de prévenir des troubles futurs. [4]



II.3.1.b. Couple d'engrenages (figure II.2) :

- Arbre à grande vitesse (arbre d'attaque de la pompe) ;
- Arbre à petite vitesse (arbre manivelle).



II.3.1. b.1. Arbre à grande vitesse :

C'est l'arbre d'entraînement de la pompe (figure II.3), celui sur lequel sont accouplés les moteurs d'entraînement, entraînement qui peut être réalisé par moteurs électriques et transmissions ou par poulies entraînées par courroies depuis le compound.

Cet arbre est supporté par deux paliers à roulement ; il entraîne par l'intermédiaire du pignon à denture oblique (chevron) le pignon de l'arbre vilebrequin à petite vitesse. [4]

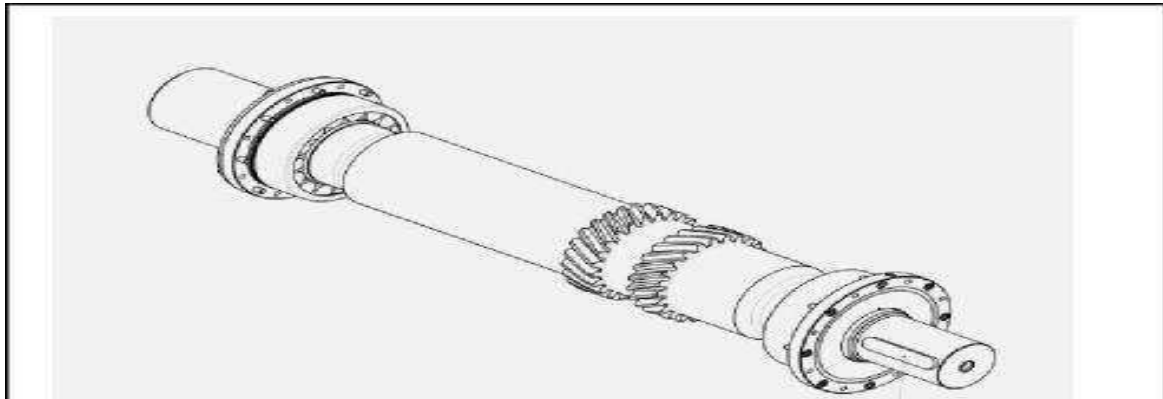


Figure II.3 : Arbre à grande vitesse

II.3.1. b.2 .Arbre à petite vitesse :

L'arbre (figure II.4) à une forme coudée (excentrique) pour permettre le décalage des courses du piston dans les chemises (ce décalage est de 120° pour les triplex). [4]

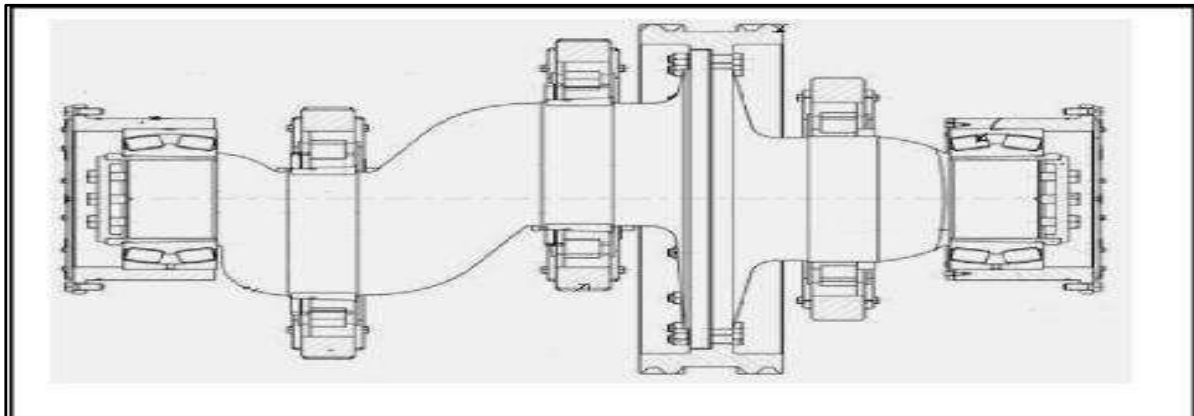


Figure II.4: Arbre à petite vitesse

II.3.1.c. Système bielle-manivelle :

Sur le vilebrequin sont montées trois (3) bielles (figure II.5) pour les pompes triplex à simple effet. Les têtes des bielles sont montées sur le vilebrequin, les pieds des bielles sur les crosses. L'articulation de ces dernières sur les crosses se fait par l'intermédiaire des roulements. [4]

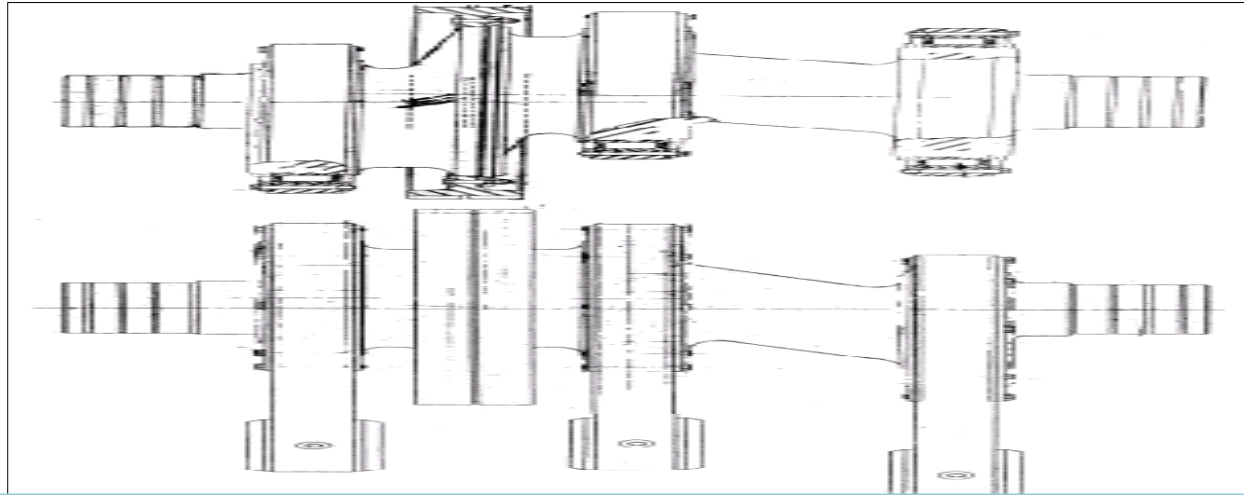


Figure II.5: Système bielle-manivelle

II.3.1.d. La crosse et la rallonge de crosse :

Les croses montées sur les pieds des bielles par l'intermédiaire de roulements sont guidées par des tuiles. Sur les croses viennent se visser les rallonges des croses (figure II.6) qui permettront la liaison avec les tiges de pistons. Cette liaison est réalisée par l'intermédiaire de clamps (colliers de serrage) pour les pompes triplex. [4]

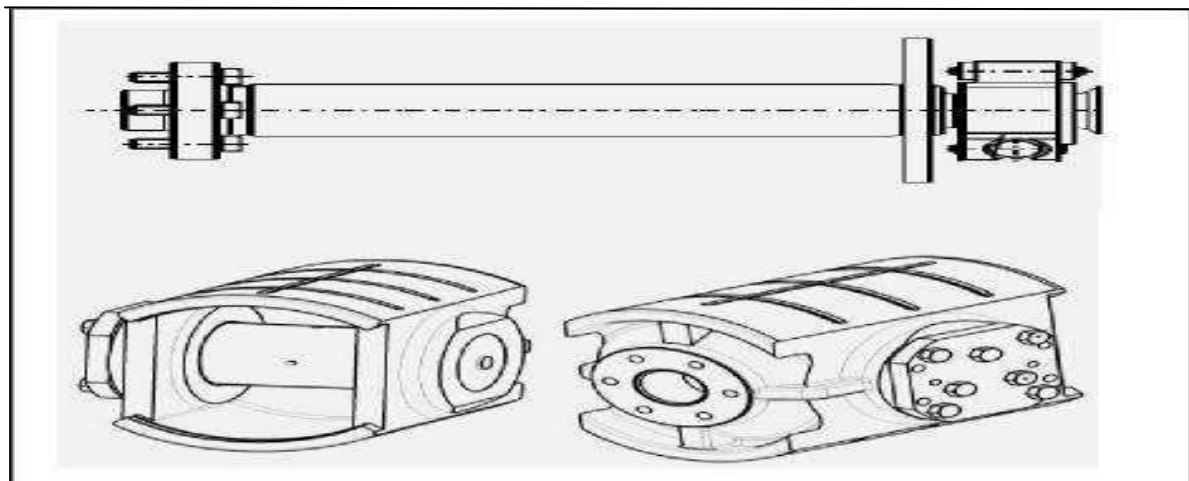


Figure II.6: La crosse et la rallonge de crosse

II. 3.1.5. Roulements :

II. 3.1.5.a. Les roulements des bielles :

Sont des roulements à rouleaux cylindriques jointifs (figure II.7), ils supportent des charges radiales et axiales élevées et importantes. [4]

- Fiabilité des fonctions accrue ;
- Durée de service prolongée.

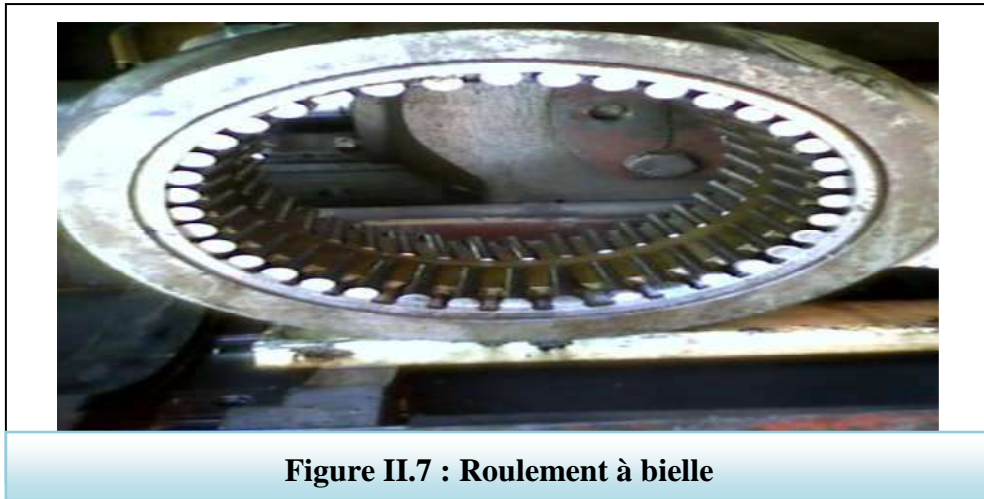


Figure II.7 : Roulement à bielle

II.3.1.5.b. Les roulements des crosses :

Sont des roulements à aiguilles, qui ont les avantages suivants :

- Roulements de très faible section dotée d'une capacité de charge relativement élevée ;
- Utilisation sans bagues intérieures ;
- Assurent un montage optimal lorsqu'on peut tremper et rectifier les arbres ;
- Ils sont peu encombrants radialement ;
- Ils supportent uniquement de la charge radiale.

II .3.1.5.c. Les roulements de l'arbre grand vitesse :

Roulement à rotule sur rouleaux, ils ont les avantages suivants :

- Fonctionnement à faible température et à vitesse relativement élevée ;
- Supporte des charges relativement importantes ;
- Grande longévité.

II .3.1.5.d. Les roulements de l'arbre à petite vitesse (vilebrequin) :

Roulement à rouleaux coniques, ils ont les avantages suivants :

- Frottement largement réduit ;
- Capacité de charge accrue.

II.3.1.6. Système d'entraînement :

Il en existe deux types :

- Soit par moteurs électriques,
- Soit par poulies et courroies (ou chaînes).

II.3.1.6.a. Entraînement par moteurs électriques :

Deux moteurs (figure II.8) sont montés sur le skid de la pompe et entraînent par l'intermédiaire de pignons et de chaînes, l'arbre grande vitesse de la pompe. Les pignons et leurs

chaînes sont enfermés dans des carters étanches, un système de lubrification par pompe entraînée par moteur électrique assure le graissage par arrosage de l'ensemble. [4]



Figure II.8: Moteur électrique

II.3.1.6.b. Entraînement par poulies et courroies :

Sur l'arbre à grande vitesse, une poulie à gorge pour courroie trapézoïdale est clavetée, elle est entraînée par une poulie de même type, (figure II.9) plus petite pour respecter un rapport de vitesse donné, située sur la compound. C'est le système d'entraînement utilisé sur les appareils mécaniques ou sur les unités de pompage indépendantes. [4]



Figure II.9: Poulies et courroies

II.3.1.7. Système de lubrification :

La longévité d'une pompe dépend de son mode de graissage et de la qualité du lubrifiant. La pompe à boue triplex à simple effet est munie d'une pompe à pignon à l'intérieur du carter. Cette pompe aspire l'huile de graissage (type d'huile) du carter, et la refoule vers les organes à graisser (roulement, palier, glissière ...etc.). La pompe de graissage est entraînée directement par

la transmission de mouvement de rotation de la couronne ainsi l'huile de graissage est acheminée dans la conduite à travers un filtre cartouche.

La transmission nécessite aussi une intensité de lubrification suite au travail des chaînes, et des pignons. Sa lubrification se fait à partir d'une pompe à pignons entraînée par un moteur électrique.

Le carter de chaîne est muni d'un orifice fermé par un bouchon permettant de contrôler le niveau d'huile (indicateur de niveau). [4]

II.3.2. Le compartiment hydraulique :

Ces pompes comportent trois cylindres. Elles sont à simple effet (la boue est aspirée et refoulée par un seul côté du piston). Chaque cylindre est composé : [5]

II.3.2.a. Le corps hydraulique :

Il est en acier moulé, fixé sur le skid et au carter de la partie mécanique de la pompe, il sert de logement, pour les pièces d'usure, la chemise, clapets et les tiges des pistons.

Le corps est obturé par des couvercles filetés et des portes des couvercles boulonnées à la partie supérieure où l'on trouve un collecteur de refoulement qui lie entre les sorties de refoulement, et ces couvercles qui maintiennent ou protègent les clapets, ils sont vissés ce qui augmente la rapidité de démontage et remontage. [5]

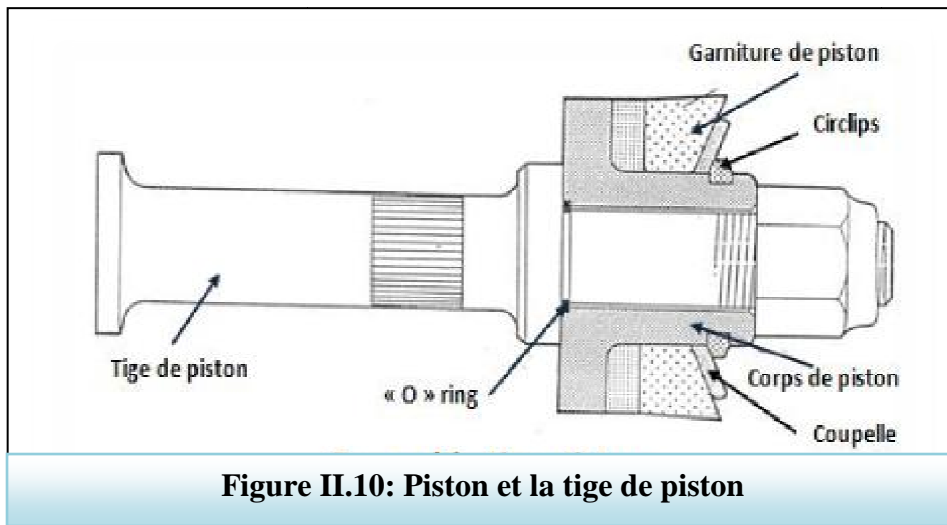
II.3.2.b. Le piston et la tige de piston :

Dans les pompes triplex ; le piston est monté avec une seule garniture (cycle simple effet), une coupelle et un circlips en assure la fixation sur le corps (figure II.10).

Très simple et sans traitement, le corps du piston a un alésage cylindrique qui permet un montage et surtout un démontage aisé. (Un simple joint torique assure l'étanchéité). [5]

La tige de piston classique est éliminée pour être remplacée par une tige courte et légère dont les caractéristiques principales sont :

- L'absence de finition extérieure puisqu'il n'y a plus de presse-étoupe ;
- L'absence de filetage d'extrémité côté rallonge de crosse remplacé par un talon et un clamp de montage et démontage aisé ;
- Le poids et les dimensions faibles ;
- Une durée de vie très longue (absence de presse-étoupe) ; Un remplacement très aisé de l'ensemble piston et tige de piston.



II.3.2.c. Chemise :

Les chemises des pompes (figure II.11) sont des pièces usinées avec grande précision. La paroi intérieure est traitée pour lui donner une grande dureté superficielle et la résistance à l'usure désirée. Ces chemises sont enfilées dans le corps de la pompe et maintenues en place par des dispositifs qui diffèrent légèrement selon les constructeurs. [5]



Figure II.11: Chemise

II.3.2.d. Les sièges et les clapets :

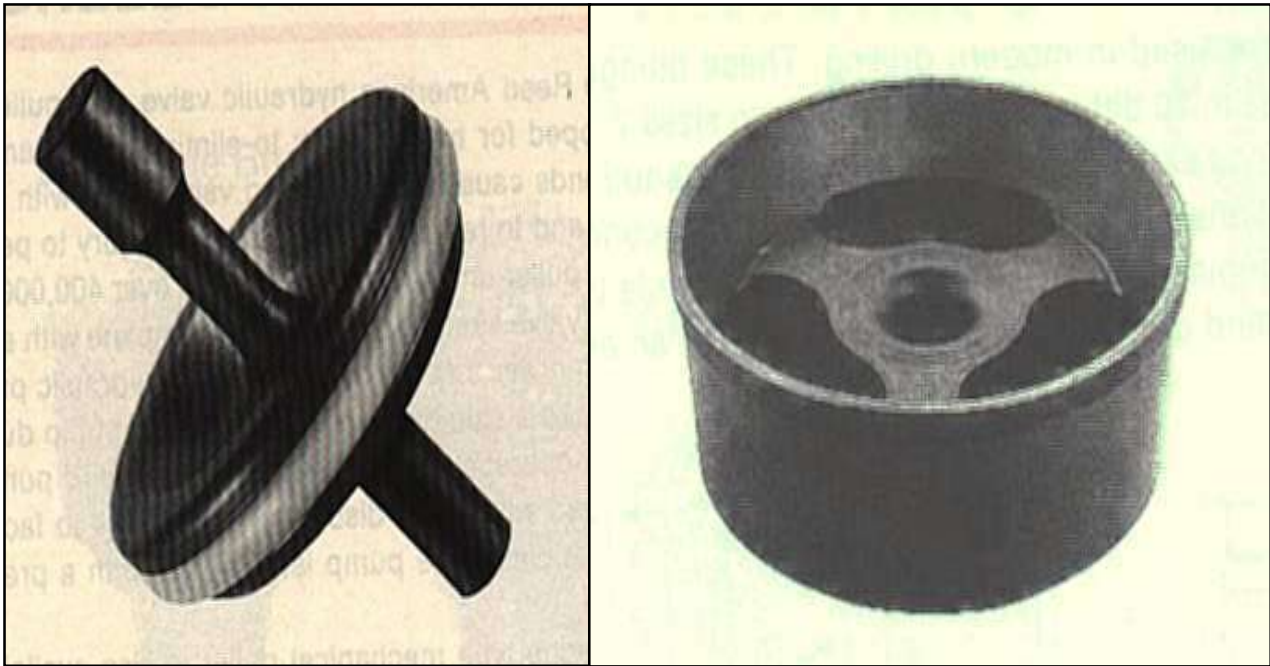


Figure II.12.a : Siège

Figure II.12.b : Clapet

L'ensemble comprend le siège (figure II.12.a), et le clapet composé du corps, de la garniture, et de son système de fixation, un ressort de rappel et deux guides, l'un en haut et l'autre en bas. Le guide inférieur du clapet est à une ou à plusieurs branches, ou simplement cylindrique

En fonction du type de siège. L'étanchéité est assurée par une poutre conique rectifiée du clapet et du siège, une garniture en caoutchouc complète l'étanchéité. Cette garniture se trouve soit sur le Clapet, soit sur le siège. Le fonctionnement du clapet (figure II.12.b) se fait par la différence de pression. Le ressort facilite le retour du clapet sur son siège.

II.3.3. Annexe de la pompe triplex à simple à effet :

Les pompes de forage comportent les équipements auxiliaires suivants :

- A l'aspiration, un amortisseur de pulsation et un autre amortisseur de pulsation au refoulement,

Une soupape de sécurité pour protéger le circuit contre les fluctuations et les augmentations brusques de pression. [1]

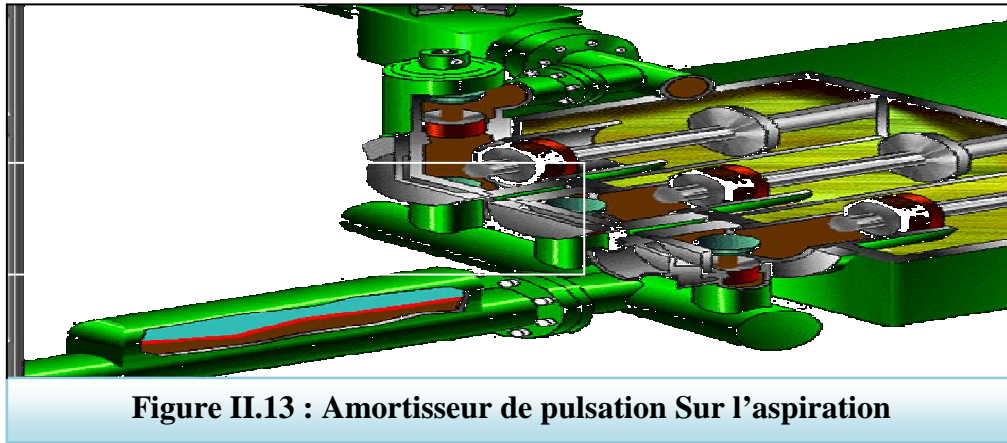
II.3.3.1. Les amortisseurs de pulsations :

II.3.3.1.a. Sur l'aspiration :

L'ouverture par séquence des clapets d'aspiration crée une variation très rapide de la pression de boue dans la conduite d'aspiration des pompes triplex (figure II.13).

Pour atténuer ce phénomène, on y installe un amortisseur de pulsations. Il est constitué d'une membrane au-dessus de laquelle est fermé l'air sous environ 40 psi. Cette membrane est en contact avec la boue par sa surface inférieure.

Le contrôle de la pression d'air au-dessus de la membrane se fait très facilement ; Lorsque l'ensemble fonctionne ; le dessus de la membrane doit apparaître dans l'axe du regard de contrôle. [1]

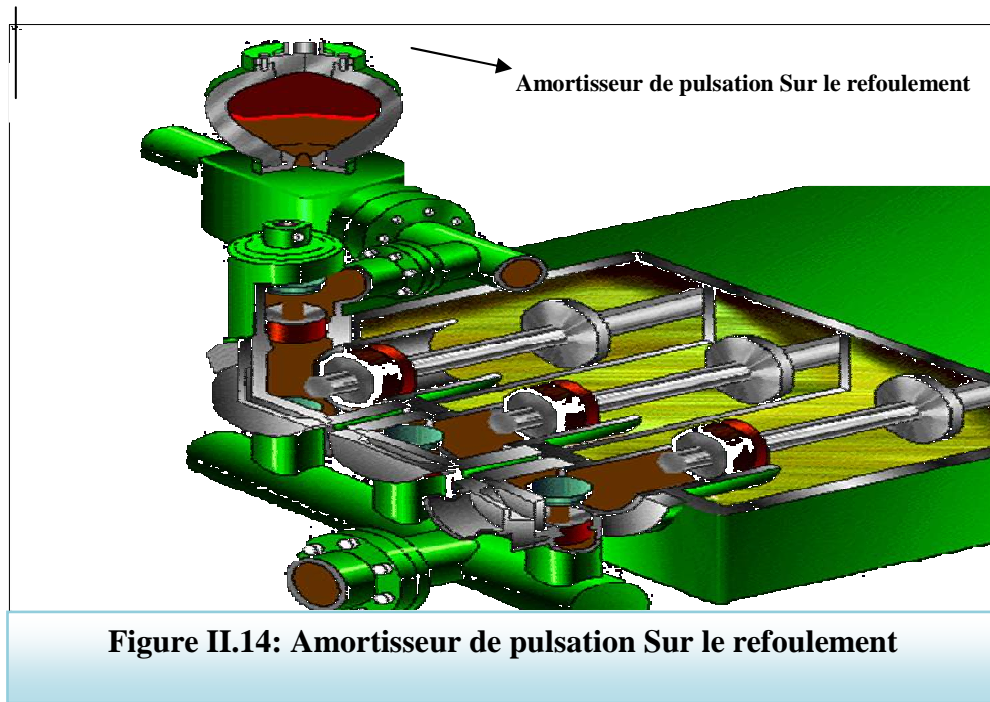


II.3.3.1.b. Sur le refoulement :

Le débit instantané d'une pompe est très irrégulier, ceci est dû Pour les pompes triplex, suralimentées, aux "battements" très rapides (110 à 130 coups/min). Ces variations de débit amènent des variations de pressions importantes qui se traduisent par des vibrations et des chocs néfastes :

- Sur la pompe elle-même ;
- Sur le manifold de refoulement ;
- Sur la colonne montante et sur le flexible d'injection

Pour y remédier, les pompes (figure II.14). de forage sont toutes équipées d'amortisseur de pulsations sur le refoulement. [1]



II.3.3.1.d. Amortisseur de pulsations type "HYDRIL" :

C'est le type le plus courant (figure II.15). Lorsque la pompe est en marche, la boue pénètre dans la chambre, sous le diaphragme et comprime le volume de chambre d'azote diminue lorsque la pression de boue diminue, régularisant ainsi le débit et, par suite les fluctuations de pression. Il est constitué : [1]

- D'un corps en acier moulé de forme sphérique goujonné ;
- D'un couvercle boulonné à la partie supérieure, percé de 02 trous taraudés (manomètre et robinet pour le remplissage) ;
- D'une bride à la partie inférieure s'adaptant sur la pompe ;
- A l'intérieur se trouve une membrane de caoutchouc de forme demi sphérique, dont le bourrelet de l'ouverture sert de joint au couvercle ;
- Dans le fond du diaphragme est fixe un disque stabilisateur en caoutchouc.

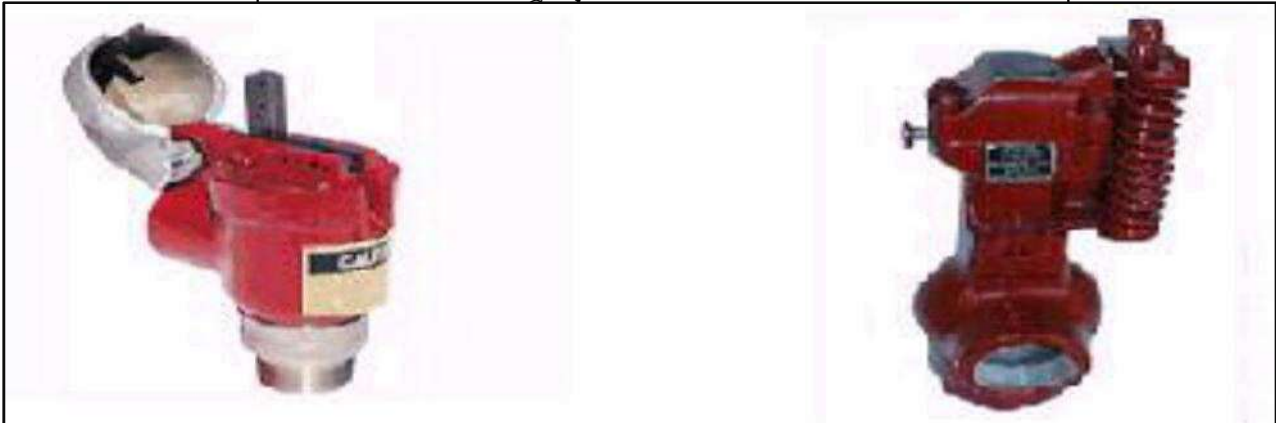


Figure II.15 : L'amortisseur de pulsations.

II.3.3.1.d.1. Principe de fonctionnement de l'amortisseur de pulsation :

Lorsque la pompe est en marche, la boue pénètre dans la chambre sous le diaphragme et comprime le volume de chambre d'azote diminue lorsque la pression de boue diminue, régularisant ainsi le débit et, par suite, les fluctuations de pression. [1]

II.3.3.1.e. Les soupapes de sécurité :

Afin d'éviter les surcharges de pression de la pompe, la pompe doit être équipée d'une soupape de décharge, tarée selon le chemisage de la pompe. Il existe plusieurs types de ces soupapes, parmi lesquels on distingue : [1]

- Les soupapes de décharge à clou (figure II.16.a) ;
- Les soupapes de décharge à ressort (figure II.16.b)

Figure II.16.a: Soupape de décharge à clou

Figure II.16.b: Soupape de décharge à ressort

II.3.3.1.4.a. Les Soupapes de décharge à clou :

Elle comprend un piston avec une tige fixée sur le corps par un clou qui passe dans la tige de piston. A la pression critique, le piston se soulève et cisaille le clou et laisse le passage pour le liquide qui revient au bac. Le diamètre du clou est choisi en fonction de la pression critique de la chemise utilisée. [1]

II.3.3.1.4.b. Les Soupapes de décharge à ressort :

Elle fonctionne lorsqu'on atteint la pression critique, le clapet se soulève et comprime le ressort ce qui facilite le passage du liquide vers les bacs. Le réglage du ressort se fait par serrage d'un écrou selon la pression critique de la chemise utilisée. [1]

II.3.4. Principe de fonctionnement de la pompe à boue et débit instantané :**II.3.4.1. Principe de fonctionnement de la pompe à boue triplex à simple effet :**

Ce sont des pompes qui comportent trois cylindres dans lesquels coulisent trois pistons à simple effet, c'est-à-dire que chaque piston aspire et refoule d'un seul côté. (Figure II.17) Chaque cylindre comporte un clapet d'aspiration et un autre de refoulement à l'avant seulement.

Lorsque le piston se déplace vers l'arrière, le clapet d'aspiration s'ouvre et celui de refoulement se ferme, la chemise se remplit de boue.

Lorsque le piston arrive en fin de course et revient vers l'avant, le clapet d'aspiration se ferme et celui de refoulement s'ouvre, et la boue est ainsi refoulée dans la conduite de refoulement.

Ainsi, pendant un aller et retour du piston, c'est-à-dire un tour complet de l'arbre petite vitesse, un piston refoule une seule fois le volume de la chemise correspondant à sa course. Le même cycle se produit par les autres pistons avec un décalage de 1/3 de tour. [1]

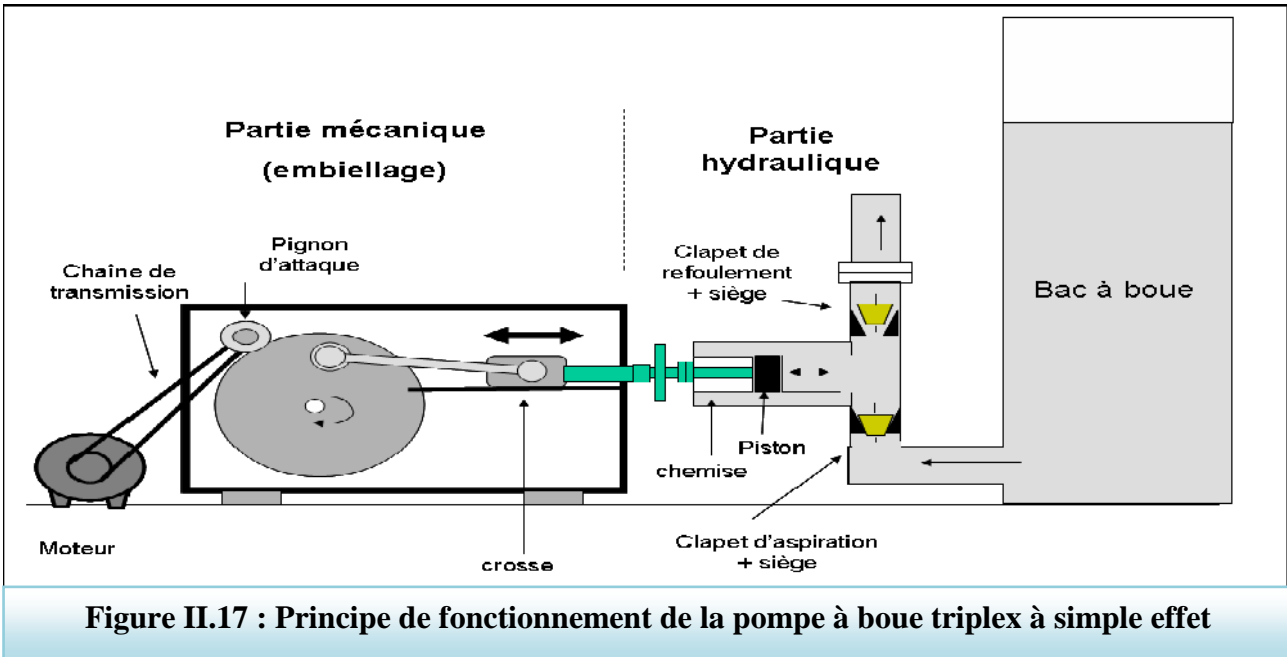


Figure II.17 : Principe de fonctionnement de la pompe à boue triplex à simple effet

II.3.4.2. Débit instantané :

II.3.4.2.a. Débit instantané refoulé par le cylindre :

La vitesse instantanée du piston suit une évolution qui a été étudiée pour. Les pompes triplex sont des pompes à simple effet donc le débit instantané par cylindre évolue comme vitesse sur le trajet aller du piston, il est nul au retour.

Donc chaque cylindre, le piston démarre avec une vitesse nulle passe par une vitesse maximale et qui suit la même évolution sinusoïdale. [1]

II.3.4.2.b. Débit instantané de la pompe :

Le débit instantané de la pompe est la somme des débits instantanés des cylindres, mais il dépend du mode de calage des pistons l'un par rapport à l'autre; Pour les pompes triplex, les pistons sont calés à 120° , c'est-à-dire $2/3$ de course sépare chaque piston l'un de l'autre (lorsque le piston N°1 arrive en fin de course le piston N°2 est au $1/3$ de sa course et le piston N°3 n'a pas encore terminé sa course retour, il en est en $2/3$).

Le principe simple effet et le calage régulier des pistons (3fois 120°) entraînent des fluctuations de débits relativement réguliers. L'aptitude de ces variations est par ailleurs faible. Elle impose malgré tout, l'utilisation d'amortisseur de pulsations sur le refoulement. [1]

II.3.4.3. Les pompe de suralimentation :

L'utilisation des pompes centrifuges (figure II.18) basse pression de suralimentation par l'intermédiaire desquelles les pompes à boue aspirent des bacs permet d'obtenir un meilleur remplissage des cylindres, ce qui diminue les coups de bélier. Le débit obtenu est plus grand et le rendement volumétrique devient maximal.

Ces pompes aspirent directement des bacs et refoulent dans la conduite d'aspiration des pompes de forage. Elles sont entraînées soit par un moteur électrique à courant alternatif soit par l'arbre grande vitesse de la pompe de forage par l'intermédiaire de chaînes ou courroies.

Ces pompes doivent avoir un débit et une pression suffisants pour répondre aux besoins des pompes de forage à débit maximum. [1]

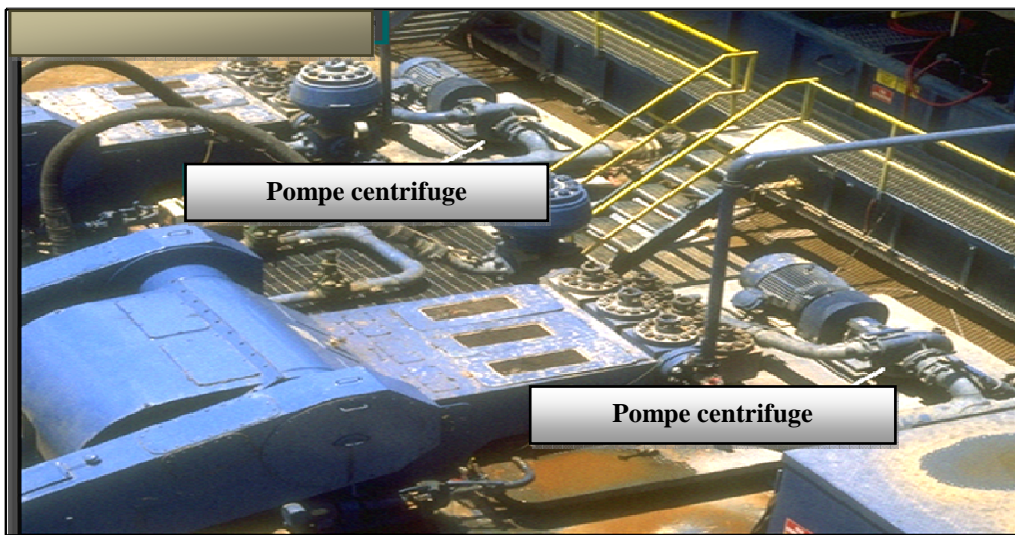


Figure II.18: Les pompes de suralimentation

II.3.5. Avantages et inconvénients de la pompe à boue triplex à simple effet :

II.3.5.1. Avantages de la pompe à boue triplex à simple effet :

- Facilité d'entretien et de surveillance. Les chemises sont apparentes, toute fuite aux pistons est vite décelée ;
- Les interventions sur la pompe sont faciles et rapides du fait du faible poids des pièces d'usure, de l'absence du presse-étoupe et de la simplicité du joint de chemise.
- Souplesse dans l'utilisation qui permet :
 - Des débits importants à des pressions non négligeables ;
 - Des débits faibles ou moyens à des pressions élevées.
- Faible poids et encombrement. [4]

II.3.5.2. Inconvénients de la pompe à boue triplex à simple effet :

- Suralimentation nécessaire à cause du mauvais remplissage. Il est donc indispensable d'avoir une bonne pompe centrifuge de suralimentation ;
- Refroidissement et lubrification de la chemise, et de l'arrière des pistons, indispensable pour toutes les pompes simple effet. [4]

II.4. Maintenance de la pompe à boue triplex à simple effet :

II.4.1. Maintenance préventive de la pompe à boue triplex à simple effet :

Dans le chantier on utilise deux pompes en parallèle, pour assurer la sécurité et la continuité de fonctionnement, et pour vaincre la pression et le débit nécessaire pour le forage d'un puits. La maintenance préventive systématique, ou conditionnelle n'est pas utilisée pendant l'exploitation de la pompe, cependant périodiquement on assure les inspections suivantes voir tableau (II.1) : [M.1]

Fréquence	Opérations
Chaque jour	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inspection visuelle des fuites de fluide et d'eau de refroidissement de la pompe ; ▪ Inspection visuelle des traces de corrosion sur les surfaces extérieures ; ▪ Inspection visuelle de la propreté de la pompe ; ▪ Inspection visuelle du niveau d'huile dans la pompe ; ▪ Inspection visuelle des fuites d'huile sur la pompe ; ▪ Inspection visuelle des dommages mécaniques de la pompe ; ▪ Inspection visuelle des raccords desserrés sur la pompe ; ▪ Inspection des bruits de fonctionnement anormaux des roulements de transmission ; ▪ Inspection des bruits de fonctionnement anormaux de la commande à manivelle ; ▪ Contrôler l'affichage d'encrassement optique sur le filtre à huile avec la pompe à huile de graissage en marche ; ▪ Inspection visuelle du contrôleur de débit sur l'engrenage ; ▪ Contrôler les dommages et le fonctionnement des manomètres ; ▪ Contrôler les bruits de fonctionnement anormaux et les températures de moteurs électriques ; ▪ Contrôler l'étanchéité des pistons et douilles de vérin ; ▪ Contrôler l'encrassement et le niveau de remplissage suffisant du réservoir d'eau du refroidissement des douilles de vérin et éventuellement le nettoyer ; ▪ Contrôler les dommages sur le tuyau du refroidissement des douilles de vérin ;

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contrôler les bruits de fonctionnement anormaux et les températures de la pompe à eau de refroidissement.
Chaque semaine	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contrôler la précontrainte correcte des boulons des rotas du serrage de la douille de vérin ; ▪ Contrôler le gros filtre du système d'huile de graissage et le nettoyer éventuellement.
Chaque mois	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contrôler le sécheur à ventilation, le remplacer si nécessaire ; ▪ Contrôler la précontrainte de vis de la partie hydraulique d'aspiration et de pression ; ▪ Nettoyage des tamis de rinçage ; ▪ Nettoyage des pièges à encrassement du réservoir d'eau de refroidissement ; ▪ Nettoyer les reniflards (carter de pignons et carter des chaînes de transmission) ; ▪ Contrôler l'entraînement de la pompe de graissage (pompe de graissage des chaînes et pompe de graissage des pignons).
Chaque six mois	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Effectuer les opérations de la fréquence précédente (chaque mois) ; ▪ Contrôler la tension des chaînes de transmission ; ▪ Vidanger l'huile de graissage du « carter des pignons » et remplir de nouveau la quantité préconisée d'huile TASSILIA 140. ▪ Vidanger l'huile des « carter des chaînes » et remplir de nouveau la quantité préconisée d'huile TASSILIA 90. ▪ Contrôler les jeux de roulement des crosses ; ▪ Contrôler les entre crosses et glissières ; ▪ Contrôler la denture du couple d'engrenage ; ▪ Serrage au couple des boulons des paliers de l'excentrique ; ▪ Contrôler l'état de surface des glissières ; ▪ Vérifier l'état des garnitures d'étanchéité des rallonge de crosse ;

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vérifier l'état des deux pompes de graissage (pompe de graissage des chaînes et pompe de graissage des pignons) ; ▪ Vérifier l'état des roulements des moteurs électrique ; ▪ Inspecter les accouplements et les remplacer au besoin ; ▪ Vérifier l'état des pignons et des roulements des pompes de graissage et les remplacer au besoin.
Chaque année	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vérification des raccordements de câble à la recherche de fils électrique lâchés ou brisés ; ▪ Contrôler le jeu des crosses ; ▪ Contrôler la grue de pivotante sur colonne ▪ Contrôler les cordons de soudure sur les supports de couple de rotation
Chaque cinq ans	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Remplacement des paliers à rouleau de transmission ; ▪ Inspection des fissures de l'arbre de manivelle et de la bielle ; ▪ Inspection des fissures sur le boîtier ; ▪ Inspection du jeu des paliers.
Tableau II.1 : Maintenance préventive de la pompe à boue triplex à simple effet	

II.4.2. Maintenance corrective de la pompe à boue triplex à simple effet :

C'est une opération de maintenance effectuée après défaillance. Elle est effectuée dans le but de maintenir le matériel dans l'état de ses performances initiales. [M.1]

Il existe deux types d'intervention de la maintenance corrective, qui sont :

- Les dépannages, c'est-à-dire une remise en état de fonctionnement effectuée sur place, cette pratique est très fréquente en cours de fin de vie du matériel, elle possède un caractère provisoire ;
- Les réparations, faites sur place, ou en atelier central, parfois après dépannage, ont un caractère définitif.

Ce tableau (suivant montre les différentes pannes et leurs causes ainsi leurs remèdes :

Pannes	causes	Remèdes
Baisse de pression de refoulement	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Usure de l'ensemble du clapet ; ▪ Clapet totalement couvert ; ▪ Mauvais remplissage ; ▪ Fuite de fluide ; ▪ Manomètre défectueux 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Remplacer celui-ci ; ▪ Éliminer le corps qui provoque l'ouverture de la conduite ; ▪ Déboucher la conduite d'aspiration ; ▪ Le remplacer ; ▪ Augmenter le niveau dans le bac d'aspiration ; ▪ Diminuer la vitesse de la pompe ; ▪ Amorcer les chambres hydrauliques ; ▪ Remplacer les pistons et les chemises.
Baisse de pression d'aspiration	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bas niveau d'aspiration ; ▪ Capacité insuffisante de la pompe de suralimentation ; ▪ Écoulement lent de fluide de forage ; ▪ Manomètre défectueux ; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Augmenter le niveau dans le bac d'aspiration ; ▪ Éliminer les anomalies éventuelles de la pompe de suralimentation ; ▪ Éliminer les restrictions dans la conduite d'aspiration ; ▪ Le remplacer.
Chocs hydraulique	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aspiration défectueuse ; (existence d'air dans la conduite d'aspiration) ; ▪ Présence d'air ou des gaz dans la boue. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Éliminer l'air de la conduite ; ▪ Ajuster l'amortisseur d'aspiration.

<p>Vibration de la conduite de refoulement</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Anomalie au niveau de l’amortisseur de pulsation ; ▪ Boulons desserrés ; ▪ Manque de support sous la conduite. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Réparer ou recharger ou le remplacer ; ▪ Il faut resserrer les boulons ; ▪ La munir d’un support.
<p>Cognement dans la partie mécanique</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rotation incorrecte de la pompe à boue ; ▪ Piston-tige desserré ; ▪ Rallonge de crosse desserrée ; ▪ Roulements principaux usés ; ▪ Axe de crosse usé. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vérifier le fonctionnement du mécanisme ; ▪ Vérifier et serrer ; ▪ Il faut les resserrer ; ▪ Changer ; ▪ Régler les guides ou les remplacer.
<p>haute température d’huile</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mauvais réglage de la crosse ; ▪ Roulement mal ajusté ; ▪ Diminution de la pression de refoulement de la pompe à l’huile. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vérifier et ajuster les jeux ; ▪ bien Ajuster les bagues de roulement ; ▪ Réparer la pompe ou la remplacer.

<p>Basse pression d'huile</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diminution de niveau d'huile ; ▪ Lubrification contaminée ; ▪ Fuite dans le circuit d'huile ; ▪ Pompe à huile défectueuse ; ▪ Crépine d'aspiration colmatée ; ▪ Manomètre défectueux 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vérifier et ajouter l'huile si nécessaire ; ▪ Changer l'huile ; ▪ Éliminer toutes les fuites ; ▪ réparer ou remplacer celle-ci ; ▪ Le nettoyer et changer l'huile ; ▪ remplacer.
<p>Haute pression d'huile</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Huile contaminé ; ▪ Colmatage des conduites ; ▪ Manomètre défectueux ; ▪ Filtres à l'huile bouchés 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Changer l'huile ; ▪ Changer le cartouche d'huile ; ▪ Le remplacer ; ▪ Les nettoyer.
<p>Chemises et garniture de pistons rayés</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Excès de sable ou de matériaux étrangers dans la boue ; ▪ Course de piston déréglé. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dessabler, vérifier souvent ; ▪ Régler la course ; ▪ Réparer le système d'arrosage.
<p>Chemise piquée</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Corrosion excessive 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Les nettoyer.
<p>Usure décentrée de la chemise ou du piston</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Manque d'alignement. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vérifier l'usure de la crosse, le blocage de la tige de piston.

<p>Rayure de l'alésage d'une chemise</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Piston usé ou abîmé ; ▪ Des pistons endommagés peuvent provoquer de telles rayures. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Monter un nouveau piston et une chemise neuve.
<p>Portée de chemise coupée ou faussée</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ la portée de cylindre peut être usée ; ▪ Le sur blocage peut avoir faussé la chemise. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sortir les vis de serrage avant de bloquer la portée de cylindre ; ▪ Ne serrer les vis qu'en dernier lieu.
<p>Portée de clapet «sifflée»</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Matériaux étrangers dans la boue ; ▪ Montage de vieux matériel sur du neuf. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vérifier l'usure de toutes les pièces ; ▪ Remplacer toutes les pièces usées.
<p>«sifflage» entre le siège de clapet et le corps de la pompe</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ présence de sable ou de rouille derrière le siège. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vérifier que la portée du clapet n'est pas percée ; ▪ Le siège et la portée conique doivent être
<p>Tableau II.2: Pannes de la pompe à boue et leurs remèdes</p>		

II.4.3.Méthode de lancement des travaux de réparation de la pompe à boue :

II.5.3.1. Sur chantier :

Selon un planning, le chef mécanicien transmet au mécanicien de chantier les programmes de révision et réparation périodique à effectuer. Le mécanicien après avoir reçu les messages exécute les ordres en réalisant toutes les opérations nécessaires telles que la vérification de niveau d'huile, de température et de pression. Par la suite, ils établissent leur rapport de vérification en exprimant l'état général de la pompe à boue.

En cas d'apparition des pannes imprévues, le mécanicien et le chef mécanicien vérifient l'état de la pompe afin de prendre les décisions de réparation sur atelier ou sur chantier. [M.1]

II.4.3.2. Sur atelier :

Le chef de chantier signe un ordre de mission et bon de sortie de la pompe afin de pouvoir la diriger sur l'atelier et pendant la réception de la pompe on mentionne sur la fiche de suivie la date d'entrée et l'état de la pompe.

Les mécaniciens dans l'atelier procèdent donc au nettoyage extérieur et au démontage de la pompe. Toutes les pièces sont bien nettoyées et contrôlées soigneusement, afin de juger celles à rebuter, ou à remplacer par d'autres neuves, ou bien à réparer.

Toutes les pièces d'usure de la partie hydraulique sont remplacées par d'autres neuves (garniture d'étanchéité, clapets, tiges, chemises, etc.), ces pièces sont fournies par le magasin des pièces de rechange, après accord signifié du chef d'atelier par un bon de réquisition des matériels.

Après le remontage et avant la livraison de la pompe vers le chantier le chef d'atelier, doit mentionner toutes les réparations réalisées, les pièces rechangées et les coûts de réparations réalisées et la date de sortie de la pompe sur la fiche technique de suivi de la pompe à boue. [M.1]

II.4.4. Montage et démontage de la pompe à boue :

Les opérations de démontage et remontage sont des opérations très importantes et nécessitent une exécution bien correcte et soignée. Le personnel qui exécute ces opérations doit être qualifié et expérimenté en pompe à boue parce qu'une simple erreur peut engendrer la détérioration des pièces qui sont très coûteuses. [M.1]

II.4.4.1. Démontage de la pompe à boue :

Le démontage de la pompe s'effectue comme suit :

II.4.4.1.a. Démontage de la partie hydraulique :

- Ouvrir les portières des clapets d'aspiration et de refoulement ;
- Enlever les sièges des clapets ;
- Démontez le système d'arrosage de l'arrière piston ;
- Démontez les portes des cylindres ;
- Dévissez les couvercles de chemise ;
- Extraire les chemises ;
- Démontez les pistons et les tiges des pistons ;
- Démontez l'amortisseur de pulsation. [M.1]

II.4.4.1.b. Démontage de la partie mécanique :

- Vidange de l'huile du carter de la pompe ;
- Démontage du bâti supérieur de la pompe ;

-
- Enlever les caches des excentriques crosses et chaînes ;
 - Démonter la chaîne de transmission ;
 - Enlever les pieds des bielles en retirant les boulons de fixation de l'axe de crosse ;
 - Démonter le pignon d'attaque ;
 - Démonter le système de guidage (crosse glissière) ;
 - Démonter les palières (roulements coniques) de l'excentrique sous pression de l'huile ;
 - Extraire les cages des palières
 - Enlever l'ensemble bielles excentrique à l'aide d'un élévateur ;
 - Démonter les bielles en enlevant les boulons de fixation sur l'excentrique ;
 - Démonter la roue dentée ;
 - Nettoyer et faire le diagnostic de tous les organes démontés. [1]

II.4.4.2. Remontage de la pompe à boue :

Le remontage est une opération très difficile et il lui faut un mécanicien qualifié, il se fait dans les sens contraire du démontage, mais avec une grande précaution de façon à présenter :

- Le bon déplacement des pièces ;
- L'alignement soigné du système de guidage avec la tige et la partie hydraulique ;
- Le bon serrage des boulons ;
- L'ordre de montage de la pompe se fait à l'aide des documents techniques de la pompe. [1]

II.5. Conclusion :

L'étude d'une installation d'une pompe à boue triplex à simple effet nous a permis de connaître les différents éléments d'une pompe à boue, avec leurs fonctionnement et construction et les différents circuits de graissage, refroidissement et sécurité.

L'étude de la maintenance nous a justifié la conformité de l'équipement étudié par rapport aux spécifications désignées. Il est à noter que le bon déroulement des opérations de maintenance et la disponibilité des pièces de rechange, se traduit par une bonne politique de maintenance.



Chapitre III:
Généralité sur la fiabilité
la maintenabilité et la disponibilité

III.1. Introduction :

L'exécution de la maintenance dans une entreprise industrielle est d'une importance capitale pour maintenir les équipements en état de bon fonctionnement. La maintenance, dans sa plus large définition, est l'ensemble de toutes les opérations de gestion, de programmation et d'exécution. Le calcul de la fiabilité d'un équipement constitue un outil incontournable pour évaluer l'efficacité de n'importe quelle entité. Les concepteurs et les utilisateurs sont souvent confrontés à des contraintes par pauvreté ou par manque de modèles permettant de faire des études prévisionnelles correctes. Le taux de défaillance est souvent considéré comme constant ce qui est manifestement faux en mécanique d'où l'intérêt d'outils, de modèles ou de méthodes plus adaptées. Le calcul de la fiabilité des systèmes mécaniques est influencé par les caractéristiques suivantes:

- La notion du taux de défaillance n'existe pas ;
- Le recueil des informations sur la fiabilité est plus difficile ;
- Les défaillances ont des origines variées (la durée de vie des composants est principalement conditionnée par les problèmes de fatigue avec une forte influence des différentes contraintes ;
- Le système mécanique est de plus en plus performant et compliqué.

Ainsi, le choix d'une loi de comportement du matériel (calcul de la fiabilité) devient une tâche très compliquée.

Le but de la maintenance c'est de mettre en œuvre les objectifs (coûts, délai, qualité, etc.) fixés par la direction de production en tenant compte des événements (perturbations, aléas, etc.) de l'environnement.

La stratégie de la maintenance est l'ensemble des décisions qui conduisent :

- A définir le portefeuille d'activités de la production de maintenance, c'est-à-dire, à décider des politiques de maintenance des matériels (méthodes correctives, préventives, amélioratives à appliquer à chaque matériel) ;
- Conjointement, à organiser structurellement le système de conduite et les ressources productives pour y parvenir dans le cadre de la mission impartie (objectifs techniques, économiques et humains).

III.2. Concept de la fiabilité :

III.2.1. La fiabilité :

- La norme NF X 60-500 définit la fiabilité comme « l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné ». [6]

III.2.2. Indicateurs de fiabilité (λ) et (MTBF) :

(λ) et le (MTBF) sont les deux principaux indicateurs de la fiabilité utilisés industriellement.

III.2.2.1. Taux de défaillance (λ) :

(λ) représente le taux de défaillance ou le taux d'avarie. Il caractérise la vitesse de variation de fiabilité au cours du temps. [6]

$$\lambda = \frac{\text{Nombre total de défaillance pendant le service}}{\text{Durée total de bon fonctionnement}}$$

III.2.2.2. Moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBF) :

MTBF (qui vient de l'anglais : Mean Time Between Failure) représente la moyenne des temps de bon fonctionnement entre deux défaillances d'un système réparable ou le temps moyen entre deux défaillances. [6]

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Somme des temps de bon fonctionnement entre les (n) défaillance}}{\text{Nombre d'intervention de maintenance avec immobilisation}}$$

Si λ est constante alors $\text{MTBF} = 1/\lambda$.

III.2.3. Les différents sorts de la fiabilité :

On distingue plusieurs types de fiabilité (termes spécifiques):

- la fiabilité opérationnelle (observée) déduite de l'analyse d'entités identiques dans les mêmes conditions opérationnelles à partir de l'exploitation d'un retour d'expérience ;
- la fiabilité prévisionnelle (prédite) correspondant à la fiabilité future d'un système et établie par son analyse, connaissant les fiabilités de ses composants ;
- la fiabilité extrapolée déduite de la fiabilité opérationnelle par extrapolation ou interpolation pour des conditions ou des durées différentes ;
- La fiabilité intrinsèque ou inhérente qui découle directement des paramètres de conception. Sans modification de conception des entités, il n'est pas possible d'obtenir un niveau de fiabilité au plus égal à la fiabilité intrinsèque. [6]

III.2.4. Analyse de la fiabilité :

III.2.4.1. Loi de Weibull :

C'est une loi qui continue à être utilisée le long du cycle de vie d'un matériel, Weibull a donné au taux de défaillance une formule qui dépend de trois paramètres β , η , γ . [7]

III.2.4.2. Caractéristiques de la loi de Weibull :**III.2.4.2.a. Densité de probabilité :**

Elle caractérise la probabilité de panne juste à temps. [7]

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

Ou :

β : paramètre de forme ($\beta > 0$) ;

η : paramètre d'échelle ($\eta > 0$) ;

γ : paramètre de position ($-\infty > \gamma > +\infty$).

III.2.4.2.b. Fonction de répartition F(t) :

Elle représente la probabilité de pannes cumulée de défaillance entre (0) et (t). [7]

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

III.2.4.2.c. Fonction de fiabilité R(t):

C'est la probabilité cumulée de non – défaillance au-delà du temps. [7]

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

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

III.2.4.2.d. Le taux de défaillance :

C'est la probabilité instantanée d'une panne au temps $t + \Delta t$, sachant que mon dispositif est bon à l'instant t . [7]

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

Ou :

λ : le taux de défaillance ;

β : paramètre de forme ($\beta > 0$) ;

η : paramètre d'échelle ($\eta > 0$) ;

γ : paramètre de position ($-\infty > \gamma > +\infty$).

III.2.4.2.e. Le moyen de temps de bon fonctionnement (MTBF):

C'est la racine de temps de bon fonctionnement [TBF] divisée par le nombre de pannes. [7]

$$MTBF = \gamma + A\eta$$

III.2.5. Signification des paramètres :**III.2.5.1. Paramètre de forme :**

Ce paramètre donne l'allure de la distribution des défaillances, il est sans dimensions. [7]

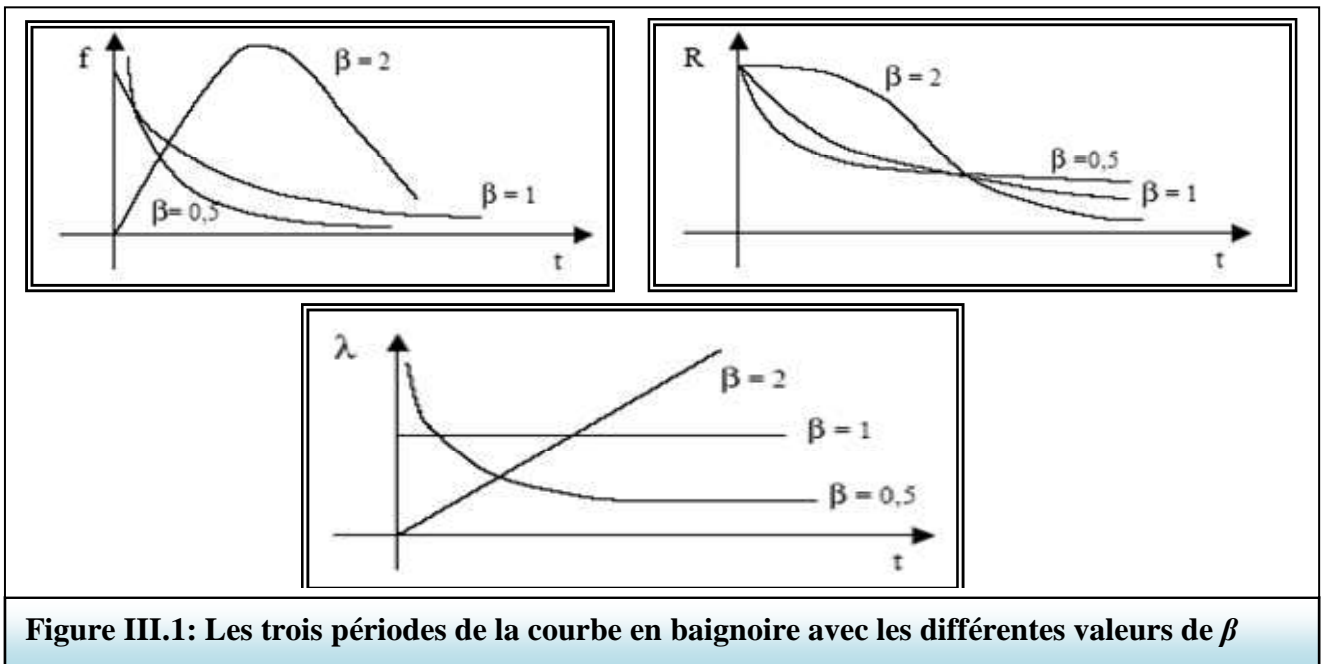


Figure III.1: Les trois périodes de la courbe en baignoire avec les différentes valeurs de β

III.2.5.2. Paramètre de position :

Son unité est celle de la variable, il explique la survie du lot :

Si $\gamma < 0$ dès la réception du matériel, il y a défaillance.

Si $\gamma = 0$ dès l'origine des temps, on peut s'attendre à des défaillances.

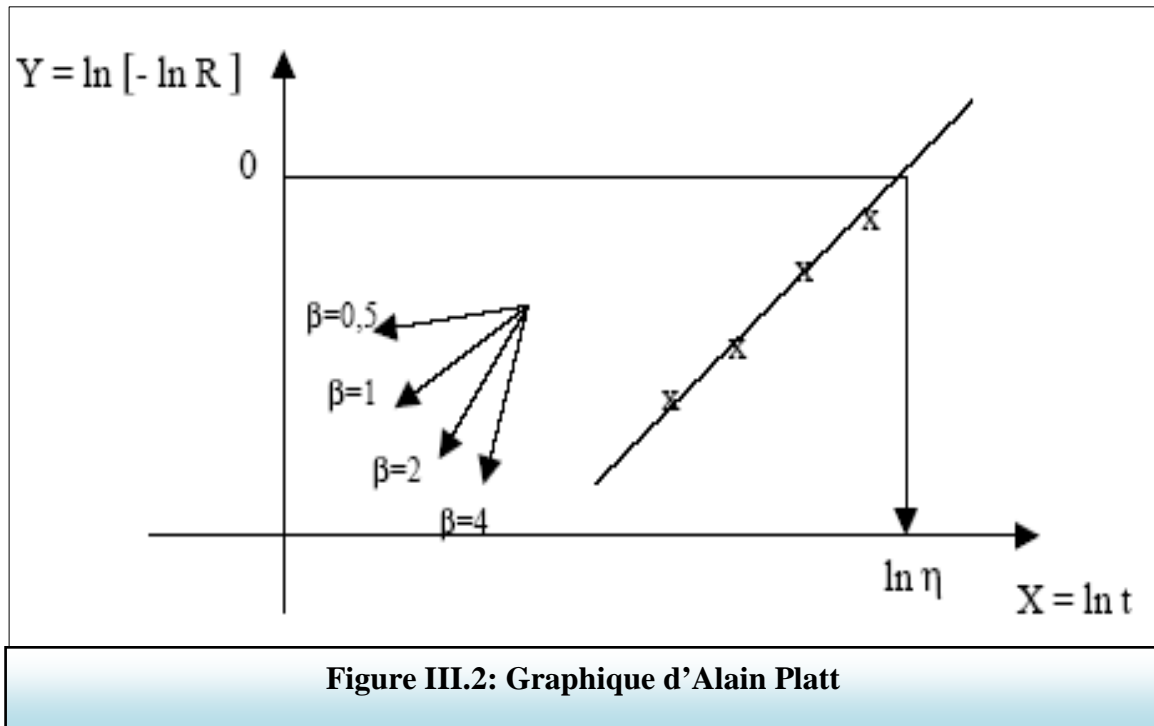
Si $\gamma > 0$ s'il y a survie totale du lot.

III.2.5.3. Paramètre d'échelle :

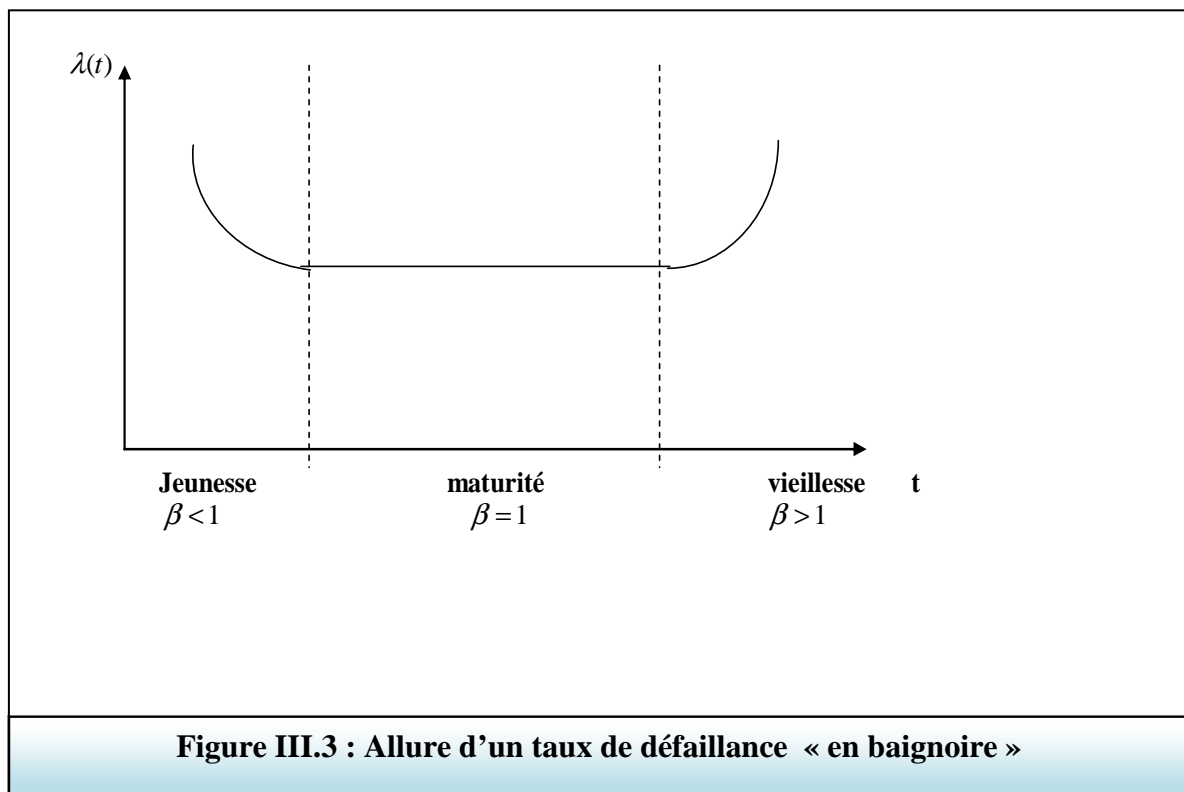
En unité de temps qui est associé à l'échelle utilisée sur le graphe d'Alain Platt. Ce dernier qui est en papier de Weibull utilise la méthode graphique pour l'estimation des paramètres de cette loi.

Il est gradué comme suit : [7]

- En abscisse : $\text{Ln } t$.
- En ordonnées : $\text{Ln} \left(\text{Ln} \frac{1}{1 - F(t)} \right)$



III.2.5.4. Courbe de défaillance (λ) :



- $\beta < 1$: Correspond à la zone décroissante de la courbe, c'est la période de mise en place et de rodage de l'installation (période de jeunesse) ;

- $\beta=1$: Correspond à la zone où le taux de défaillance est pratiquement constant, c'est la période de défaillance aléatoire qui ne présente généralement aucun symptôme de dégradation préalable (vie-utile) c'est la période la plus longue :
- $\beta>1$: Correspond à la zone croissante rapide, c'est l'époque de vieillesse provoquée par l'usure mécanique.

MTBF : (**Mean time between failure**) moyenne de temps de bon fonctionnement;

MUT : (**Mean up time**) moyenne de temps de disponibilité.

$$MTBF = \frac{\sum \text{Temps entre panne}}{N_i}$$

$$MUT = \frac{\sum TBF}{N_i}$$

III.2.5.5. Algorithme de l'étude de la loi de Weibull :

Saisie des données d'exploitations recensement de TBF tableau de classement des TBF par ordre croissant. [7]

Ordre attribué à chaque TBF ($1 < i < n$) suivant la taille n de l'échantillon

On calcule $f e(t_i)$.

$$\left\{ \begin{array}{ll} f e(t_i) = \frac{\sum n_i - 0,3}{N + 0,4} & \text{Si } N \leq 20 \\ f e(t_i) = \frac{\sum N_i}{N + 0,4} & \text{Si } N > 20 \end{array} \right.$$

III.2.6. Structure du papier de Weibull :

III.2.6.1. Description de papier fonctionnel de Weibull :

Ce papier «log-log» port quatre axes :

- l'axe A est l'axe des temps sur lequel nous porterons les valeurs t_i de durées de bon fonctionnement ;
- l'axe B porte $F(t)$ sur lequel nous porterons les valeurs $F(i)$ calculées par approximation (rangs moyens ou médians).

Nous estimerons la fiabilité en prenant le complément : $R(t) = 1 - F(t)$;

- l'axe a correspond à $\ln t$;
- l'axe b correspond à $\ln \left(\ln \frac{1}{1 - F(1)} \right)$

Cet axe permettra d'évaluer la valeur de β . [7]

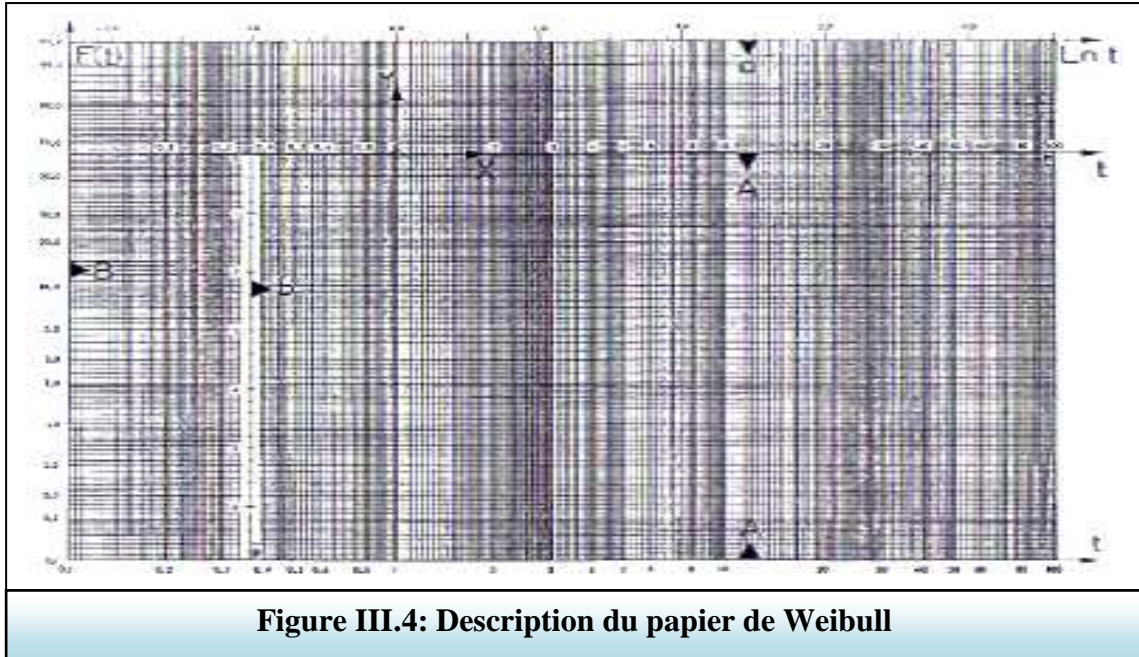


Figure III.4: Description du papier de Weibull

III.2.6.2. Application du modèle de Weibull :

Avant l'application du modèle de weibull pour analyser la fiabilité, il faut tester d'abord ce modèle, pour avoir est ce que le modèle de weibull est acceptable ou refuser, ce test réalise par :

III.2.6.2.a. Test Kolmogorov Smirnov:

Ce test consiste à calculer l'écart entre la fonction théorique $f_e(t_i)$ et la fonction réelle $F(t)$ et prendre le maximum en valeur absolue $D_{n,max}$.

Cette valeur est comparée avec $D_n \cdot \alpha$ Qui est donnée par la table de kolmogorov Smirnov Si $D_{n,max} > D_n \cdot \alpha$ On refuse 1 hypothèse. [7]

III.2.6.2.b. Description :

- Classer les durées jusqu'à défaillance en ordre croissant t_i
- Pour chaque défaillance prise dans l'ordre, calculer la durée d'essai cumulée jusqu'à défaillance $t_{o,i}$ de la façon suivante: $t_{o,1} = nt_1$ (n = nombre de dispositifs en essai).

$$t_{o,2} = t_{o,1} + (n-1)(t_2 - t_1)$$

$$t_{o,i} = t_{o,i-1} + (n+1-i)(t_i - t_{i-1})$$

$$T_f = t_{o,r} \text{ si l'essai est censuré à } r \text{ défaillances}$$

$$T_f = t_{o,k} + (n-K)T \text{ si l'essai est tronqué au bout de la durée } T$$

- Sur un papier graphique cartésien, on porte en abscisse les Durées d'essai cumulées $t_{o,i}$ et en ordonnée les valeurs de i/r pour un essai censuré et de $i/(k+1)$ pour un essai tronqué.
- Tracer un graphique en marche d'escalier en reliant verticalement les points d'abscisse $t_{o,i}$ et d'ordonnée :

$$(i-1)/r \text{ et } i/r \text{ [ou } (i-1)/(k+1) \text{ et } i/(k+1)]$$

$$i/r \text{ [ou } i/(k+1)]$$

Et horizontalement les points d'ordonnée

d'abscisse $t_{0,i}$ et $t_{0,i+1}$

- Tracer la droite reliant le point origine et le point d'abscisse T_f et d'ordonnée 1 ;
- Tracer de part et d'autre de la droite précédente deux parallèles dont les ordonnées sont distantes de $\pm D_{N;\alpha}$. $D_{N;\alpha}$ est donné tableau 2; α est le niveau significatif du test ; N est égal à r si l'essai est censuré et à $k+1$ si l'essai est tronqué. [7]

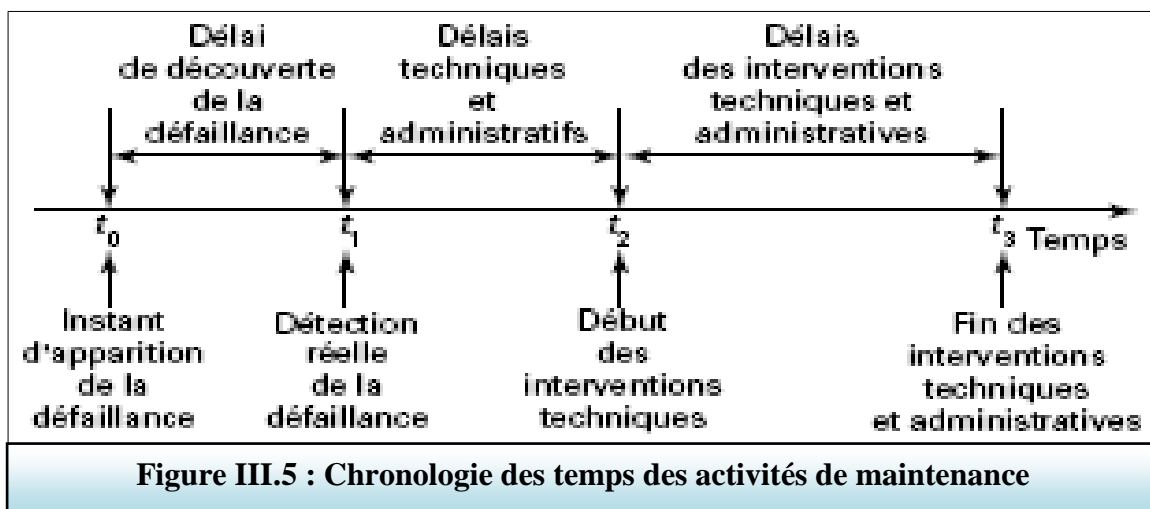
N	α			
	0,20	0,10	0,05	0,01
2	0,684	0,776	0,842	0,929
4	0,494	0,564	0,624	0,733
6	0,410	0,470	0,521	0,618
8	0,358	0,411	0,457	0,543
10	0,322	0,368	0,410	0,490
12	0,295	0,338	0,375	0,450
14	0,274	0,314	0,349	0,418
16	0,258	0,295	0,328	0,392
18	0,244	0,278	0,309	0,371
20	0,231	0,264	0,294	0,356
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,21	0,23	0,27
> 35	$1,07/\sqrt{N}$	$1,22/\sqrt{N}$	$1,36/\sqrt{N}$	$1,63/\sqrt{N}$

Tableau III.1: Test de Kolmogorov Smirnov: valeurs de $D_{N;\alpha}$

III.3. La maintenabilité :

Les défaillances étant par définition subies sans que l'on puisse prévoir leur instant d'apparition, il importe à tout responsable d'une installation industrielle de faire face rapidement aux conséquences d'une défaillance.

La compréhension des termes utilisés en maintenabilité rend nécessaire l'établissement d'un diagramme chronologique des temps entre l'instant de l'apparition de la défaillance et l'instant de la remise en service de l'installation. Le diagramme de la (figure III.1) résume tous les instants importants de cette chronologie. [8]



III.3.1. Définition de la maintenabilité :

Dans des conditions données, la maintenabilité est l'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.

Maintenabilité = être rapidement dépanné

C'est aussi la probabilité de rétablir un système dans des conditions de fonctionnement spécifiées, en des limites de temps désirées, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits.

A partir de ces définitions, on distingue :

- La maintenabilité intrinsèque : elle est « construite » dès la phase de conception à partir d'un cahier des charges prenant en compte les critères de maintenabilité (modularité, accessibilité, etc.).
- La maintenabilité prévisionnelle : elle est également « construite », mais à partir de l'objectif de disponibilité.

- La maintenabilité opérationnelle : elle sera mesurée à partir des historiques d'interventions.

L'analyse de maintenabilité permettra d'estimer la MTTR ainsi que les lois probabilistes de maintenabilité (sur les mêmes modèles que la fiabilité).

La maintenabilité d'un équipement dépend essentiellement de la facilité de démontage de ces éléments consécutifs et de leurs interchangeabilité. [8]

III.3.2. Caractéristiques de la maintenabilité :

III.3.2.1. La fonction de maintenabilité :

C'est la probabilité pour qu'un dispositif soit réparé avant (t). [8]

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

Ou :

$M(t)$: fonction de maintenabilité est constant ;

μ : taux de réparation.

III.3.2.2. Moyenne des temps technique de réparation (MTTR) :

$$MTTR = \frac{\text{Temps cummule pour réparation}}{\text{Nombre d'intervention}} = \frac{\sum t}{\sum deg}$$

Ou:

MTTR: (Mean Time To Repair) moyenne de temps technique de réparation

III.3.2.3. Le taux de réparation (μ):

On appelle taux de réparation $\mu(t)$ d'un système réparable au temps t la probabilité que l'entité soit réparée entre t et $t+dt$ sachant qu'elle n'était pas réparée sur l'intervalle $[0, t]$. [8]

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \int \frac{1}{h}$$

Dans la plus par cas $M(t)$ est constante alors :

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

III.4. La disponibilité :

La norme AFNOR X 60-500 définit la disponibilité comme « l'aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou pendant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires de maintenance soit assurée ». [9]

III.4.1. Définition de la disponibilité :

C'est l'aptitude d'un dispositif à être en état de fonctionnement dans ces conditions données sous les aspects combinés de la fiabilité de la maintenance, la logistique et l'organisation de maintenance c'est la probabilité pour qu'un dispositif soit en état de fonctionnement selon des conditions de maintenance prescrite et pour un temps donné. [9]

III.4.2. Les différentes sortes de disponibilité :

III.4.2.1. Disponibilité intrinsèque :

Cette disponibilité est évaluée en prenant en compte les moyennes des temps de bon fonctionnement et les moyennes des temps de réparation. [9]

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Ou :

D_i : Disponibilité intrinsèque ;

$MTBF$: Moyenne de temps de bon fonctionnement ;

$MTTR$: Moyenne de temps technique de réparation.

III.4.2.2. Disponibilité instantanée :

C'est la probabilité pour qu'un dispositif puisse accomplir une fonction requise dans des conditions données et un instant donné. [9]

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

Ou :

$D(t)$: La disponibilité instantané ;

μ : Taux de réparation ;

λ : Taux de défaillance.

III.5. Conclusion :

Ce chapitre a abordé le concept d'étude de la maintenance (FMD). Il présente un modèle d'aide à la gestion des processus de maintenance ainsi fiabilité la maintenance sur un équipement de production. Ce modèle permettrait à l'équipement de mieux architecturer son système de maintenance.

Chapitre IV : Application et Analyse des résultats



IV.1.Introduction :

Le support de notre étude est la loi et le modèle de Weibull qui nous avons utilisé comme base de travail complétée par des informations obtenus sur chantier à l'effet d'obtenir des graphes que nous interpréterons en résultats.

IV.2.Exploitation de l'historique :

N°	La date De Panne	Heurs D'arrêt (H : m)	Début D'arrêt (H: m)	Fin D'intervention Date Et Heurs (H: m)	Temps De Bon Fonctionnement TBF
01	28/05/2013	1h	12:15	28/05/2013(13:15)	179.45
02	04/06/2013	30min	12:45	04/06/2013(13:15)	30.85
03	05/06/2013	1:30min	20:00	05/06/2013(21:30)	222.95
04	15/06/2013	30min	04:45	15/06/2013(05:15)	177.15
05	22/06/2013	3:15min	14:30	22/06/2013(17:45)	94.55
06	26/06/2013	45min / 1h	16:00 22:00	26/06/2013(16:45 / 23:00)	12
07	27/06/2013	30min / 2:30min	05:45/10:45	27/06/2013(06:15 / 13:15)	15.30
08	28/06/2013	30min	00:15	28/06/2013(00:45)	71.55
09	01/07/2013	1h	00:00	01/07/2013(01:00)	74.45
10	04/07/2013	2:15min	03:45	04/07/2013(06:00)	8026
11	07/06/2014	2h	16:00	07/06/2014(18:00)	238
12	17/06/2014	45min / 45min	16:00/20:45	17/06/2014(16:45 / 21:30)	28.7
13	18/06/2014	30min	22:00	18/06/2014(22:30)	262.65
14	29/06/2014	45min	21:15	29/06/2014(22:00)	30.45
15	01/07/2014	1:15min	04:45	01/07/2014(06:00)	40
16	02/07/2014	30min	22:00	02/07/2014(22:30)	19.9
17	03/07/2014	45min / 30min / 45min / 25min	02:15/08:00 / 12:45 / 21:00	03/07/2014 (03/08:30 / 13:30 / 21:25)	9.8
18	04/07/2014	30min / 30min	02:30 08:15	04/07/2014(03:00 / 8:45)	73.3
19	07/07/2014	30min	10:15	07/07/2014(10:45)	50.7
20	09/07/2014	1:45 / 15min	13:15/20:45	09/07/2014(15:00 / 21:00)	185.75
21	17/07/2014	30min	09:30	17/07/2014(10:00)	1243.15
22	07/03/2015	45min	05:15	07/03/2015(06:00)	2577.45
23	16/03/2015	45min	11:45	16/03/2015(12:30)	571.7
24	09/04/2015	2h	08:00	09/04/2015(10:00)	1233.3
25	30/05/2016	30min	19:30	30/05/2015(20:00)	215.15
26	08/06/2016	1h	19:15	08/06/2016(20:15)	459.45
27	20/06/2016	45min	00:00	20/06/2016(00:45)	301.6

Tableau V.1: Dossier Historique des pannes (pompe à boue "Enafor 47")

IV .2.1. Étude de la maintenance (FMD) (Pompe à boue "Enafor 47") :

IV .2.1.1. La fiabilité :

IV .2.1.1.a. Application du modèle de Weibull :

Rang	TBF (croissant)	TBF $\times 1/150$	Ni	$\sum Ni$	FTi	FTi %
01	9.8	0.065	1	1	0.0364	03.64
02	12	0.08	1	2	0.0729	07.29
03	15.30	0.102	1	3	0.109	10.94
04	19.9	0.132	1	4	0.145	14.59
05	28.7	0.191	1	5	0.182	18.24
06	30.45	0.203	1	6	0.218	21.89
07	30.85	0.205	1	7	0.255	25.54
08	40	0.266	1	8	0.291	29.19
09	50.7	0.338	1	9	0.328	32.84
10	71.55	0.477	1	10	0.364	36.49
11	73.3	0.488	1	11	0.401	40.14
12	74.45	0.496	1	12	0.437	43.79
13	94.55	0.630	1	13	0.474	47.44
14	177.15	1.181	1	14	0.510	51.09
15	179.45	1.196	1	15	0.547	54.74
16	185.75	1.238	1	16	0.583	58.39
17	215.15	1.434	1	17	0.620	62.04
18	222.95	1.489	1	18	0.656	65.69
19	238	1.586	1	19	0.693	69.34
20	262.65	1.751	1	20	0.729	72.99
21	301.6	2.010	1	21	0.766	76.64
22	459.45	3.063	1	22	0.802	80.29
23	571.7	3.811	1	23	0.839	83.94
24	1233.3	8.222	1	24	0.875	87.59
25	1243.15	8.287	1	25	0.912	91.24
26	2577.45	17.183	1	26	0.948	94.89
27	8026	53.506	1	27	0.985	98.54
Tableau IV.2 : Application du modèle de Weibull						

A partir du papier de Weibull ou logiciel LAALA, (Figure VI.1).

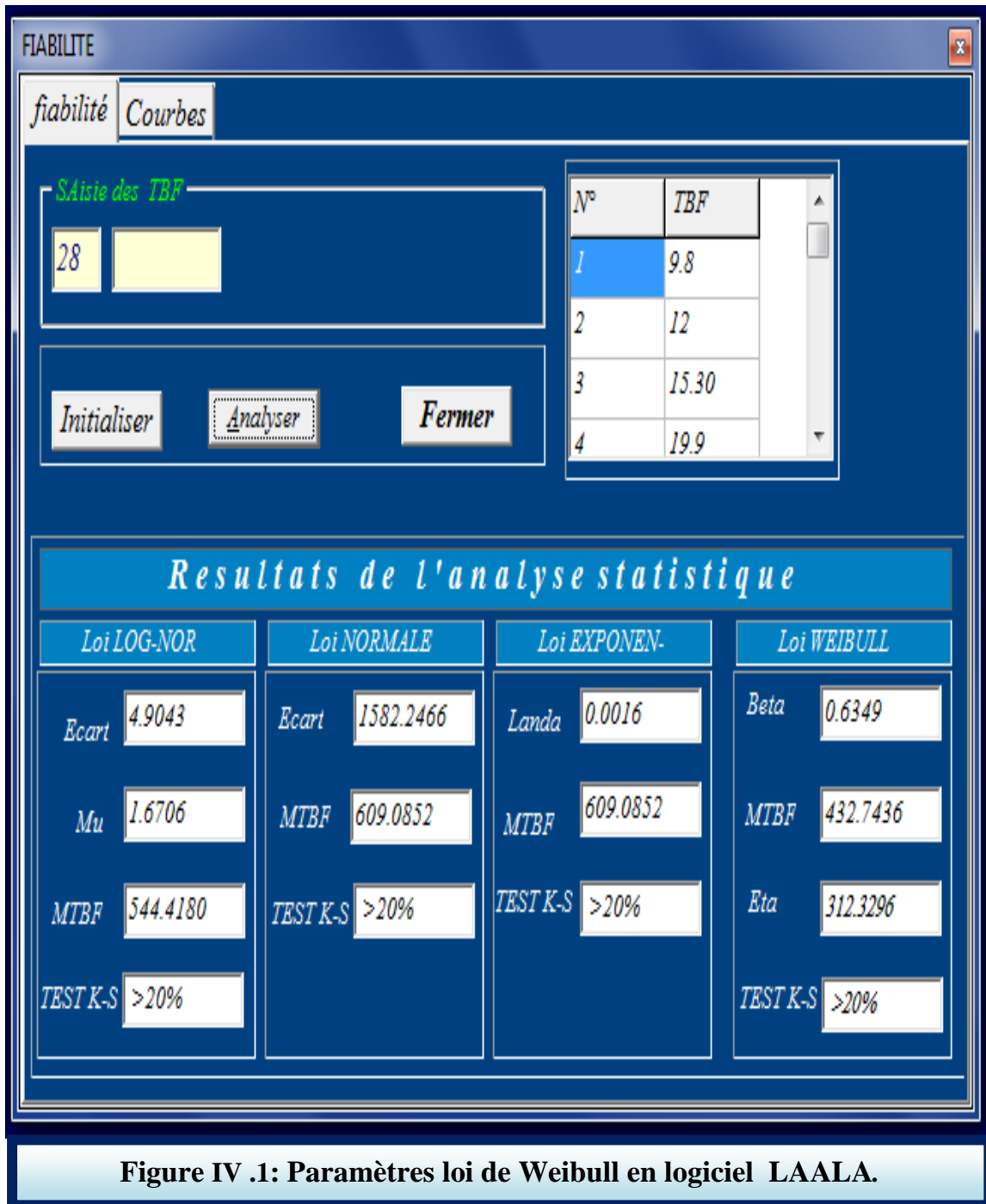
On déduire les paramètres: $\beta, \eta, \gamma, MTBF, \dots ?$

$\beta=0.6349$

$\eta=312.3296$

$\gamma =0$

$MTBF =432.7436$



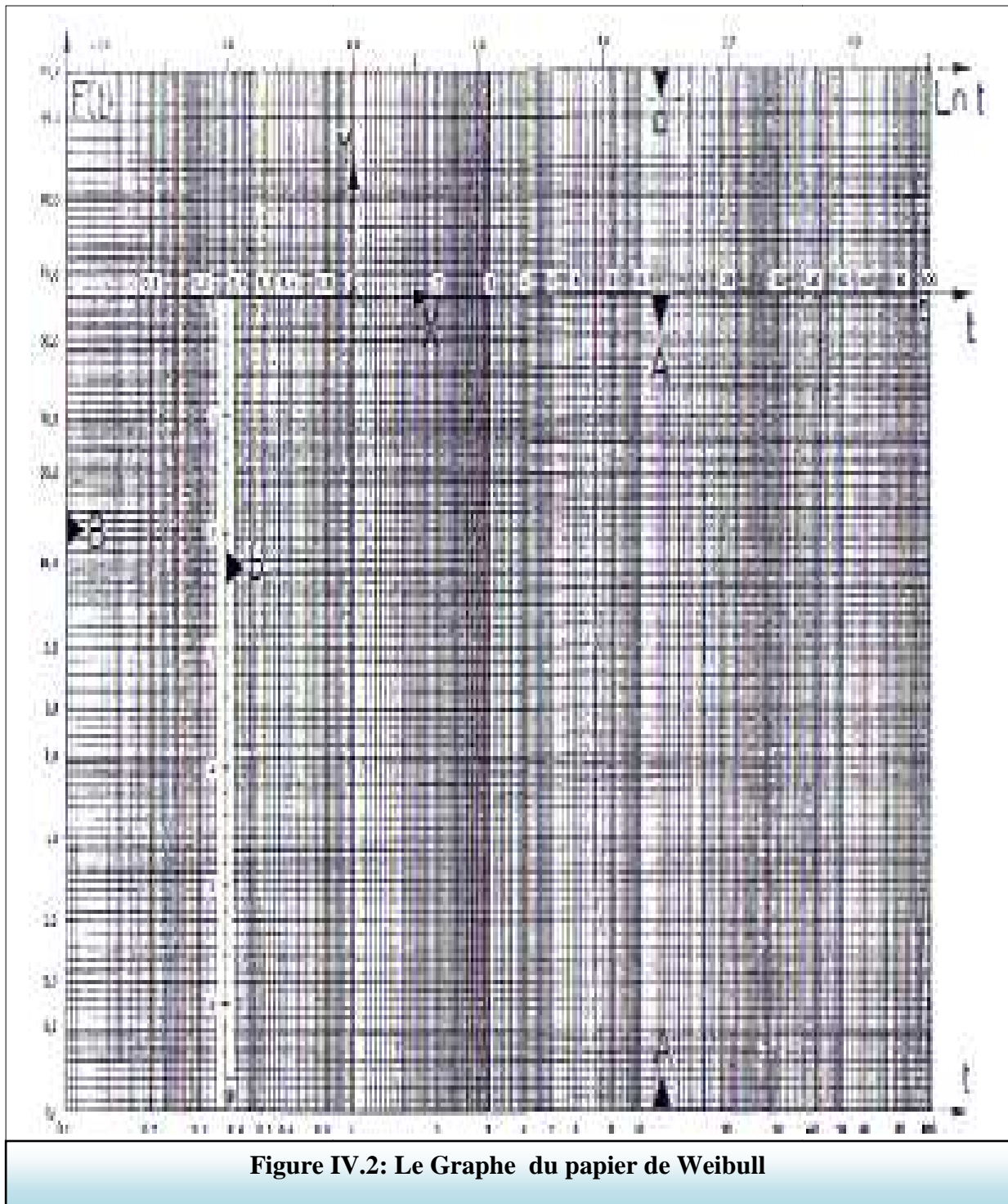


Figure IV.2: Le Graphe du papier de Weibull

IV.2.1.1.b. Test de Kolmogorov Smirnov:

Ce test consiste à calculer l'écart entre la fonction théorique $f_e(t_i)$ et la fonction réelle $F(t)$ et prendre le maximum en valeur absolue $D_{n,max}$.

Cette valeur est comparée avec $D_n \cdot \alpha$ Qui est donnée par la table de Kolmogorov Smirnov Si $D_{n,max} > D_n \cdot \alpha$ On refuse l'hypothèse.

Rang	TBF (h)	F(t)	fe(ti)	F(t) - fe(ti)
01	9.8	0.105	0.0364	0.0686
02	12	0.118	0.0729	0.0451
03	15.30	0.137	0.109	0.028
04	19.9	0.160	0.145	0.015
05	28.7	0.197	0.182	0.015
06	30.45	0.204	0.218	0.014
07	30.85	0.205	0.255	0.05
08	40	0.238	0.291	0.053
09	50.7	0.270	0.328	0.058
10	71.55	0.325	0.364	0.039
11	73.3	0.329	0.401	0.072
12	74.45	0.331	0.437	0.106
13	94.55	0.374	0.474	0.1
14	177.15	0.502	0.510	0.008
15	179.45	0.505	0.547	0.042
16	185.75	0.513	0.583	0.07
17	215.15	0.546	0.620	0.074
18	222.95	0.554	0.656	0.102
19	238	0.562	0.693	0.131
20	262.65	0.592	0.729	0.137
21	301.6	0.624	0.766	0.142
22	459.45	0.721	0.802	0.081
23	571.7	0.770	0.839	0.069
24	1233.3	0.909	0.875	0.034
25	1243.15	0.910	0.912	0.002
26	2577.45	0.978	0.948	0.03
27	8026	0.9997	0.985	0.014

Tableau IV.3: Test de Kolmogorov Smirnov

$$\alpha = 0.05 = 5\%$$

$$D_{n,\alpha} = D_{21, 0.05} = 0.27$$

$$D_{n,max} = 0.142 \Rightarrow D_{n,max} < D_{n,\alpha} \text{ (Pour La Valeur } D_{n,\alpha} \text{)}$$

Donc le modèle de Weibull est acceptable.

IV.1.1.1.c. Calcul de $R(t)$, $f(t)$, (λ) et $F(t)$ lorsque $t = \text{MTBF}$:

$$MTBF = \gamma + A\eta$$

A partir du Tableau numérique pour une loi de weibull selon la valeur de β

On a déduit que $A=1.3632$

$$MTBF = 0 + 1.3632 * 312.3296 = 432.7436 \text{ h}$$

IV.1.1.1.c.1. Calcul de $R(MTBF)$:

$$R(MTBF) = R(432.7436) = e^{-\left(\frac{MTBF}{\eta}\right)^\beta} = 0.299$$

On à **29.9 %** de chance pour que notre Pompe à boue ne tombe pas en panne en $t = 400 \text{ h}$.

IV.1.1.1.c.2. Calcul de $F(MTBF)$:

$$F(MTBF) = F(432.7436) = 1 - e^{-\left[\frac{MTBF - \gamma}{\eta}\right]^\beta} = 0.701$$

On à **70.1%** de chance pour que notre Pompe à boue ne tombe pas en panne en $t = 450 \text{ h}$.

IV.1.1.1.c.3. Calcul de $\lambda(MTBF)$:

$$\lambda(MTBF) = \frac{f(MTBF)}{R(MTBF)} = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t - \gamma}{\eta}\right]^{\beta-1} = 0.00180$$

On à **0.180%** de chance pour que notre Pompe à boue ne tombe pas en panne en $t = 900 \text{ h}$.

IV.1.1.1.c.4. Calcul de $f(MTBF)$:

$$f(MTBF) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{MTBF - \gamma}{\eta}\right]^{\beta-1} \cdot e^{-\left[\frac{MTBF - \gamma}{\eta}\right]^\beta} = 0.00053$$

On à **0.053 %** de chance pour que notre Pompe à boue ne tombe pas en panne en $t = 300 \text{ h}$.

IV .1.1.1.d. Étude du modèle de Weibull :

Rang	TBF (h)	F (t)	R (t)	f (t)	$\lambda(t)$
01	9.8	0.105	0.895	0.00643	0.00719
02	12	0.118	0.882	0.00588	0.00668
03	15.30	0.137	0.863	0.00527	0.00611
04	19.9	0.160	0.840	0.00466	0.00555
05	28.7	0.197	0.803	0.00390	0.00485
06	30.45	0.204	0.796	0.00378	0.00475
07	30.85	0.205	0.795	0.00376	0.00473
08	40	0.238	0.762	0.00328	0.00430
09	50.7	0.270	0.730	0.00288	0.00394
10	71.55	0.325	0.675	0.00235	0.00348
11	73.3	0.329	0.671	0.00231	0.00345
12	74.45	0.331	0.669	0.00229	0.00343
13	94.55	0.374	0.626	0.00196	0.00314
14	177.15	0.502	0.498	0.00124	0.00250
15	179.45	0.505	0.495	0.00123	0.00248
16	185.75	0.513	0.487	0.00119	0.00245
17	215.15	0.546	0.454	0.00105	0.00232
18	222.95	0.554	0.446	0.00102	0.00229
19	238	0.562	0.438	0.00098	0.00224
20	262.65	0.592	0.408	0.00088	0.00216
21	301.6	0.624	0.376	0.00077	0.00205
22	459.45	0.721	0.279	0.00049	0.00176
23	571.7	0.770	0.230	0.00037	0.00163
24	1233.3	0.909	0.091	0.000112	0.00123
25	1243.15	0.910	0.090	0.000110	0.00122
26	2577.45	0.978	0.021	0.000019	0.00094
27	8026	0.9997	0.0003	0.00000018	0.00062

Tableau IV.4 : Étude du modèle de Weibull

IV.2.2. La maintenabilité :

$$MTTR = \frac{34.91}{27} = 1.293\text{h}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{1.293} = 0.773$$

$$M(t) = 1 - e^{-0.773.t}$$

IV.2.2.1. Tableau de la maintenabilité :

Rang	Temps de réparation (h)	M(t)
01	30min	0.312
02	45min	0.439
03	1h	0.538
04	1:15min	0.619
05	1:30min	0.686
06	1:45min	0.741
07	2h	0.824
08	2:15min	0.824
09	2:25min	0.849
10	3h	0.901
11	3:15min	0.918

Tableau IV.5: De la maintenabilité

IV.2.3. La disponibilité :

IV.2.3.a. Disponibilité intrinsèque :

$$Di = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = 0.997$$

$$Di = 99.7 \%$$

IV.2.3.b. Disponibilité instantanée :

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{432.7436} = 0.00231$$

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \Rightarrow \mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{1.293} = 0.773$$

$$\frac{\lambda}{\lambda + \mu} = \frac{0.00231}{0.00231 + 0.773} = 0.0029$$

$$\frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{0.773}{0.00231 + 0.773} = 0.9970$$

$$D(t) = 0.9970 + 0.0029 \times e^{-(0.7759)t}$$

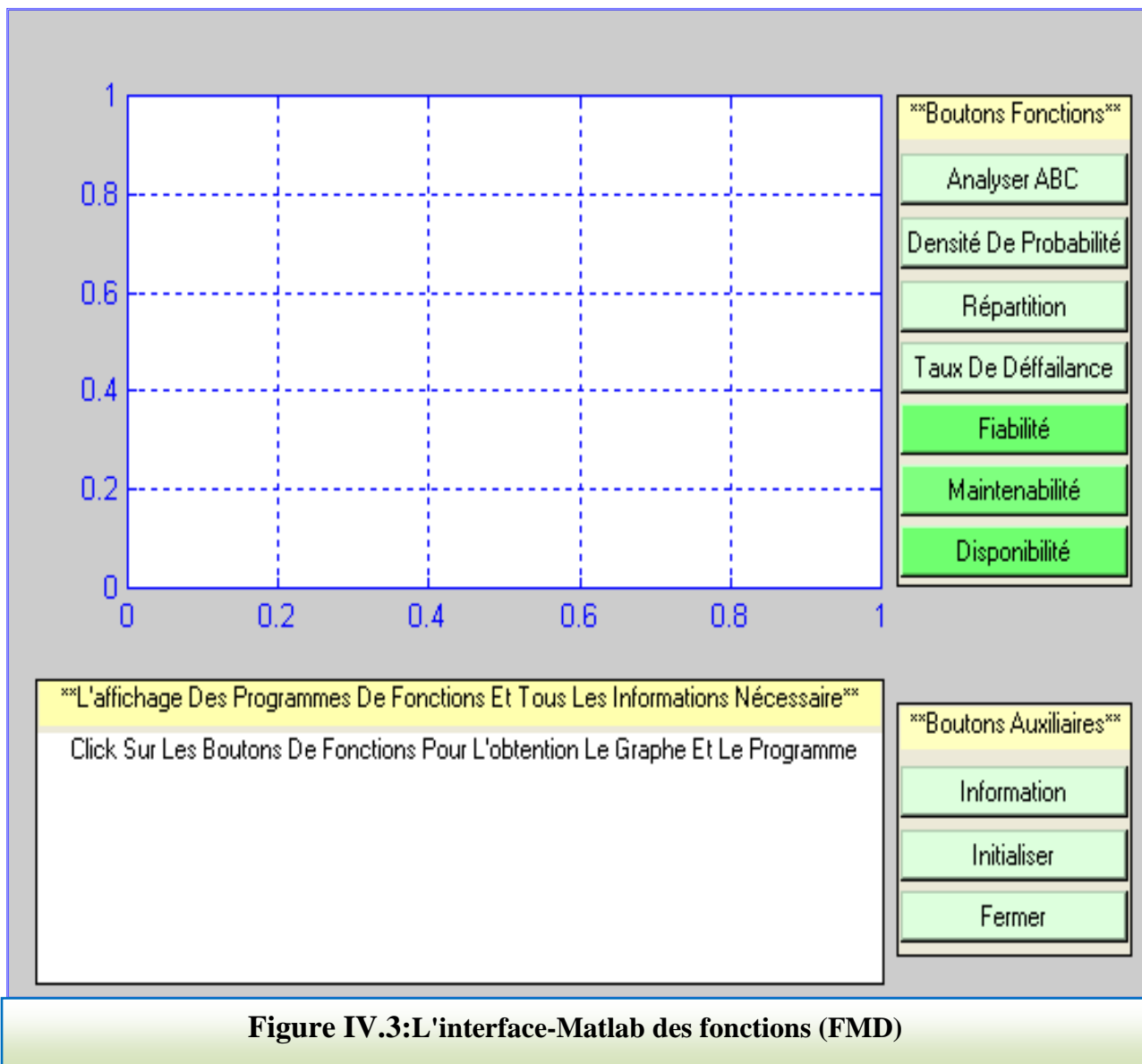
IV.2.3.c. Tableau de la disponibilité :

TBF Jours	0.408	0.50	0.637	0.829	1.062	1.268	1.285	1.666	2.112	2.981	3.054	3.10	3.93	7.38
D (t)	0.9943	0.9941	0.9938	0.9934	0.9929	0.9925	0.9924	0.9916	0.9907	0.9890	0.9888	0.9888	0.9871	0.9809
TBF Jours	7.477	7.739	8.964	9.289	9.916	10.943	12.566	19.560	23.820	51.38	51.9	107.393	334.41	
D (t)	0.9807	0.9807	0.9782	0.9777	0.9767	0.9751	0.9726	0.9634	0.9587	0.9395	0.9392	0.9277	0.9252	

Tableau IV.6: De la disponibilité

IV .3.Analyse des résultats :

A partir d'une programmation en Matlab nous avons obtenu tous les graphes de fonctions d'étude de la maintenance "FMD" (Figure IV.3).



IV.3.1. Résultats de la fonction fiabilité R(T):

Tout d'abord on a tracé Les trois courbes de fonctions "Densité De Probabilité, Répartition, Taux De Défaillance" ; successivement qui sont liées du concept de la fonction Fiabilité.

Ces figures de ces trois fonctions " Densité De Probabilité, Répartition, Taux De défaillance ", sont tracées pour connaître le suivant :

- La probabilité de pannes juste à temps (Figure. IV.1).

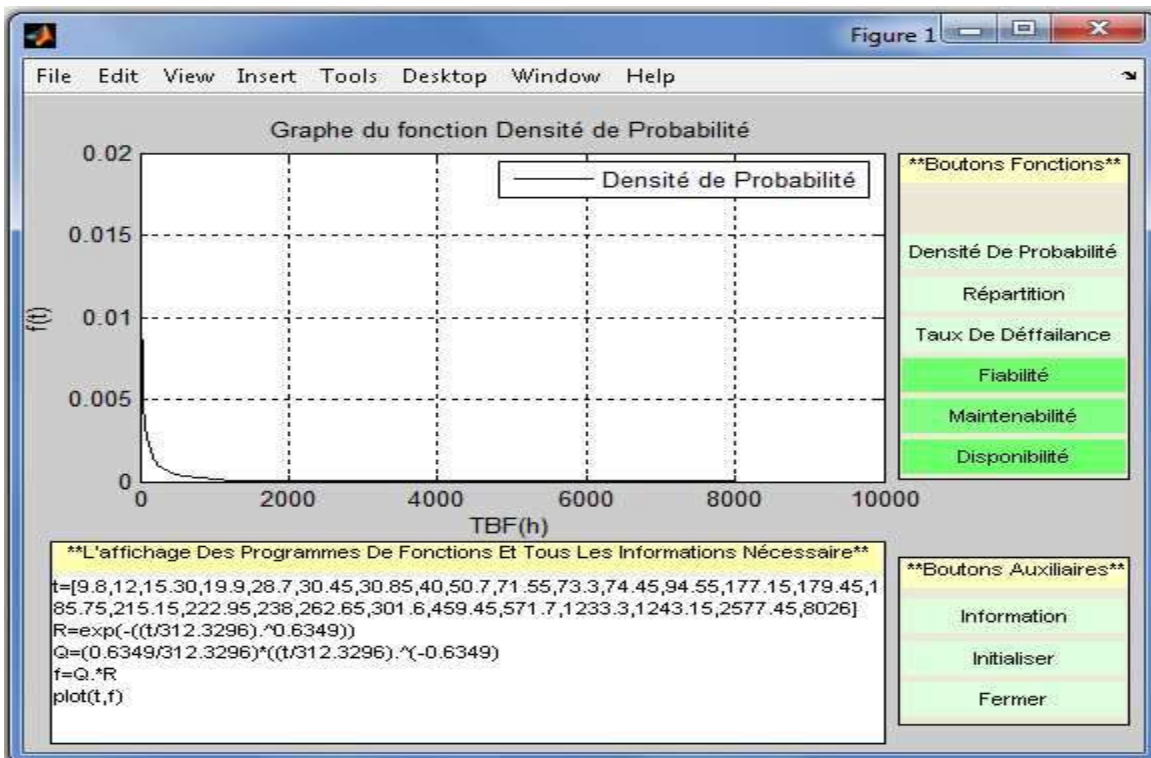


Figure IV.1 : La Courbe Densité De Probabilité Dans L'interface-Matlab

- La probabilité de pannes cumulée de défaillance (Figure. IV.2).

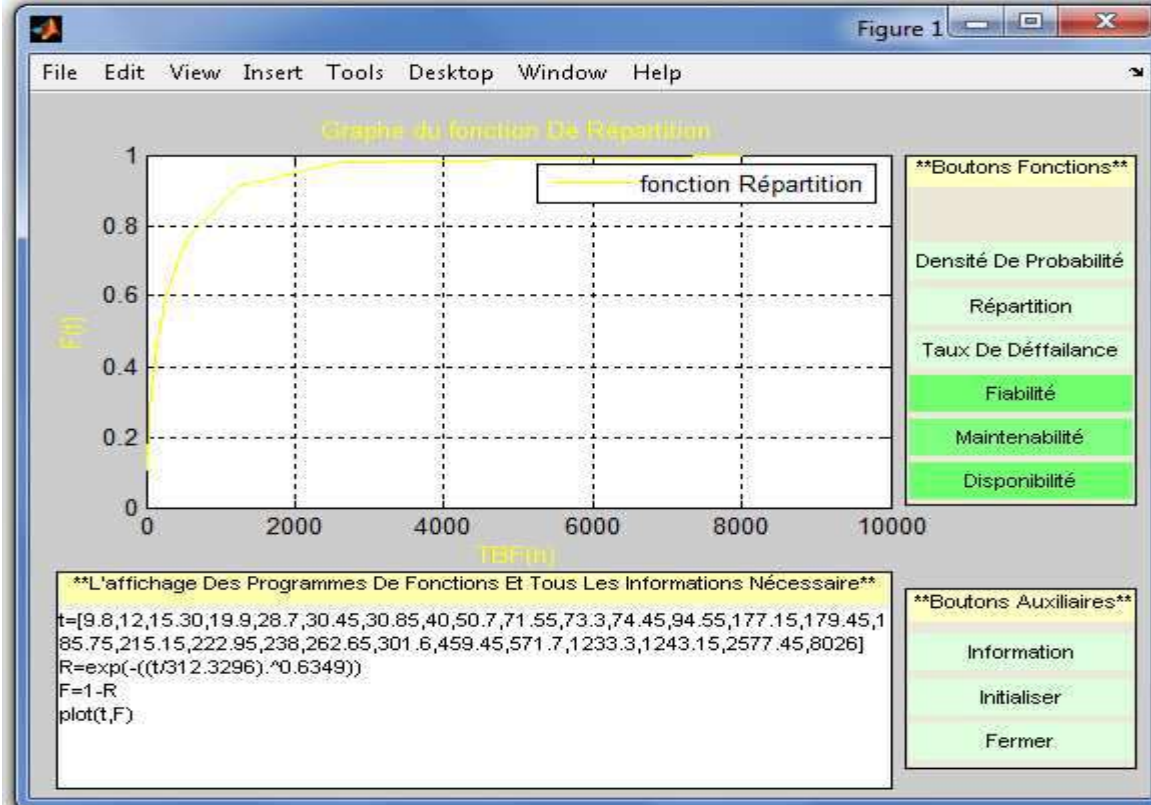


Figure IV.2 : La Courbe De Fonction Répartition dans L'interface-Matlab

D'une façon générale, la probabilité cumulée de défaillance est croissante sur la Pompe à boue pour $t=MTBF$.

$$F (MTBF) = F (432.7436) = 0.701$$

- La probabilité instantanée d'une panne au temps (Figure. IV.3).

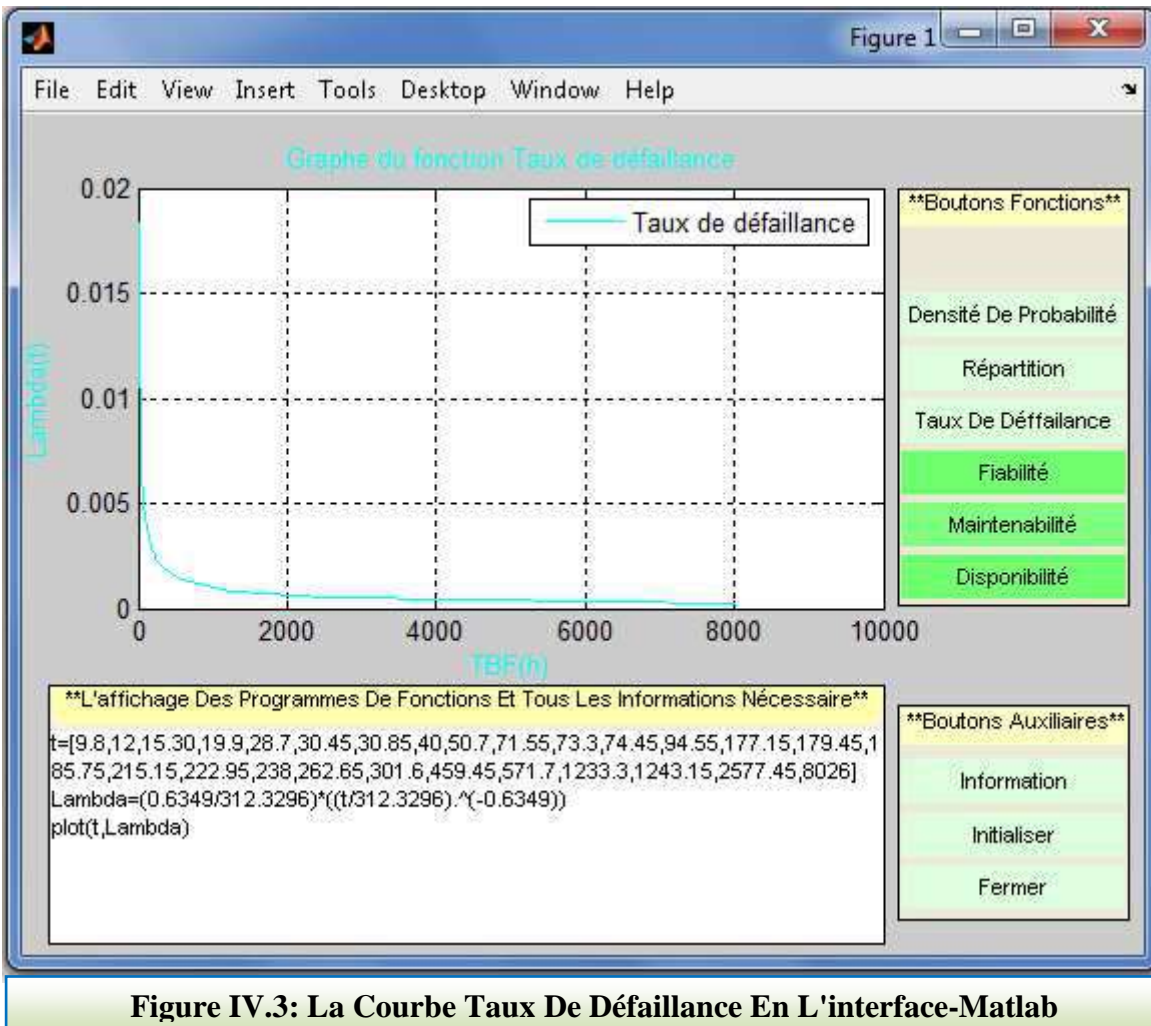


Figure IV.3: La Courbe Taux De Défaillance En L'interface-Matlab

Le taux de défaillance décroît d'abord et à devenir par la décroissance, on comprend que la Pompe à boue est en fin de phase et par la constante de $\lambda(t)$, on comprend que le Pompe à boue et en début de la phase.

- La probabilité cumulée de non-défaillance au-delà du temps (Figure .IV.4).

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

$$R (MTBF) =R (432.7436)= 0.299$$

(Soit une fiabilité de 29.9 %).

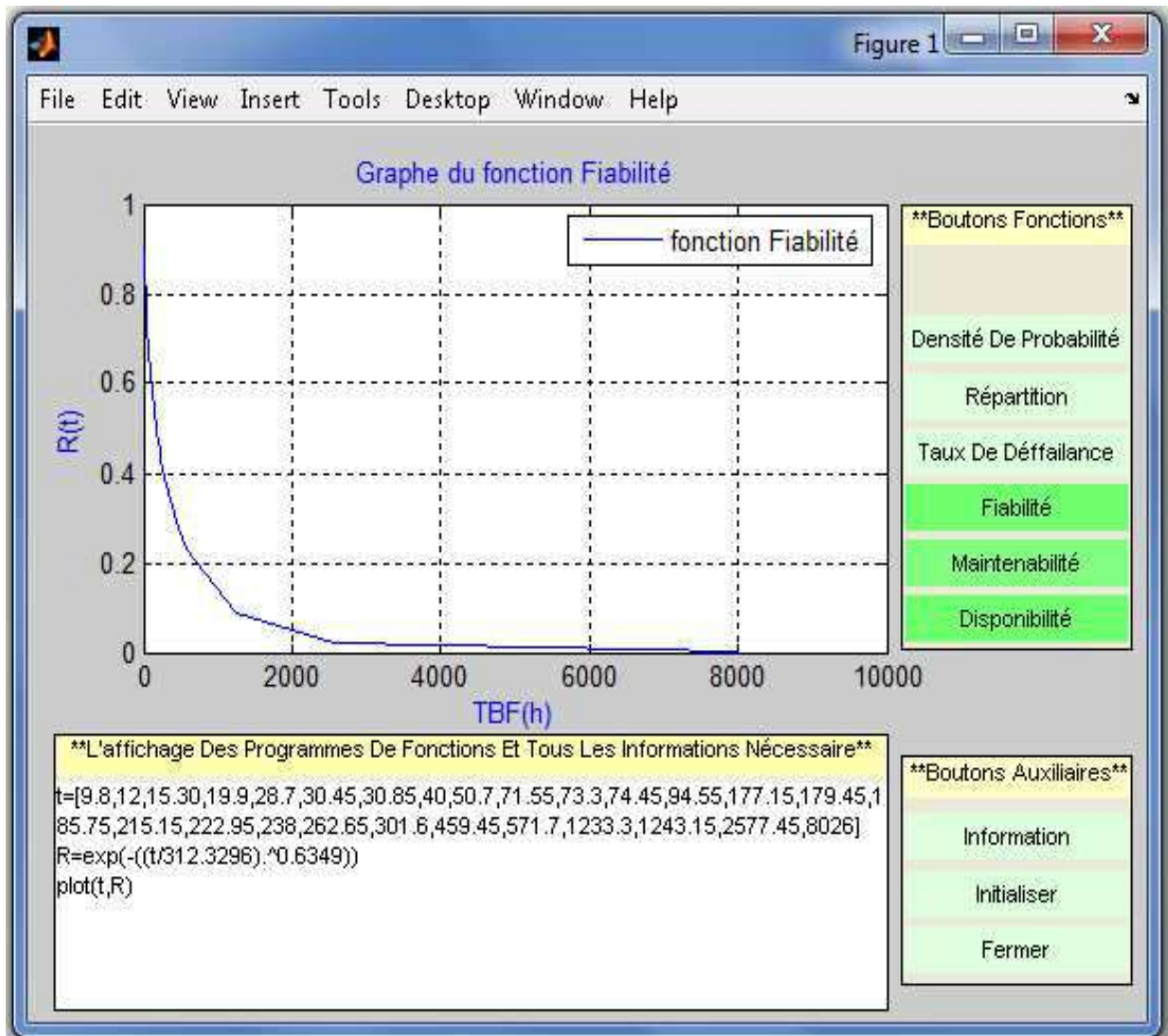


Figure IV.4 : La Courbe De Fonction Fiabilité En L'interface-Matlab

Pour l'amélioration de la fiabilité de Pompe à boue on a proposé le Suivant :

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

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

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

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

$$t = 312.3296 (\ln(1/0.8))^{1/0.6349} \approx \mathbf{29.42 \text{ h.}}$$

IV.3.2. Résultats de la fonction maintenabilité M(t)

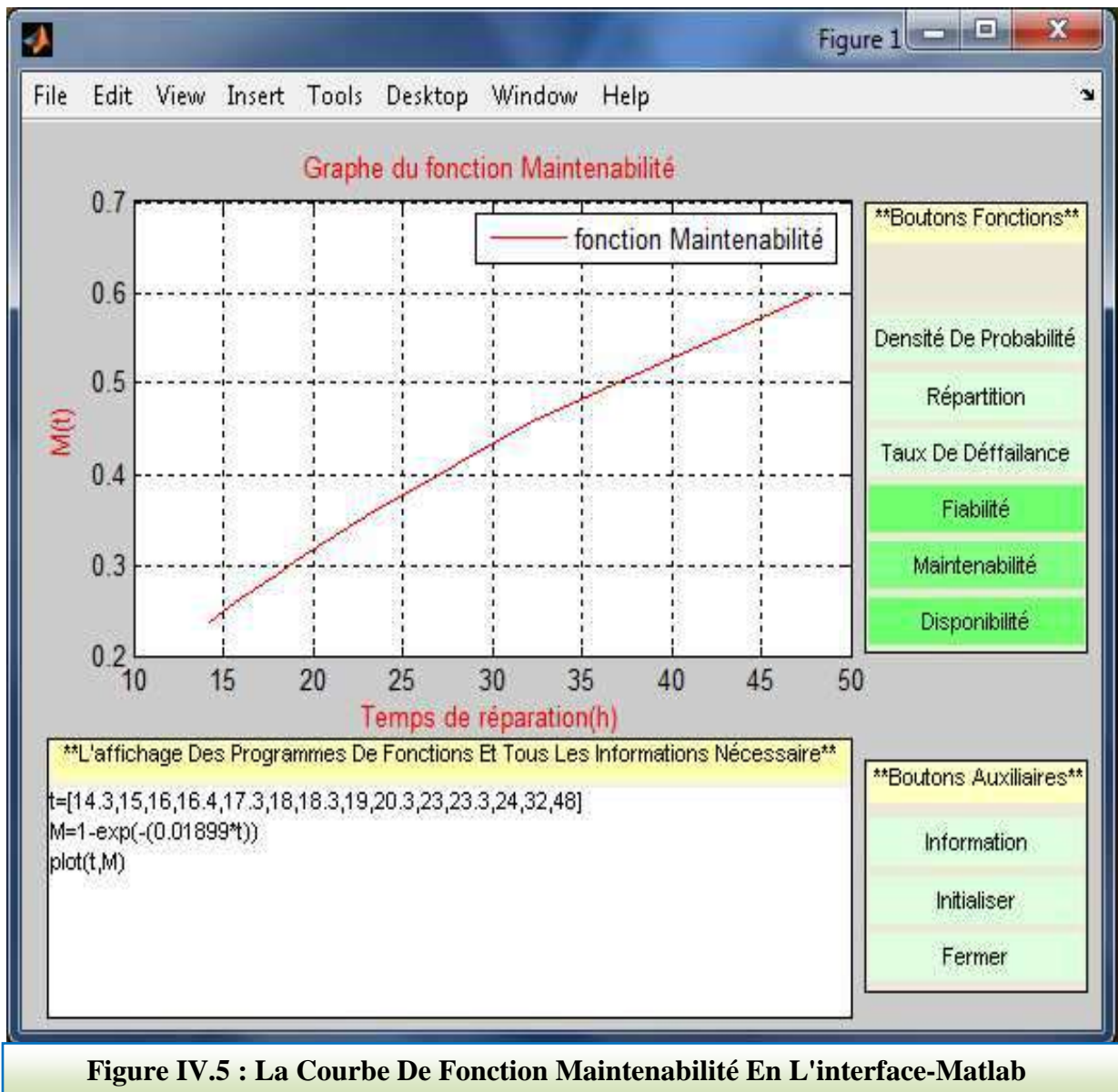
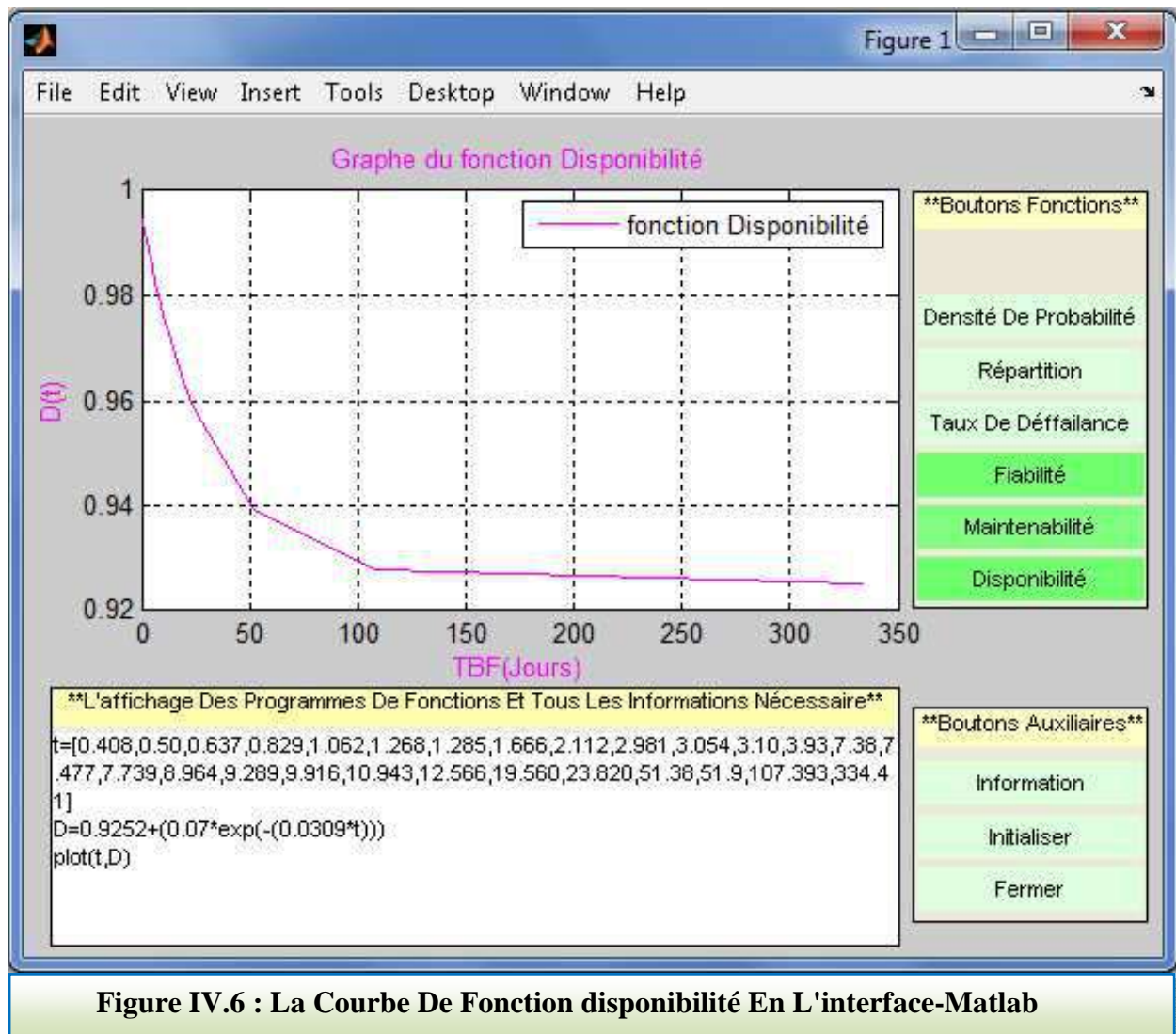


Figure IV.5 : La Courbe De Fonction Maintenabilité En L'interface-Matlab

Après l'observation du graphe de maintenabilité on déduit que nous avons peu de chance pour que la réparation se fasse dans les meilleures conditions possibles.

Pour l'amélioration de la maintenabilité de pompe a boue on a proposé Le Suivant : il faut diminuer l'allongement du temps de réparation et pour cela on conseil d'appliqué la méthode de l'AMDEC.

IV.3.3. Résultats de la fonction disponibilité D (t)



Nous pouvons constater que la pompe à boue représente une meilleure disponibilité instantanée prévisionnelle donc on doit maintenir ce seuil de $D(t)$.

IV.4. Conclusion :

L'étude de maintenance (FMD) que nous avons fait à permet de faire exploiter les informations et les renseignements disponibles tels que "l'historique des pannes de la pompe à boue triplex à simple effet, ce qui donne une étude plus fiable pour une maintenance de la pompe à boue, et d'après analyse des résultats on à constater que cette pompe à boue n'est pas fiable et elle ne peut pas être maintenu pour accomplir ça fonction.

Conclusion

Le forage dans des conditions adéquates ne peut-être réalisé que si les équipements le constituant sont cohérents en matière de rendement, plus ils répondent aux exigences mieux le prix de revient au mètre foré est réduit. Nous ajouterons aussi que si les moyens humains sont réunis autour d'une stratégie commune, la réussite est quasi certaine pour le chantier.

L'équipement pompe à boue triplex à simple effet objet de notre mémoire fin d'étude est l'élément principal du système de circulation cela justifie toute l'attention que nous lui accordons pour une politique de maintenance appropriée aux spécifications et à l'environnement du travail; le choix de cette politique est subordonnée au bon déroulement de maintenance préventive et à la disponibilité de la pièce de rechange.

Le support de notre étude est la loi et le modèle de Weibull que nous avons utilisé comme base de travail complétée par des informations obtenus sur chantier à l'effet d'obtenir des graphes que nous interpréterons en résultats.

D'après analyse des graphes de l'étude de la maintenance (FMD) sur la pompe à boue triplex à simple effet on à constater que cette dernière n'est fiable puisque $R(MTBF) = 0.299$, soit une fiabilité de 29.9%, et pour ce la nous recommandons les suggestions suivantes pour améliorer notre pompe à boue :

- Pour l'amélioration de la fiabilité de la pompe à boue triplex à simple effet on propose de faire des interventions systématique chaque 29.42h;
- Pour l'amélioration de la maintenabilité de la pompe à boue on à proposer de faire diminuer l'allongement du temps réparation et pour cela on conseil d'appliqué la méthode de l'AMDEC.

Bibliographie

I. Ouvrage :

- [1] SLIMANI et DADDOU. Forage Module: M1, édition Mars 2004.
- [2] NGUYEN Jean-Paul, « forage », l'institut français du pétrole, édition 1993.
- [3] IAP (Institut Algérien du Pétrole) «les fonctions levage- rotation- pompage et circulation», Cours de forage.
- [4] ENAFOR, Document sur la pompe à boue sur chantier ENF 47.
- [5] P.MOTARD « Forage rotary; les circuits hydrauliques », édition, juin 1974.
- [6] LYONNET P. « La Maintenance: Mathématiques et Méthodes » édition Lavoisier, Tec et Doc.Paris 1992.
- [7] GEORJON A. DEBORDE R. « Maintenance Des Systèmes Industriels » éditions Hachette Technique 1994-43, Quai de Grenelle , 75905 Paris Cedex 15, I. S. B. N. 201. 020188. 4.
- [8] LANNON A. « Analyse quantitative et utilité du retour d'expérience pour la maintenance des matériels et la sécurité », édition Eyrolles , 1996.
- [9] MONCHY F. « Maintenance: Méthodes et organisation » éditions DUNOD, Paris, 2000.

II. Mémoires et thèses :

- [1] DRIDI SAMIR et YAKOBI OMAR. «Etude et maintenance d'une pompe à boue» université Mohammad bougera Boumerdes, 2005.
- [2] HABEL L, BOUCETTA OKBA. «Étude Et Maintenance D'un Compresseur Centrifuge», Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur, Faculté des hydrocarbures et de la chimie, Département de transport et équipements des hydrocarbures, université Mohamed bougara boumerdes, 2006.
- [3] BOUSSAID A. R. «Étude Et Maintenance D'un Turbo-compresseur», Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur, Faculté des hydrocarbures et de la chimie, Département de transport et équipements des hydrocarbures, université Mohamed bougara boumerdes, 2005.
- [4] BENSACI M.A. «Modèle gestion d'une maintenance intégrée au moto compresseur centrifuge k 101- a», Thèse de Magister en électromécanique présentée à la Faculté des sciences de l'ingénieur département électromécanique de l'Université Badji-Mokhtar, Annaba, 2006.

ملخص

إن حقل التنقيب أو حفارة التنقيب هي عبارة عن مجموعة من المعدات والآلات والآليات مرتبطة بينهم لإنجاز مهمة محددة بوضوح و من بين هذه المعدات نحن مهتمين بالمضخة الثلاثية اللطين سائل الحفر لأنها تلعب دورا هاما لنشر سائل الحفر بضغط مرتفع و توفير التدفق الضروري لإنجاز بنر بهذا العمل المتواضع يهدف إلى تحقيق وصف عام للمضخة الثلاثية اللطين (سائل الحفر) و إجراء دراسة الصيانة بدقة, صيانة, توفر باستخدام القانون و نموذج يبل مما يؤدي إلى الحصول على الرسوم البيانية لتفسيرها و محاولة تقديم برنامج صيانة جيد لتحسين الأداء و زيادة فترة العمل لهذه الأخيرة .

Résumé

Un chantier de forage ou plus globalement l'appareil de forage est un ensemble d'équipements, de machines et de mécanismes liés entre eux pour accomplir une fonction bien déterminée. Parmi ces équipements on s'est intéressé à la pompe à boue triplex à simple effet car elle joue un rôle important pour faire circuler le fluide de forage à haute pression et fournir un débit nécessaire à la réalisation d'un puits de forage. Ce modeste travail a pour objet de faire une description générale de la pompe à boue triplex à simple effet et de réaliser une étude de maintenance (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité) en utilisant la loi et le modèle de Weibull, pour aboutir à une interprétation des graphes obtenus et essayer de proposer un bon programme de maintenance afin d'améliorer les performances et d'augmenter la durée de vie de cette dernier.

Abstract

A drilling site or, more generally, a drilling rig is a set of equipment, machines and mechanisms linked together to perform a well-defined function. Among these equipments, attention has been paid to the single-acting triplex mud pump because it plays an important role in circulating the high-pressure drilling fluid and providing a flow rate necessary for drilling a wellbore. The purpose of this modest work is to provide a general description of the single-acting triplex mud pump and to carry out a maintenance study (Reliability, Maintainability, Availability) using the Weibull law and model to arrive at an interpretation of Graphs and try to propose a good maintenance program in order to improve the performances and to increase the lifetime of the latter.