N° d'ordre : …….. / Faculté / UMBB / 2016

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES

Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme :**MASTER**

Présenté par :

BAARA Oubaida abderrahmane

TAHRAT Moustafa

Filière : Hydrocarbures

Option : Mécanique des chantiers pétroliers

Thème :

Gestion de la stabilité de la disponibilité d'une sonde de forage par l'analyse des modes de défaillance

Devant le jury :

BENBRIK ABDERRAHMANE **président**

GUEBLI ABDELHAMID **examinateur**

ARBAOUI MOHAMED **examinateur**

HALIMI DJAMAL **encadreur**

Année universitaire 2015 / 2016

Résumé

La maintenance industrielle prend une importance croissante et se révèle être une des fonctions clés des entreprises de production moderne. Notre travail est consacré à l'étude théorique et pratique de la fiabilité des équipements au niveau de l'entreprise « ENAFOR station ENF34 », en l'occurrence, l'analyse de la fiabilité, des éléments critiques, basée sur des méthodes et des outils évolués.

Dans ce projet de fin des études nous avons utilisé les outils d'aide à la décision, en se basant sur une analyse AMDEC afin de maitriser la stabilité de la disponibilité.

Afin de concrétiser notre étude, nous avons défini les méthodes graphiques et analytiques pour déterminer les paramètres critiques, qui sont utilisés pour l'évaluation du taux de dégradation des équipements au niveau de la station ENF34 et déterminer le type de la maintenance à appliquer. Enfin, nous avons validé notre travail par une étude pratique, en choisissant les organes sensibles des équipements stratégiques du système de levage «au niveau du l'ENF34».

Cette étude nous a permis de trouver des résultats en conformité avec la réalité pratique au niveau de l'entreprise, une chose qui a eu un impact positif au niveau de la station et qui sera utilisé et suivi par les autres stations en exploitation.

Table des matières

Page

Remerciements I
Dédicace 01 II
Dédicace 02……..……III
Résumé. IV
Sommaire V
Liste des figures VIII
Liste des tableaux X
Liste des symboles XI
Introduction générale 2
.
CHAPITRE 1 PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE NATIONALE DE FORAGE
Introduction 4
1. **I.1 Historique de l'entreprise** 5
2. **I.2 L'organigrame de l'entreprise** 7
3. **I.3 Infrastructures** 8
4. **I.4 Activités de l'entreprise** 8
5. I.4.1 Les directions de l'entreprise 8
I.4.2 Forage et Work – Over 9
1. I.4.3 Présentation de la direction maintenance 10
I.5 Politique HSE de l'ENFOR 13
1. **I.6 Approvisionnement** 14
I.7 Plan rig ENF34 15
I.8 DTM et transport 16
Conclusion 17

Formatted: Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm, Tab stops: Not at 2,54 cm

Formatted: Indent: Hanging: 0,63 cm, Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm, Tab stops: Not at 2,54 cm

Formatted: Bulleted + Level: 3 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm, Tab stops: Not at 3,81 cm

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE 2 GÉNÉRALITÉS SUR LES APPAREILS DE FORAGE

1. **Introduction** 19
2. **II.1 Classification des appareils de forage** 19
3. **II.2 Description** 20
4. **II.3 Fonction levage** 21
II.3.1 Structure de la tour de forage 21
II.3.2 Mécanique de levage 22
II.3.2.1 Treuil de forage (draw works) 22
II.3.2.2 Mouflage 29
II.3.2.3 Outils de plancher 31
5. **II.4 Fonction rotation** 32
II.4.1 Table de rotation 32
II.4.2 Tête d'injection 32
6. **II.5 Fonction pompage** 33
II.5.1 Pompes de forage 33
II.5.2 Matériels annexes de la fonction pompage 33
7. **II.6 Fonction motrice et transmission** 33
II.6.1 Sources d'énergie 33
II.6.2 Systèmes de transmissions de puissance 34
II.6.2.1 Transmission mécanique 34
II.6.2.2 Transmission électrique 34
8. **II.7 Fonction de sécurité** 34
II.7.1 Obturateurs de tête de puits 34
II.7.2 Différents types d'obturateurs 35
II.7.3 Module accumulateurs 37
9. **II.8. Répartition des équipements de l'appareil de forage** 37
II.8.1 Équipements de fond 38
II.8.2 Équipements de surface 38
II.8.2.1 Équipements de puissance 39
II.8.2.2 Équipements de levage 39
II.8.2.3 Équipements de rotation 39
II.8.2.4 Équipements de pompage et de circulation 40
II.8.2.5 Équipements de sécurité 40
10. **Conclusion** 40

CHAPITRE 3ANALYSE DE LA MAINTENANCE ET LA FIABILITÉ

1. **Introduction** 42
III.1 Définition et norme de la maintenance 42
III.1.1 Définition de la maintenance 42

Formatted: Indent: Before: 0,31 cm, Hanging: 0,74 cm, Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm, Tab stops: Not at 2,54 cm

Formatted: Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm, Tab stops: Not at 2,54 cm

Formatted: Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm, Tab stops: Not at 2,54 cm

Formatted: Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm, Tab stops: Not at 2,54 cm

Formatted: Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm, Tab stops: Not at 2,54 cm

Formatted: Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm, Tab stops: Not at 2,54 cm

Formatted: Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm, Tab stops: Not at 2,54 cm

Formatted: Indent: Before: 0,31 cm, Hanging: 0,74 cm, Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm, Tab stops: Not at 2,54 cm

TABLE DES MATIERES

III.1.2 Fiabilité 44
III.2 Analyse de la fiabilité par les lois de probabilité 44
III.2.1Analyse de la fiabilité à partir de la loi exponentielle 44
III.2.2 Analyse de la fiabilité à partir de la loi Weibull 45
III.3 Etude et courbe de la loi de Weibull 46
III.3.1 Estimation des paramètres de la loi de Weibull 48
III.3.2 Détermination des paramètres 48

VI

III.4 Signification des paramètres 48
III.4.1 Paramètres de forme β 48
III.4.2 Paramètre d'échelle η 49
III.5 Maintenance du treuil 49
III.5.1 Maintenance préventive quotidienne 49
III.5.2 Maintenance corrective 50
III.5.3 Maintenance préventive systématique 50
III.5.4 Maintenance conditionnelle 52
III.6 Réparation et révision générale 52
Conclusion 52

CHAPITRE 04 APPLICATION DE L'AMDEC AU SYSTEME DE FREINAGE

Introduction……..54
IV.1 Analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)..54
IV.1.1 Avantages de la méthode AMDEC ..... .54
IV.1.2 Mise au point de la fiche AMDEC 55
IV.1.2.1 Analyse fonctionnelle 55
IV.1.2.2 Analyse de défaillance 56
IV.1.2.3 Critères 57
IV.1.2.4 Mesures 59
IV.1.3 Modes des défaillances 59
IV.2 Découpage de l'entreprise……60
IV.3 Classification du matériel……61
IV .4Application……..61
IV.4.1 Collecte des données 61
IV.4.2 Analyse des données 62
IV.5 Sélection de l'équipement……62
IV.5.1 Principe de la méthode «ABC»…….. 63
IV.5.2 Description de l'analyse ..... ……63
IV.6 Tracé de la courbe ABC……..64
IV.7 Diagnostic par la méthode d'AMDEC……..64
IV.7.1 Analyse du système ..... ……..64
IV.7.2 Analyse fonctionnelle ..... ……..65
IV.7.3 Tableau de cotation ..... ……..66
IV.7.4 Analyse du freinage au niveau du treuil de forage ……66

Formatted: Indent: Before: 0,31 cm, Hanging: 0,74 cm, Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm, Tab stops: Not at 2,54 cm

Formatted: Indent: Before: 0,31 cm, Hanging: 0,74 cm, Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm, Tab stops: Not at 2,54 cm

Formatted: Indent: Before: 0,84 cm, Hanging: 1,06 cm, Bulleted + Level: 3 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm, Tab stops: Not at 3,81 cm

Formatted: Indent: Before: 0,31 cm, Hanging: 0,74 cm, Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm, Tab stops: Not at 2,54 cm

Formatted: Indent: Before: 0,31 cm, Hanging: 0,74 cm, Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm, Tab stops: Not at 2,54 cm

Formatted: Indent: Before: 0,31 cm, Hanging: 0,74 cm, Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm, Tab stops: Not at 2,54 cm

Formatted: Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm, Tab stops: Not at 2,54 cm

TABLE DES MATIERES

5. IV.8 Analyse des résultats trouvés……...…...69
IV.9 Conclusion 69
Conclusion générale 71
Bibliographie..... 72

LISTE DESFIGURES

Page

Chapitre 01 :

Figure 1.1. Organigramme de l'entreprise 7
Figure 1.2. Organisation de département maintenance pétrolier 12

Figure 1.3. Le plan de RIG ENF 34 15

Chapitre 02 :

Figure 2.1. Classification des appareils de forage..... 19

Figure 2.2. Description simplifiée d'un appareil de forage 20
Figure 2.3. Treuil de forage..... 22

Figure2.4. Arbre tambour 23

Figure 2.5. Schéma de système de frein à bandes 24

Figure2.6. Frein électromagnétique 25

Figure 2.7. Chaine de transmission..... 26

Figure 2.8. Schéma simplifié de la boite à vitesses..... 26

Figure 2.9 Circuit de refroidissement 27

Figure 2.10. Circuit d'air de Twin-stop..... 28

Figure 2.11. Schéma de mouflage..... 29

Figure2.12. Moufle fixe..... 29

Figure2.13. Moufle mobile 30

Figure 2.14.Câble de forage..... 30

Figure 2.15. Crochet de levage 31

Figure 2.16. Matériels annexe de levage..... 31

Figure 2.17. Table de rotation 32

Figure2.18.Tête d'injection..... 32

LISTE DESFIGURES

Figure 2.19. Pompes de forage 33

Figure 2.20. Transmission de la paissance diesel..... 34

Figure 2.21. Obturateur à mâchoires..... 35

Figure 2.22.L'obturateur annulaire..... 36

Figure 2.23. Module accumulateurs 37

Chapitre 03 :

Figure 3.1. Types de maintenance..... 43

Figure 3.2. Principales propriétés de la distribution exponentielle 45
Figure 3.3. Représentation de la fonction de densité pour diverses valeurs de **β**.....46
Figure 3.4. Influence du facteur de forme **β** sur la fiabilité..... 47
Figure 3.5. Influence du facteur de forme **β** sur le taux de défaillance 47

Chapitre 04 :

Figure4.1. Diagramme d'Ishikawa 56

Figure 4.2.Découpage de l'entreprise..... 60

Figure 4.3.Découpage des équipements 60

Figure 4.4.Découpage de l'atelier des équipements de levage..... 61
Figure4.5. Histogramme fiabilité 62

Figure 4.6. Histogramme fiabilité et Courbe ABC 64

Figure 4.7.Découpage fonctionnel de l'appareil de freinage 65
Figure 4.8. Analyse fonctionnelle..... 65

Figure 4.9. Histogramme de criticité 68

LISTE DESFIGURES

LISTE DESFIGURES

LISTE DESTABLEAUX

Page
Tableau 3.1. Maintenance du treuil notionnel110UE 51

Tableau 4.1. Exemple de type AMDEC – moyen de production..... 55

Tableau 4.2. Critère de gravité 57

Tableau 4.3. Critère d'occurrence 58

Tableau 4.4. Critère de non détection..... 58

Tableau 4.5. Critère de criticité 59

Tableau 4.6. Modes de défaillance..... 60

Tableau 4.7. Récapitulatif des défaillances des équipements levage..... 61
Tableau 4.8. Classement des équipements 63

Tableau 4.9. Grille de cotation 66

Tableau 4.10.AMDEC du système de freinage..... 67

x

LISTE DESSYMBOLES

ENAFOR : Entreprise Nationale de Forage
SH : Sonatrach
H.S.E: Santé Sécurité et Environnement
G.S : Gestion du stock
E.U.T: Unité équipement tubulaire
Work over : Nettoyage des puits
SCR : système électrique
QHSE : Qualité-Hygiène-Sécurité et Environnement
DTM : Démontage, Transport et Montage
S R: Semi remorque
GMAO : gestion de la maintenance assistée par ordinateur
V.SAT : télécommunication par satellite
Top Drive : organe assistant de forage
HP : (Horse power)
Gray valve : vanne de sécurité
Lowerkelly-valve : vanne de gaz
Drop in check valve : vanne de sécurité intégrée dans la garniture
BOP : Obturateur
ABC : Méthode de Pareto.
AMDEC : Analyse des modes de défaillances et études des criticités
COP : Coopérative
OMG : Sigle du puits
MAO : Maintenance assistée par ordinateur

Introduction Générale

Introduction générale

Le pétrole et le gaz sont les secteurs dominant de l'économie algérienne et constituent la majorité des exportations. Sonatrach étant la clé de l'économie algérienne, elle est constituée d'un groupe pétrolier et gazier qui intervient dans l'exploration, la production, le transport par canalisation, la transformation et la commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivés. Sonatrach emploie prés de 42 000 salariés (120 000 avec ses filiales), génère 30 % du PNB de l'Algérie, elle est le 12eme groupe pétrolier au niveau mondial, le premier en Afrique et dans le Bassin méditerranéen, le 4eme exportateur de GNL, le 3eme exportateur de GPL et le 5eme exportateur du gaz naturel. Pour la réalisation de son plan de charge, la sonatrach fait appel à d'autres entreprises, entre autres ENAFOR, qui est une filiale de la sonatrach.
Dans l'industrie pétrolière les travaux de forage des puits de pétrole et de gaz sont les plus difficiles et exigeant beaucoup de main d'œuvre et nécessitent de grands investissements des capitaux. Avec l'augmentation de la profondeur de forage le volume des travaux de forage et la consommation des pièces d'équipement, d'outils et de matériaux croient considérablement.

Au niveau de la station ENF34 le treuil étant l'un des principaux équipements utilisés dans le forage des puits, il est considéré comme le cœur de l'appareil de forage, puisque c'est la capacité du treuil qui caractérise la classe de la profondeur des forages que l'on pourra effectuer. Ce mémoire portant sur l'étude et l'analyse de la fiabilité du treuil de forage, est divisé en quatre chapitres:

- Le chapitre un (01) concerne la présentation de l'Entreprise Nationale de Forage (ENAFOR),
- Le chapitre deux (02) se rapporte à la description et le fonctionnement de l'appareil de forage,
- Le chapitre trois (03), est consacré aux différentes méthodes de diagnostic de la maintenance qu'on va appliquer au niveau de la station ENF34,

Enfin, dans le dernier chapitre, nous avons présenté la méthode (AMDC et ABC), pour une étude de cas pratique sur un équipement stratégique du treuil de l'entreprise ENFOR. On a utiliser la méthode ABC pour déterminer l'équipement le plus critique du treuil, en suite, on a effectué une optimisation par la méthode AMDEC sur l'équipement déterminé afin de trouver l'organe sensible et définir le type de la maintenance à appliquer.

Formatted: Bulleted + Level: 1 + Aligned at: 0,81 cm + Indent at: 1,44 cm, Tab stops: Not at 1,44 cm

Chapitre 01

Présentation de l'Entreprise National de Forage ENAFOR

CHAPITRE 1 PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE NATIONALE DE FORAGE

INTRODUCTION

L'entreprise nationale de forage « ENAFOR » a été créée par décret N° 81-170 du premier Août 1981. Elle est issue de la dissolution d'ALFOR, société mixte, créée en 1966 entre SONATRACH et SEDCO (USA).

ENAFOR a été mise en place le 1ére Janvier 1982 par l'arrêté interministériel du 31 décembre 1981 portant date d'effet de substitution de l'Entreprise ENAFOR à SONATRACH dans une partie de ses compétences en matière de forage.

L'ENAFOR devient une entreprise autonome sous la forme d'une SPA le 26 novembre 1989, suivant acte notarié par devant maître Mohamed Tahar BENABID, notaire à Alger.

Le capital de l'ENAFOR est détenu par deux actionnaires:

1. Holding SONATRACH – Services Parapétroliers: 51% ;
2. Société de Gestion des Participations: "INDJAB": 49%.

Formatted: Bulleted + Level: 1 + Aligned at: 1,9 cm + Tab after: 2,54 cm + Indent at: 2,54 cm

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

ENAFOR est membre de L'association Internationale des Entrepreneurs de Forage « I.A.D.C ». Elle est certifiée ISO 9001-Version 2000 depuis le 13 Janvier 2004.

La stratégie de l'entreprise est d'être la référence en matière de forage et de work-over en Algérie, d'exporter ses services à l'étranger et de devenir un Groupe de Service parapétrolier International.

Afin d'atteindre ces objectifs, l'entreprise établit un plan annuel et un plan à moyen terme accompagnés de projections financières dégageant les besoins financiers comparés à la capacité d'autofinancement et/ou les concours bancaires disponibles.

Voulant profiter des avantages offerts par le marché des capitaux algériens, l'ENAFOR décide de faire un appel public à l'épargne en vue de lever les fonds nécessaires pour le financement d'une partie de son programme d'investissement, par l'émission d'un emprunt obligataire.

I-1 Historique de l'entreprise :

1966 : Création d'ALFOR, Compagnie mixte entre SONATRACH et SECO, dont le capital est détenu comme suit : SONATRACH 51%, SEDCO 49%.

1981- 1982 : Dissolution de ALFOR et création de ENAFOR dont le capital est détenu par l'Etat à 100% comme suit :

Issue de la restructuration de SONATRACH, l'Entreprise ENAFOR a été créée par décret N^0 81-170 en date du l^{er} août 1981 et mise en place le 1^{er} janvier 1982 par l'arrêté interministériel du 31 décembre 1981 portant date d'effet de substitution de l'entreprise ENAFOR à SONATRACH dans une partie de ses compétences en matière de forage.

1989 : L'ENAFOR devient une entreprise autonome sous la forme d'une SPA, dont le capital, 20 000 000 DA, est détenu par le fond mines à 40%, le fond chimie/pétrochimie/pharmacie à 30%, le fond agro-alimentaire à 30%.

1995 : Le fond mine devient le principal et unique actionnaire de l'ENAFOR. Le capital social a été augmenté à 400 millions DA.

1996 : Le holding réalisation et grand travaux (RGT) se substitue au fond mines et devient le principal et unique actionnaire de l'ENAFOR.

1998 : SONATRACH, par le biais du holding SSP, est devenue l'actionnaire principal de l'entreprise de 51%. Les 49% sont détenues par le holding RGT.

2000 : Le holding réalisation et travaux de construction (RMC) se substitue au holding RGT et

devient actionnaire de 49% des parts de l'entreprise.

2001 : Augmentation du capital social à 660 millions DA.

2002 : Le holding SSP se substitue au holding SGP et devient actionnaire de 51% du capital social.

1.- Le holding SGP-TRAVEN se substitue au holding RMC et devient actionnaire de 49% des parts.

2.- Augmentation du capital social à 4 milliards DA.

Formatted: Bulleted + Level: 1 + Aligned at: 0,78 cm + Tab after: 1,41 cm + Indent at: 1,41 cm, Tab stops: Not at 1,27 cm

2004 : L'ENAFOR est certifiée ISO 9001-version 2000. En novembre 2004, l'ENAFOR lance l'installation du système de gestion intégré (E.R.P) SAP.

2005 : Le holding SPP « INDIAB »se substitue au holding SGP-TRAVEN et devient actionnaire de 49% des parts.

2006 : La SONATRACH devient le principal et unique actionnaire par le rachat des 49% des parts du holding SPP « INDJAB ».

I-2 L'organigramme de l'entreprise :

Figure 1.1 Organigramme de l'entreprise [2]

I-3 Infrastructures

L'ENAFOR possède, à Hassi Messaoud, des installations servant de support pour tous ses chantiers (forage ou Work-Over).

Ces installations sont constituées :

1. D'une base pour son administration : siége social à Hassi Messaoud ;
2. Base résidentielle ;
3. De bases opérationnelles : forage, work-over, transport, base équipements tubulaire, revamping yard ;
4. D'ateliers mécaniques, ateliers d'usinage et fabrication, atelier de réparation des équipements électriques ;
5. D'atelier pour la maintenance et les réparations de son parc de véhicules roulants, véhicules légers mais surtout sa flotte de camions lourds spécialement conçus pour le DTM (démontage, transport, et montage) en zone désertique des chantiers de forage.

I-4 Activités de l'entreprise :

I-4-1 Les directions de l'entreprise :

- ✓ **Direction Work-Over**

Assure, contractuellement, l'activité d'entretien des puits pour le compte du client, cela en mettant à sa disposition les moyens humains et matériels nécessaires (appareils de forage, personnel,…).

- ✓ **Direction engineering**

Cette fonction est responsable du développement et de la mise en service des nouveaux équipements et moyens de production.

- ✓ **Direction maintenance pétrolier**

Cette fonction est chargée de la maintenance et de la rénovation de l'ensemble du matériel équipant les appareils de forage, y compris les équipements tubulaire

Formatted: Bulleted + Level: 1 + Aligned at: 0,78 cm + Tab after: 1,41 cm + Indent at: 1,41 cm, Tab stops: Not at 1,27 cm

Formatted: Indent: Before: 0,95 cm, Hanging: 0,63 cm, Bulleted + Level: 3 + Aligned at: -0,44 cm + Indent at: 0,31 cm

Formatted: Indent: Before: 0,95 cm, Hanging: 0,63 cm, Bulleted + Level: 3 + Aligned at: -0,44 cm + Indent at: 0,31 cm

Formatted: Indent: Before: 0,95 cm, Hanging: 0,63 cm, Bulleted + Level: 3 + Aligned at: -0,44 cm + Indent at: 0,31 cm

- **Direction transport**

Cette fonction est responsable du transport, de livraison du matériel de forage par des moyens appropriés (grues, chariots élévateurs, véhicules spéciaux,…), de transport des personnes, de la maintenance et de la rénovation des véhicules et les engins.

- **Direction approvisionnement et gestion des stocks**

Cette fonction réalise les achats en consommables, pièces de rechange et des matériels d'investissements pour les structures de l'entreprise, elle gère l'investissement et les stocks des magasins dont elle est responsable.

- **Direction ressources humaines**

Cette fonction est responsable du recrutement, de la formation et la gestion du personnel, de la bonne application de la législation de travail et de la relation avec les organismes extérieurs officiels

- **Direction technologie de l'information**

Cette fonction est responsable des études des marchés, des orientations du développement de nouvelles prestations ou de nouveaux créneaux, des opérations de soumission et de suivi de contrats de prestation devant être réalisés par l'entreprise.

- **Direction finances et comptabilité**

Cette fonction est responsable de la gestion, de la disposition des structures de l'entreprise, des moyens financiers nécessaires à leurs activités en accord avec les objectifs fixés.

- **Direction planification et control de gestion**

Cette fonction est responsable de l'établissement et de suivi du budget de l'entreprise, de la réalisation des études économiques et de la mise en place des schémas d'organisation.

I-4-2 Forage et Work-Over

Pour remplir ses missions, ENAFOR dispose d'un parc de 33 appareils de forage (dont 04

Formatted: Bulleted + Level: 1 + Aligned at: 0,63 cm + Indent at: 1,27 cm, Tab stops: Not at 1,27 cm

Formatted: Indent: Before: 0,95 cm, Hanging: 0,63 cm, Bulleted + Level: 3 + Aligned at: -0,44 cm + Indent at: 0,31 cm

Formatted: Indent: Before: 0,95 cm, Hanging: 0,63 cm, Bulleted + Level: 3 + Aligned at: -0,44 cm + Indent at: 0,31 cm

Formatted: Indent: Before: 0,95 cm, Hanging: 0,63 cm, Bulleted + Level: 3 + Aligned at: -0,44 cm + Indent at: 0,31 cm

Formatted: Indent: Before: 0,95 cm, Hanging: 0,63 cm, Bulleted + Level: 3 + Aligned at: -0,44 cm + Indent at: 0,31 cm

Formatted: Indent: Before: 0,95 cm, Hanging: 0,63 cm, Bulleted + Level: 3 + Aligned at: -0,44 cm + Indent at: 0,31 cm

actuellement en construction) de type lourds, moyens et légers.

I-4-3 Présentation de la direction de maintenance

La Direction Maintenance Pétrolière (DPM) est l'administration principale de la fonction maintenance pétrolière (FMP) à ce titre elle doit assurer la disponibilité des installations de forage avec un coût minimal, la direction maintenance pétrolière est dotée de deux départements principaux qui sont :

- Département Technique (DT).

- Département Maintenance Industrielle (DMI).

Elle est dotée également d'un service de soutien et d'un service d'administration générale, les principaux objectifs de la (DMP) sont deux ordres : objectifs générales et objectifs spécifiques. La direction maintenance pétrolière dispose des ateliers spécialisés, chaque atelier dispose du personnel et des moyens nécessaires à l'accomplissement de sa mission :

a) *Atelier électricité* : Dans l'atelier électrique sont réparées les machines électriques, il comporte deux ateliers :

a.1) Atelier froid : Dans cet atelier on accomplit la révision des climatiseurs et des réfrigérants qui est le fluide gazeux réfrigérants au niveau des circuits de commande.

a.2) Atelier bobinage : Dans cet atelier on assure le bobinage, en effectuant l'extraction de l'ancien fil de la bobine et en le remplaçant par un nouveau fil.

En résume l'atelier électrique assure la réparation et la rénovation de l'équipement électrique tel que moteur électrique, les génératrices ainsi que les alternateurs.

b) *Atelier d'usinage* : L'usinage des pièces constituants les équipements de forage résultants de plusieurs formes d'usure, abrasive, rupture, fatigue et de la corrosion.

b) *Atelier de soudure*: Sa tache est d'assurer le soudage et les contrôles des équipements de forage et matériaux.

d) *Atelier de matériel de sécurité* : Il s'occupe de la maintenance des équipements de sécurité.

e) *Atelier mécanique* : Dans cet atelier on fait la révision des équipements de forage, qui nécessite une révision avant leur utilisation sur chantier.

Le chef d'atelier prépare une fiche technique pour le travail à effectuer la vérification des pièces de rechange, ainsi que la désignation de l'équipe qui va effectuer le travail.

f) *Atelier CAT SHOP* : Les mécaniciens de CAT SHOP sont des ouvriers hautement qualifiés qui ont suivi une formation de mécanicien de sonde au sein de l'entreprise, ce sont des mécaniciens polyvalents non spécialisés prêts à accomplir des travaux sur n'importe quel équipement de forage, ils ont pour mission:

- La gestion et l'exploitation optimales des moyens de maintenance mis à leur disposition

- La mise en œuvre du programme de maintenance des installations de production en liaison avec la direction forage et Work-over.

- La mise en œuvre des programmes de rénovation des installations de production en réponse à la demande de la direction engineering.

- L'exploitation des travaux de maintenance des annexes, des appareils de forage et de work over.

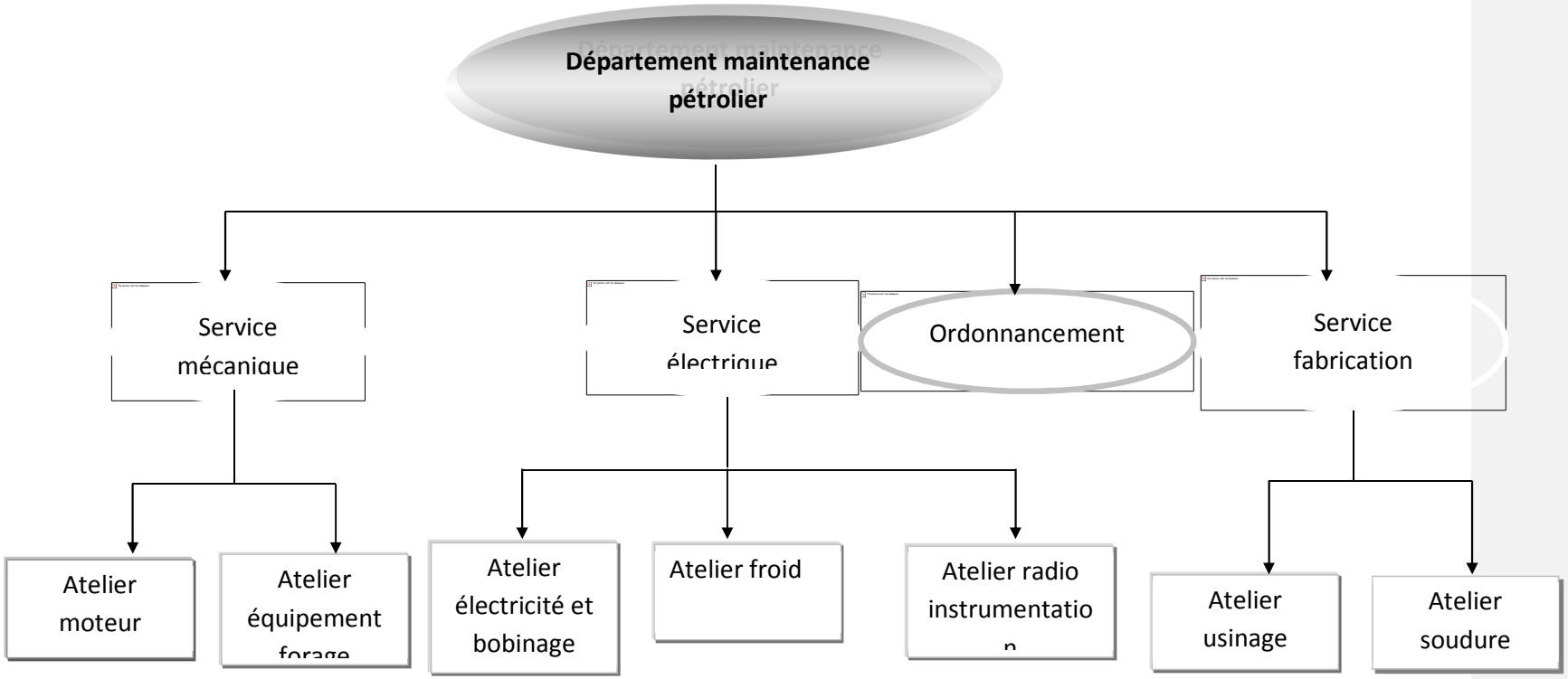

Département maintenance pétrolier
Service mécanique
Service électrique
Ordonnancement
Service fabrication
Atelier moteur
Atelier équipement forage
Atelier électricité et bobinage
Atelier froid
Atelier radio instrumentation
Atelier usinage
Atelier soudure

Figure 1-2 Organisation de département maintenance pétrolier

I-5 Politique HSE de l'ENAFOR :

La direction générale s'engage et se déclare responsable pour assurer que l'ENAFOR réalise ses opérations selon les meilleures pratiques de l'Industrie pour tout ce qui est de la gestion de la santé, de la sécurité et de l'environnement au travail.

Elle est convaincue que :

• Tous les accidents et incidents peuvent être évités et que la Direction de ENAFOR est responsable de la mise en place de tous les moyens de prévention nécessaires

• La santé et la sécurité de ses employés, de ses sous traitants, du public ainsi que la protection de l'environnement doivent jouir de la plus haute considération lors de l'exécution de forage

La direction générale a la responsabilité d'assurer que :

• ENAFOR conduit ses opérations de manière à répondre et/ou surpasser les exigences légales et réglementaires relatives à la santé, la sécurité et à la protection de l'environnement

• ENAFOR minimise les risques pour ses employés, ses sous traitants, ses fournisseurs, ses clients ainsi que le public et l'environnement;

• ENAFOR s'engage à assurer de façon continue le contrôle et l'amélioration de ses performances en matière de gestion de la santé, de la sécurité et de la protection de l'environnement

• ENAFOR s'engage à promouvoir en permanence, au sein et en dehors des lieux de travail, la santé et la sécurité de ses employés ainsi que la protection de l'environnement

• ENAFOR fournira à tous ses employés les ressources et les protections nécessaires à l'effet d'exécuter leur travail dans des conditions de sécurité optimale

• Les employés de ENAFOR et de ses sous traitants sont formés et compétents pour connaître et comprendre la nature des dangers sur les lieux de travail, les risques associés et les mesures de contrôle.

• Les employés et les sous traitants de ENAFOR respecteront les divers environnements et cultures dans lesquels l'entreprise opère.

• ENAFOR s'efforcera de travailler avec les entreprises ayant les mêmes attentes en matière de performance HSE

• Les sous traitants se conformeront aux exigences de l'ENAFOR

• Les Directeurs Opérationnels, les Cadres ainsi que le Personnel spécialisé sont responsables de la gestion de la santé, de la sécurité et de la protection de l'environnement liées aux installations mises sous leur contrôle.

• Il est attendu de l'ensemble du personnel opérant sur les sites de travail de se conformer aux exigences en matière de santé, de sécurité et de protection de l'environnement.

I-6* Approvisionnement *:

L'ensemble de la chaîne est assuré par l'entreprise, pour cela elle dispose des moyens humains et infrastructures de stockage pour les :

- Equipements de forage ;
- Pièces de rechanges ;
- Equipements divers.

I-7 Plan rig ENF34 :

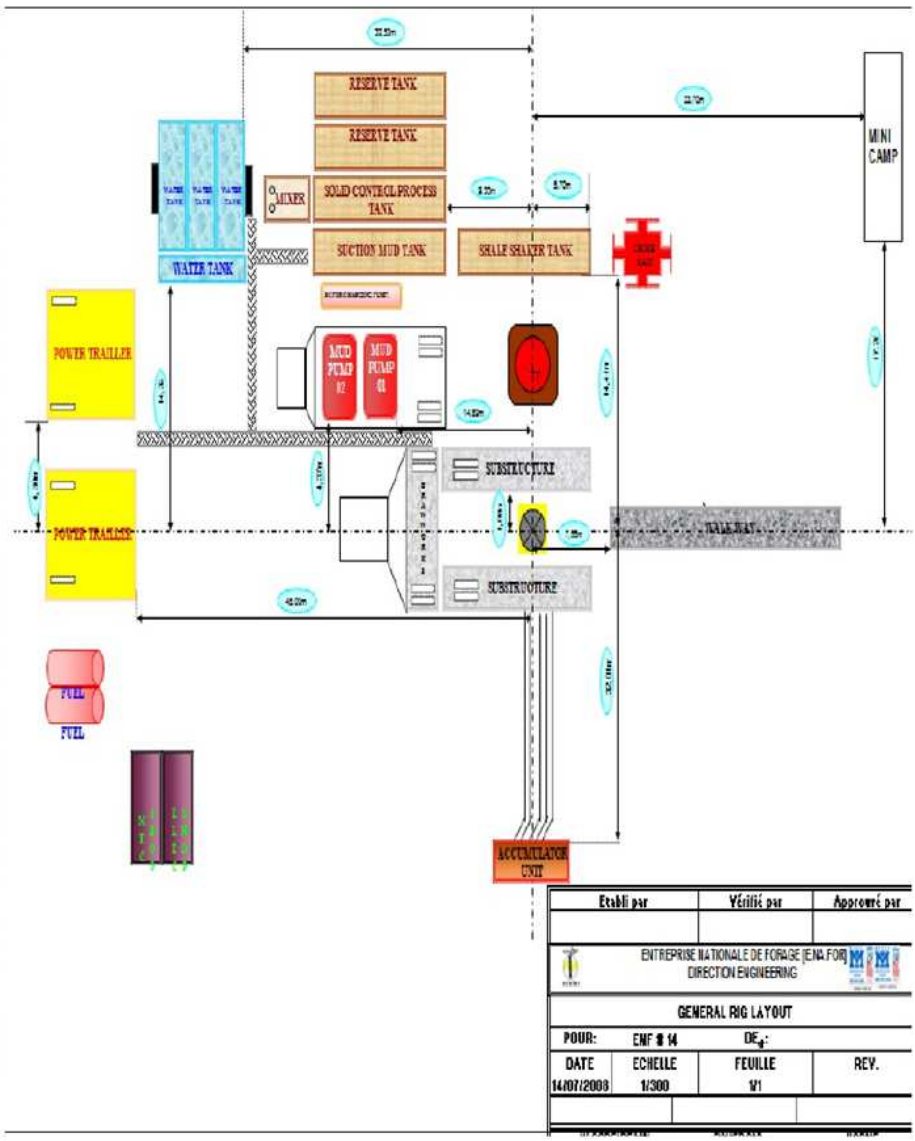


Figure 1.3 Le plan de RIG ENF 34 [1]

I.8 DTM et Transport

Les besoins de l'ENAFOR en logistique sont assurés par ses moyens propres (Déménagement, transport et montage des appareils, transport du personnel, transport du carburant, transport du matériel aux chantiers, approvisionnement des chantiers en nourritures, .etc.).

Le DTM (démontage, transport, montage), d'un appareil est l'opération qui consiste à assurer le transfert de cette appareil, d'un site a un autre, cette opération s'effectue à l'amont et à l'aval d'un forage ce qui nous mène a dire que c'est une opération autonome de l'activité de l'appareil, elle se réalise en trois phases :

1. Démontage : c'est la première phase durant laquelle les éléments constitutifs de l'appareil sont regroupés en colis transportable.
2. Transport : c'est le transfert des colis constitués, de site du départ au nouveau site de forage Work-Over.
3. Montage : il s'effectue sur le nouveau site de forage ou de Work-Over et a pour but de rendre l'appareil opérationnel.

Formatted: Bulleted + Level: 1 + Aligned at: 1,59 cm + Tab after: 2,22 cm + Indent at: 2,22 cm, Tab stops: Not at 1,27 cm

Généralement l'opération de DTM englobe le transfert de l'appareil proprement dit et celui de camp de vie.

Toutefois, dans certaines situations, cette opération peut être réduite uniquement au déplacement de l'Appareil.

Pour cela, l'ENAFOR dispose d'une importante flotte composée de:

- Véhicules Lourds : 30, 35 et 40 Tonnes pour DTM ;
- Moyens de manutention : Grues 40 Tonnes et des chariots élévateurs ;
- Véhicules légers des chantiers : Véhicules légers tous terrains 4x4 SW ; véhicules

légers utilitaires (pickup), ambulances, microbus,……..etc.[1]

Conclusion

Avec une expérience de plus de 45 ans et un professionnalisme solidement acquis dans le domaine du Forage pétrolier, ENAFOR entretient aujourd'hui avec une grande importance de fructueuses relations d'affaires qui lui ouvrent de nombreuses perspectives de prestations de service économiques qui permettent à ses activités principales, des marchés avec des clients et des partenaires internationaux

Chapitre 02

Généralités sur les Appareils de Forage

CHAPITRE 2 GÉNÉRALITÉS SUR LES APPAREILS DE FORAGE

Introduction

Le forage pétrolier est un domaine de travail très difficile et compliqué, à cause de la diversité des opérations et la complexité du matériel utilisé.
L'objectif de ce chapitre est de mettre en exergue dans un premier lieu, le principe de forage, ses principales opérations et le matériel utilisé.

II-1 Classification des appareils deforage :

La classification des appareils de forage se fait en première approche par la capacité de profondeur de forage maximale (figure 2.1). Les appareils de forage peuvent être classes comme suit :

- ✓ Appareils léger
- ✓ Appareils moyen
- ✓ Appareils lourd
- ✓ Appareils ultralourd

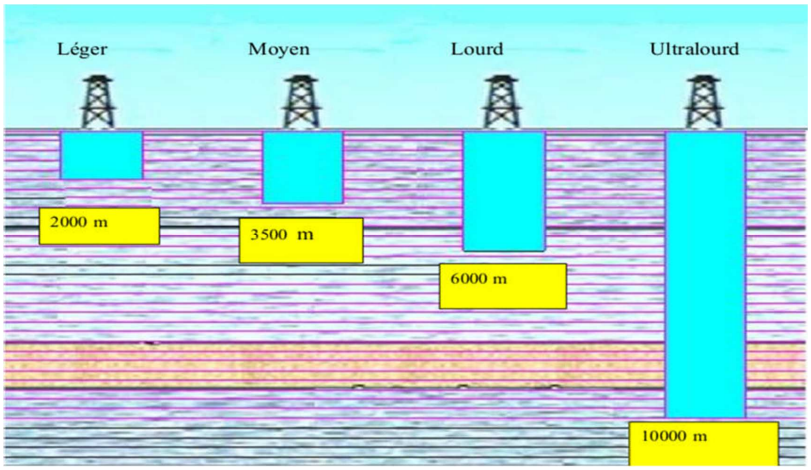


Figure 2.1. Classification des appareils de forage [4]

Ces performances de profondeur se traduisent par un poids au crochet de levage compte tenu des poids des garnitures. En prenant en compte les temps de manœuvre, on peut évaluer la puissance maximale que devra développer le treuil de forage.

Formatted: Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm

Formatted: Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm

Formatted: Indent: Hanging: 1,49 cm, Bulleted + Level: 3 + Aligned at: 2,56 cm + Indent at: 4,06 cm

La puissance du treuil est donc une caractéristique primordiale pour déterminer un appareil de forage (10 HP de puissance au treuil pour chaque 100 pied de forage). Pour les catégories d'appareils cités précédemment, on peut les classer selon la puissance delevage.

- ✓ Appareil léger : 4921'– 6561'(1500–2000m) 650HP
- ✓ Appareil moyen : 11482'(3500m) 1300HP
- ✓ Appareil lourd : 19685'(6000m) 2000HP
- ✓ Appareil super lourd : 26246'–32805' (8000 –10000m) 3000HP

II.2 Description[3]

Formatted: Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm

L'appareil de forage est constitué d'un ensemble d'équipements, des techniques opératoires et un personnel très qualifié. La (figure 2. 2) montre les différents organes constituants un appareil de forage standard.

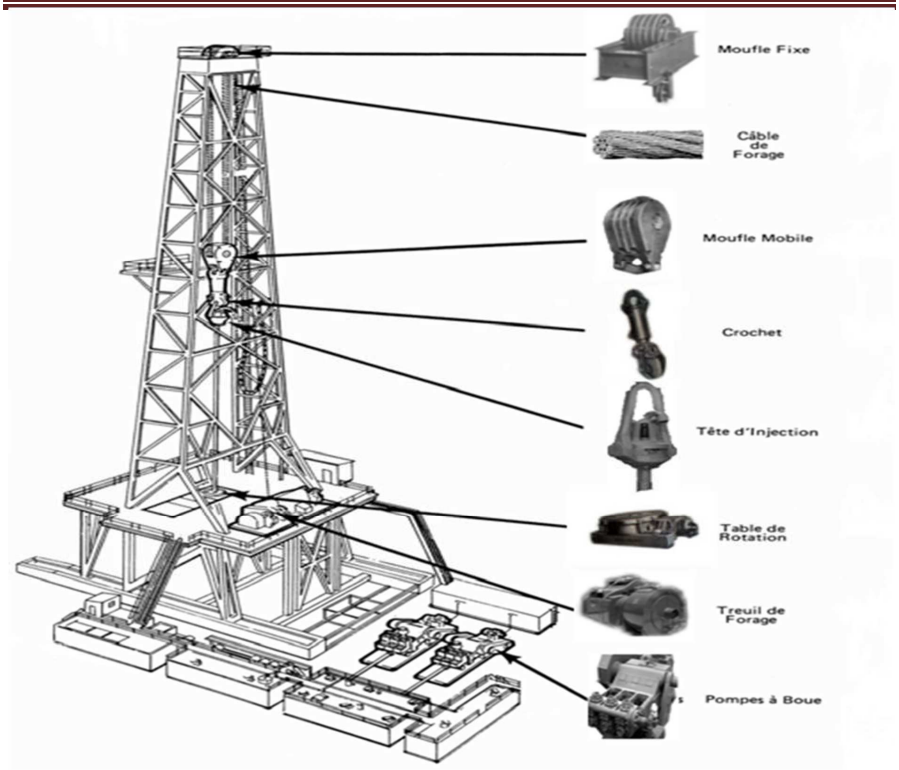


Figure 2.2. Description simplifiée d'un appareil de forage [5]

II.3 Fonction levage :

Formatted: Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm

Cette fonction sert à assurer les manœuvres de descente et de remontée. Elle est principalement composée des éléments suivants :

II.3.1 Structure de la tourdeforage

Il existe trois grandes catégories de structures : la tour, le mât et le mât haubané monté sur une remorque, ces structures ont des caractéristiques techniques spécifiques qui ont un rôle commun pendant le forage.

a) Latour

Formatted: Numbered + Level: 4 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 3,56 cm + Indent at: 4,2 cm

C'est la plus ancienne forme qui dérive de la tour construite en bois. Elle est en forme de pyramide très pointue, dont les quatre pieds s'appuient sur les sommets d'un carré, cette surface sera le plancher de travail.

b) Lemât

Formatted: Numbered + Level: 4 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 3,56 cm + Indent at: 4,2 cm

Le mât 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.

c) Le mât haubané monté surremorque

Formatted: Numbered + Level: 4 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 3,56 cm + Indent at: 4,2 cm

C'est le domaine des appareils légers et des appareils spécialisés dans le work-over

d) Substructures

Formatted: Numbered + Level: 4 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 3,56 cm + Indent at: 4,2 cm

Ces constructions répondent au besoin de surélévation du planché de forage pour laisser la place aux empilages de tête de puits ainsi que pour l'obturateur (BOP). Elles pouvant être indépendantes du mât de levage. La substructure comprend quatre supports métalliques principaux destinés à recevoir les quatre fers d'angle du mat et qui reposent sur le sol par des plaques métalliques. Ces quatre supports sont reliés entre eux par des fers horizontaux et des cornières entrecroisées.

II.3.2 Mécanique delevage :

II.3.2.1 Treuil de forage (drawworks) :

C'est le cœur d'un appareil de forage. Sa capacité caractérise un appareil deforage et indique la classe de profondeur des forages que l'on pourra effectuer. Il doitassurer:

2- Le levage de la garniture de forage et dutubage.

3- Sur certains appareils, il assure l'entraînement de la table de rotation par l'intermédiaire de cardans ou de chaînes depignons.

- L'entraînement d'un arbre secondaire permettant de dévisser et visser les tiges et les tubages(cabestan).

- Le déplacement de lourdes charges à de grandesvitesses.

Un treuil de forage est caractérisé par sa puissance maximale de levage.[4]

Figure 2.3. Treuil de forage [1]

Formatted: Indent: First line: 1,9 cm, Bulleted + Level: 1 + Aligned at: 0,06 cm + Indent at: 0,31 cm

Formatted: Indent: First line: 2,12 cm, Bulleted + Level: 2 + Aligned at: -0,08 cm + Indent at: 0,31 cm

Formatted: Indent: Before: 2,32 cm, Hanging: 0,25 cm, Bulleted + Level: 2 + Aligned at: -0,08 cm + Indent at: 0,31 cm

a) Tambour demanœuvre

Formatted: Left, Indent: Hanging: 0,99 cm, Numbered + Level: 5 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 4,12 cm + Indent at: 5,11 cm

Le tambour de manœuvre peut être lisse ou cannelé (Figure 2.4).

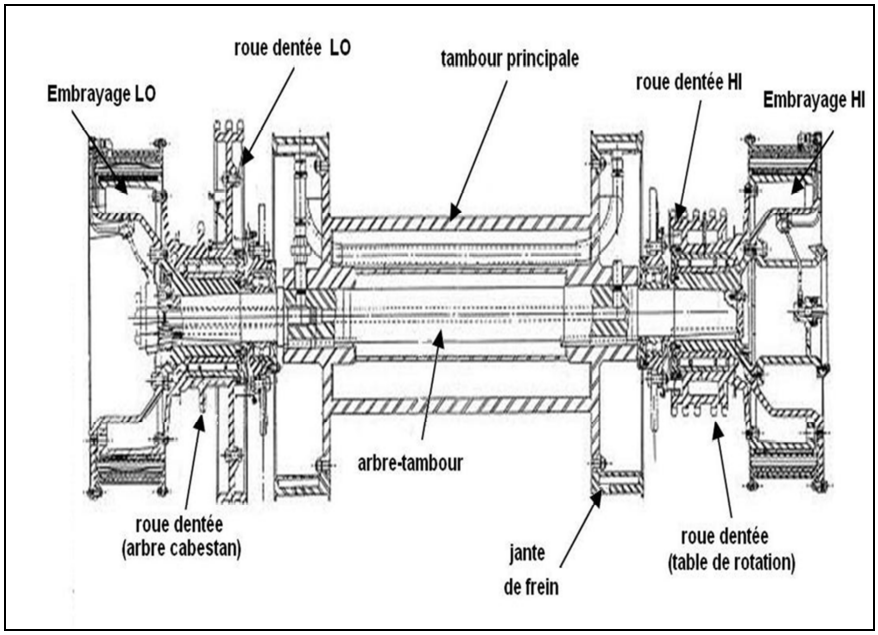


Figure 2.4. Schéma de l'arbre du tambour [3]

Les tambours cannelés permettent un enroulement correct, ce qui réduit le risque d'écrasement du câble si la charge est trop importante. Le diamètre d'un tambour doit être égal au moins à 20 fois le diamètre du câble et la longueur minimale du fût d'un tambour ne doit pas permettre au brin actif un angle de déflexion supérieur à 1°30'.

b) Frein mécanique à bandes

Formatted: Left, Indent: Before: 4,12 cm, Hanging: 1,01 cm, Numbered + Level: 5 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 4,12 cm + Indent at: 5,11 cm

Un frein à deux bandes est schématisé sur la (figure 2.5). Les bandes (1) embrassent les jantes (2) du tambour dans les limites comprises entre 270° et 330°, elles sont liées par l'un de leurs bouts à la barre d'équilibrage (7) à l'aide du boulon (5) et par l'autre bout, à la manivelle (3) de petit arbre de frein (4). La barre d'équilibrage sert pour distribuer régulièrement l'effort entre lesbandes.

Les bandes de freins portent du coté intérieur des sabots en matériau de friction qui adhèrent aux jantes de frein.

L'arbre de frein porte à gauche le levier de frein (8).

Les bouts des bandes attachés aux barres d'équilibrage restent fixes pendant le freinage. Les bouts attachés à la manivelle de l'arbre de frein sont tendus lorsqu'on actionne le levier, alors que les patins serrés contre les jantes freinent le tambour.

Les jantes de frein doivent être refroidies à l'eau pour éviter les surchauffes pendant la descente du train de tiges lors du freinage.

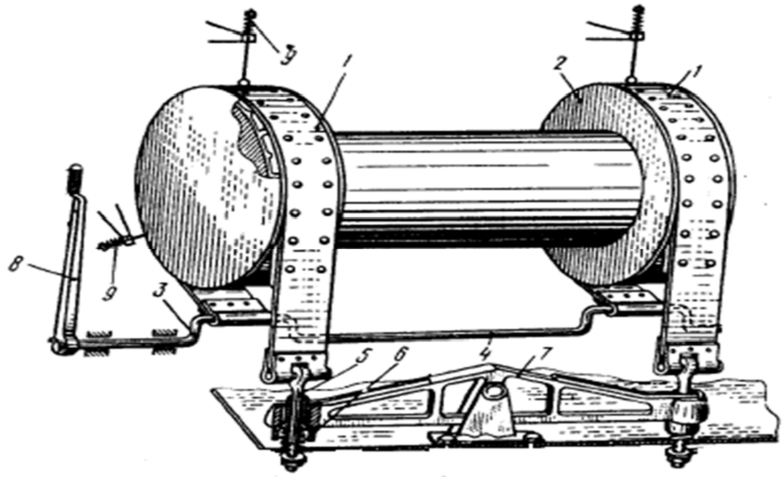


Figure 2.5. Schéma de système de frein à bandes [1]

~~2~~1- Bande de frein ; 2- Jante de frein ; 3- Manivelle assurant la tension de la bande ; 4- Petit arbre de frein ; 5- Boulon de fixation du bout fixe de la bande ; 6- Douille ; 7- Barre d'équilibrage ; 8- Levier de frein ; 9- Ressort derappel

Formatted: Indent: First line: 0 cm, Numbered + Level: 1 + Numbering Style: 1, 2, 3, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 0,86 cm + Indent at: 1,31 cm

c) Freinsauxiliaires(électromagnétique)

Formatted: Left, Indent: Before: 4,02 cm, Hanging: 0,96 cm, Numbered + Level: 5 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 4,12 cm + Indent at: 5,11 cm

Le frein auxiliaire électromagnétique a pour rôle de freiner progressivement le tambour de manœuvre pendant la descente de la garniture de forage du à son poids, du tubage ou la descente du mat. Le frein auxiliaire est monté sur le même skid du treuil, sa liaison avec l'arbre du tambour est obtenue par un clabot à dentures. Le principe de fonctionnement du frein électromagnétique est le suivant :

- lorsqu'un courant électrique traverse une bobine, celle-ci forme un aimant et crée un champmagnétique.
- Le rotor en rotation traversant ce champ magnétique crée des courants de Foucault, qui développent des lignes de force qui attirent le rotor pour le forcer à ralentir progressivement jusqu'à faciliter le freinage avec le frein àbandes.

Le frein auxiliaire doit être refroidit par un débit d'eau d'aspiration égal à celui de retour pour assurer un bon refroidissement et maintenir la température d'eau pour éviter la formation des vapeurs dans le frein. L'eau de refroidissement doit être traitée car l'eau salée contenant du calcaire provoque une cavitation et la restriction entre le rotor et lestator.

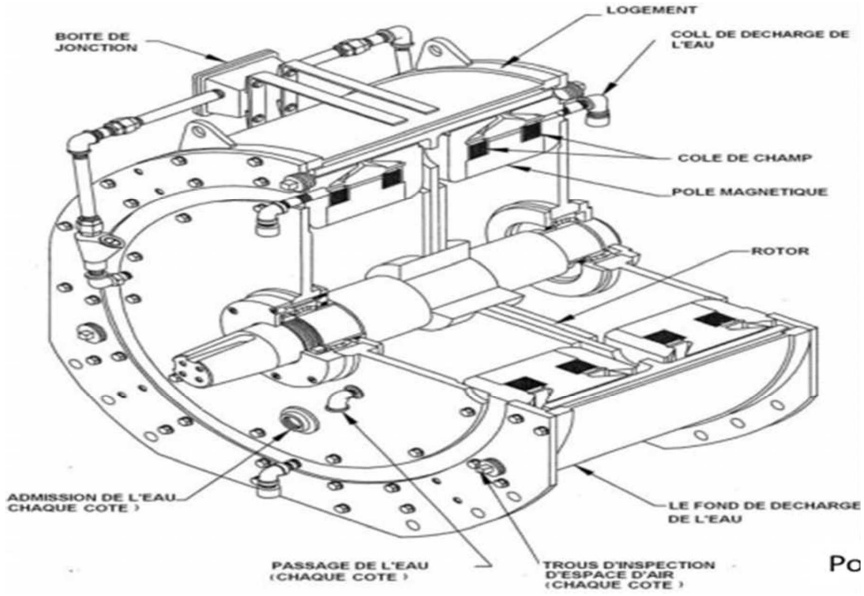


Figure 2.6. Freinélectromagnétique[3]

d) Cabestans

Situés de part et d'autre du tambour de curage, les cabestans servent au blocage, déblocage, vissage et dévissage de la garniture de forage, et à la manutention des charges sur leplancher.

Formatted: Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 1,68 cm + Indent at: 2,31 cm

Formatted: Left, Indent: Before: 4,76 cm, Hanging: 0,91 cm, Numbered + Level: 5 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 4,12 cm + Indent at: 5,11 cm

e) Boite àvitesses

Formatted: Left, Indent: Before: 4,93 cm, Hanging: 0,96 cm, Numbered + Level: 5 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 4,12 cm + Indent at: 5,11 cm

Elle peut être indépendante sur certains appareils de grande puissance, mais en général, elle est intégrée au treuil et est constituée de deux arbres dont les paliers de roulement sont fixés sur le châssis même du treuil, voir (figure2.7).

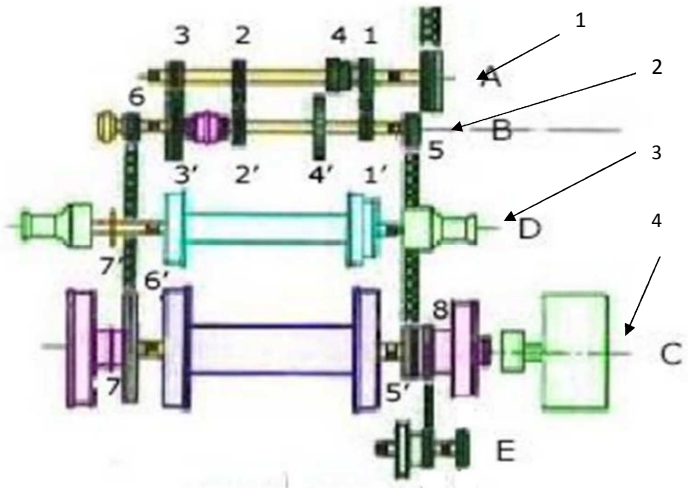


Figure 2.7. Chaine de transmission [6]

1 - L'arbred'entrée;	2 - L'arbre desortie;	3- L'arbresecondaire;	4- L'arbretambour

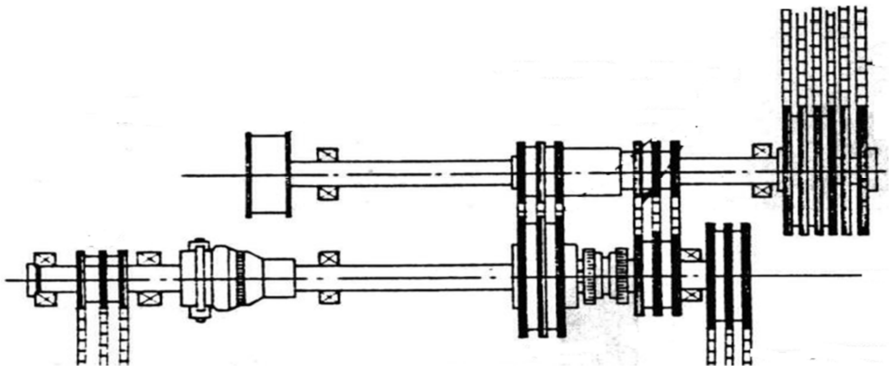


Figure 2.8. Schéma simplifié de la boite à vitesses [3]

f) Embrayagespneumatiques

Les deux embrayages pneumatiques à disque sont placés sur l'arbre secondaire pour entraîner les poupées de vissage et dévissage des tiges de forage.

Formatted: Left, Indent: Before: 3,56 cm, Hanging: 0,95 cm, Numbered + Level: 5 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 4,12 cm + Indent at: 5,11 cm

g) Refroidissement des jantes defrein

Une pompe centrifuge aspire de l'eau traitée du bac de refroidissement et la refoule vers la jante (coté bas) puis vers la jante (coté haut) pour les refroidir. L'eau sort du coté haut (dans certains treuils l'eau sort du coté low c.-à-d. l'entrée et la sortie sur le même coté) et faire le retour vers le bac, voir (figure 2.9)

Formatted: Left, Indent: Before: 3,59 cm, Hanging: 0,99 cm, Numbered + Level: 5 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 4,12 cm + Indent at: 5,11 cm

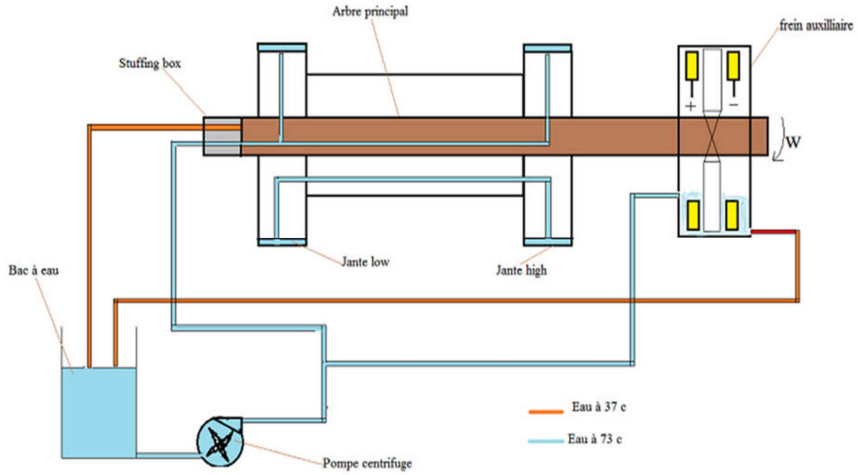


Figure 2.9. Circuit de refroidissement[3]

h) Circuitpneumatique

Formatted: Left, Indent: Before: 3,91 cm, Hanging: 0,91 cm, Numbered + Level: 5 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 4,12 cm + Indent at: 5,11 cm

Dans le treuil, on a besoin de l'air comprimé pour faire actionner les embrayages du tambour, les embrayages des poupées, les vérins pneumatique utilisés pour le freinage de secours, le vérin pneumatique utilisé pour le changement des vitesses des transmissions (pour certains treuils) et le frein d'inertie. Pour cela, on alimente le pupitre de commande du treuil par l'air comprimé à travers un filtre, un régulateur et un huileur.

Pour actionner un des composants du treuil, on utilise des manettes pour envoyer l'air comprimé à l'intérieur du composant pour le faire fonctionner et si on lâche la manette, l'air sera échappé par une soupape à décharge rapide. En générale, le circuit pneumatique du treuil comprend les composants suivants : un filtre, un régulateur, un huileur , une vanne à trois

voies, des manettes de commande, des vannes à relais, des soupapes à décharge rapide, un système de sécurité (crown and floorsaversystème ,twin stop, manette de sécurité).

i) Système (Twinstop)

Le système twin stop est conçu pour protéger à la fois les moufles et le plancher, en engageant automatiquement le frein de treuil à des points préréglés dans un sens ou dans l'autre. Le twin stop est mené par chaîne à partie de l'arbre d'entraînement principal du tambour du treuil. Au fur et à mesure que le pignon de twin stop se trouve tourner par le mouvement de treuil de forage, l'arbre de sortie du réducteur de vitesses de twin stop tourne moins d'un tour complet durant un trajet complet du moufle mobile vers le haut ou vers le bas du mat de forage. L'arbre de sortie fait tourner le disque de came jusqu'à ce que l'épaulement de la came engage le bras de commande de la soupape pilote jouant le rôle de galet de came. Celui actionne à son tour la soupape pilote, déclenchant ainsi la soupape de commande à quatre voies qui coupe l'air d'alimentation des embrayages, et dirige l'air vers le cylindre pneumatique de freinage pour arrêter le moufle mobile. Lorsque le treuil tourne en sens inverse, le twin stop fait la même opération. Le réglage des points de butée supérieur et inférieur du treuil s'effectue rapidement et aisément en desserrant deux vis et en repoussant la butée de came.

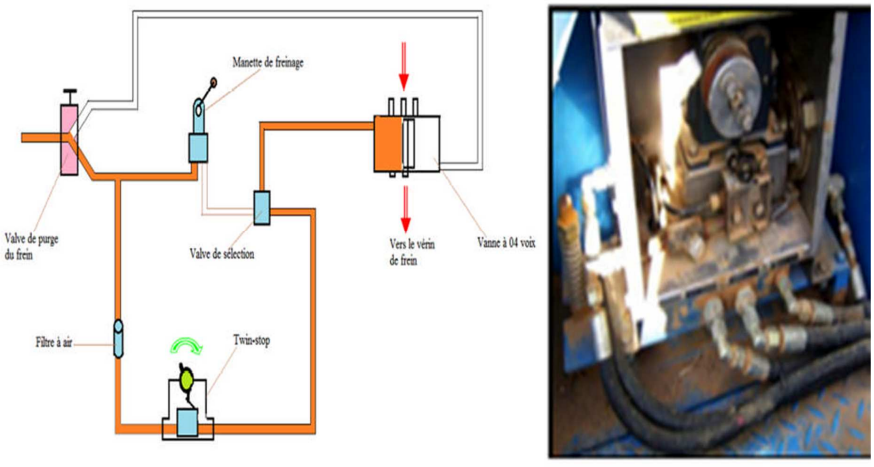


Figure 2.10. Circuit d'air du système (Twin-stop) [3]

Formatted: Left, Indent: Before: 4,06 cm, Hanging: 1,25 cm, Numbered + Level: 5 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 4,12 cm + Indent at: 5,11 cm

II.3.2.2 Mouflage

Le système de mouflage comprend essentiellement le moufle fixe, le moufle mobile et le câble de forage. Le schéma (figure 2.11) représente l'ensemble du chemin du câble de forage et les différents composants qui le constituent.

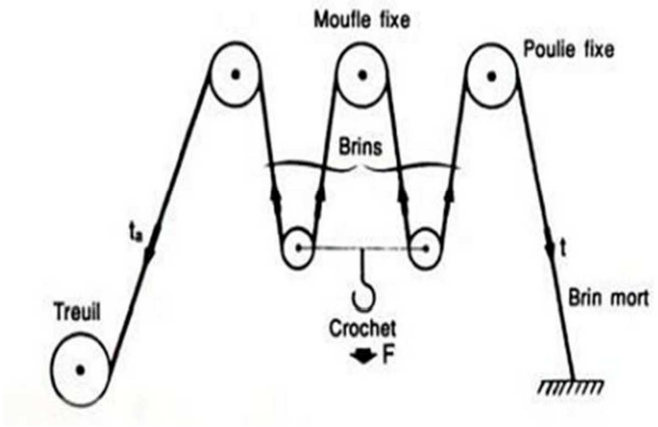


Figure 2.11. Schéma du mouflage[8]

a) Moufle fixe

Il est composé d'une série de poulies montées généralement sur un même axe. Ces poulies sont montées folles, c'est-à-dire qu'elles peuvent tourner librement et indépendamment autour de cet axe.

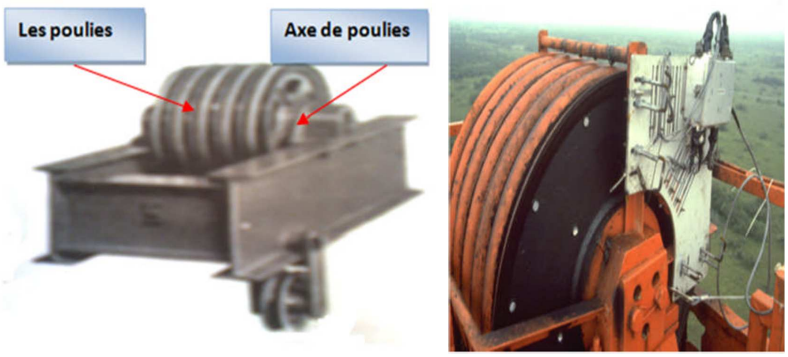


Figure 2.12. Moufle fixe

2a) Mouflemobile

Formatted: Numbered + Level: 1 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 4,31 cm + Indent at: 4,95 cm

Il est composé également d'une série de poulies montées en parallèle et folle sur un même axe. Le nombre de poulie est égale la moitie du nombre de brins.

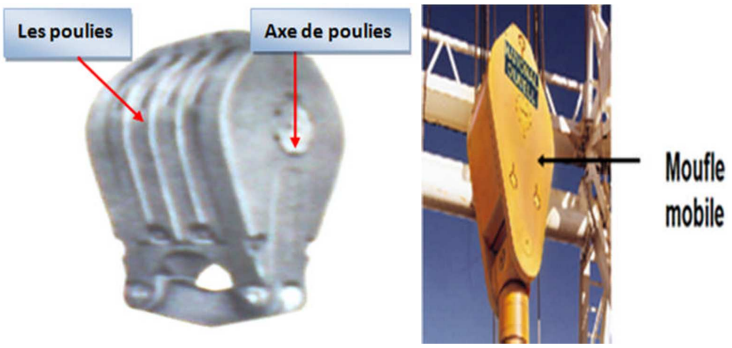


Figure 2.13. Moufle mobile

3b) Câble deforage

Formatted: Numbered + Level: 1 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 4,31 cm + Indent at: 4,95 cm

Les câbles utilisés sur l'installation de sondage sont des câbles en acier mais dont l'âme peut par fois être en chanvre. Autour de l'âme sont enroulés des torons, chacun de ces torons étant composés d'un certain nombre de filsd'acier.

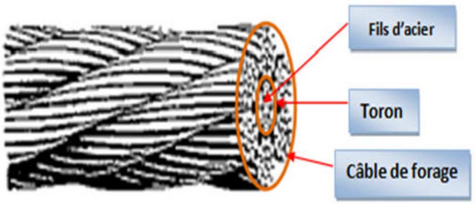


Figure 2.14.Câble de forage

4c) Crochet delevage

Formatted: Numbered + Level: 1 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 4,31 cm + Indent at: 4,95 cm

Se trouve suspendu directement au moufle mobile. Un système de roulement à billes permet la rotation du crochet autour de son axe sans entrainer celle du moufle mobile. Cette rotation est néanmoins limitée en partie par un système de verrouillage. Un ressort puissant permet à chaque opération de dévissage des éléments de train de sonde un dégagement vers le haut de la partie supérieure, ce qui évite la détérioration de filetage.

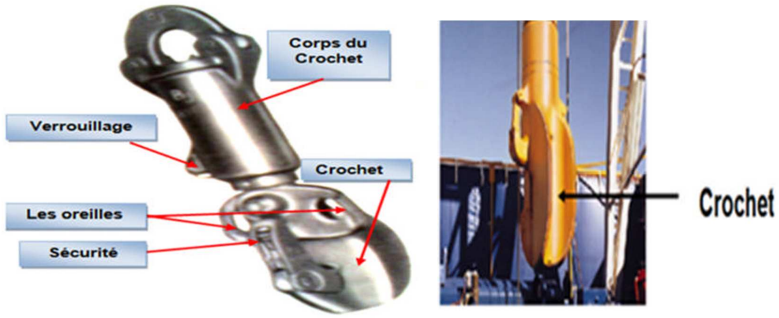


Figure 2.15. Crochet de levage

II.3.2.3 Outils deplancher

a) Elévateurs

Sont des élévateurs à butée, le tool-joint venant buter sur la partie supérieur de l'élévateur l'lorsque celui-ci soulève un élément de train de tige.

b) Coins deretenue

Sont destinés à maintenir le train de sonde suspendu à la table de rotation pendant le dévissage de chaque longueur.

c) Clés de serrage àmâchoires

Les clés sont au nombre de deux. Elles sont destinées à bloquer le filetage des joints après chaque vissage ou les débloquer avant chaque dévissage.

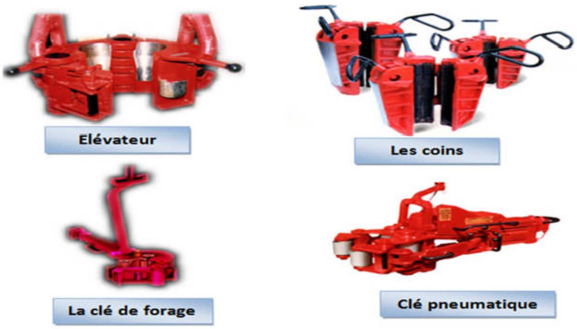


Figure 2.16. Matériels annexes de levage

Formatted: Numbered + Level: 1 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 4,31 cm + Indent at: 4,95 cm

Formatted: Numbered + Level: 1 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 4,31 cm + Indent at: 4,95 cm

Formatted: Numbered + Level: 1 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 4,31 cm + Indent at: 4,95 cm

II.4 Fonction rotation:

II.4.1 Table derotation :

Les tables de rotations sont destinées à l'entrainement d'une colonne de forage suspendue verticalement ou bien à la réception du couple moteur à réaction de la colonne, crée par le moteur d'attaque. Une table de rotation se compose d'un bâti fixe supportant une partie mobile intérieur reposant sur la partie fixe par l'intermédiaire d'un roulement à billesprincipal.

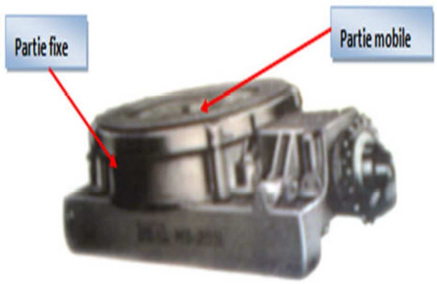


Figure 2.17. Table de rotation[5]

II.4.2 Têted'injection :

La tète d'injection représente un mécanisme qui relie le mouflage non tournant à la partie qui tourne au cours de forage ; donc elle appartient autant à l'outillage de circulation de boue qu'à l'outillage de rotation, en effet la tête d'injection joue un double rôle :

- Permet la circulation de la boue jusqu'au trépan, animé d'un mouvement derotation.
- Supporte le poids de la garniture pendant le forage.[5]

Figure 2.18.Tête d'injection

Formatted: Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm

Formatted: Indent: Hanging: 0,25 cm, Bulleted + Level: 4 + Aligned at: 1,81 cm + Indent at: 2,06 cm

Formatted: Indent: Before: 1,8 cm, Hanging: 0,25 cm, Bulleted + Level: 4 + Aligned at: 1,81 cm + Indent at: 2,06 cm

- **II.5 Fonctionpompage :**

Formatted: Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm

II.5.1 Pompes deforage :

Ces sont des pompes alternatives à pistons, le mouvement alternatif des pistons étant produit par le système classique de la bielle et d'un vilebrequin. Ces pompes de principe volumétriques, qui doivent assurer un débit compatible avec le rendement optimal du trépan utilisé.

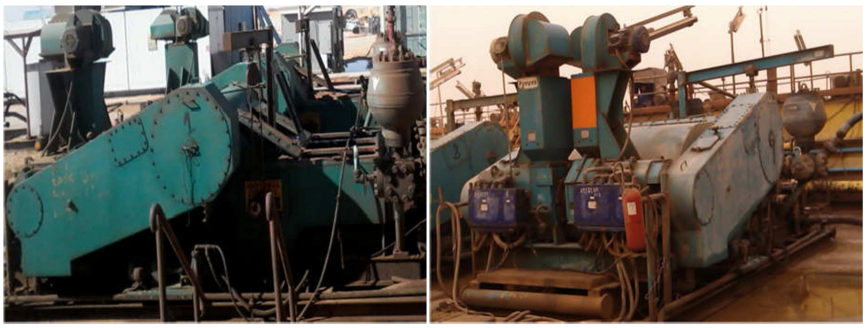


Figure 2.19. Pompes de forage

II.5.2 Matériels annexes de la fonction pompage :

Il existe des équipements supplémentaire, mais que l'on ne rencontre pas obligatoirement sur toutes les sondes :

Formatted: Bulleted + Level: 1 + Aligned at: 1,93 cm + Indent at: 2,57 cm

~~a)~~✓ Une colonne montante dans le derrick maintenu en suspension, et en dehors de l'aire de travail deplancher.

~~b)~~✓ Le flexible de refoulement et permet le mouvement vertical de la garniture de forage sur prés de deux fois la longueur duflexible.

~~c)~~✓ Un tube dégueuloir monté entre la tête de puis et le bassin à boue constitue un montage plus soigné qu'unegoulotte.

~~d)~~✓ Des pompescentrifuges.

- **II.6 Fonction motrice ettransmission**

Formatted: Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm

II.6.1 Sourcesd'énergie :

Depuis longtemps. La machine à vapeur a été remplacée par le moteur diesel comme source initiale d'énergie, mais on peut rencontrer également sur des plates formes de production. L'utilisation de puissance fournie par des turbines à gaz et même parfois le raccordement du chantier de forage au réseau de distribution électrique ; mais même si ce système présente des avantages majeurs tels qu'une énergie peu coûteuse, silencieuse,il

modifie le caractère autonome du chantier de forage ce qui dans beaucoup de cas est rédhibitoire. D'autant plus que le mode de fonctionnement procure des appels de puissance dont la répercussion sur le réseau de distribution n'est pas acceptable.

II.6.2 Systèmes de transmissions depuissance :

- **II.6.2.1Transmissionmécanique :**

Plusieurs moteurs diesels travaillent en parallèle grâce à leur interconnexion par un système de chaînes et d'embrayage compound. Les diesels sont équipés de convertisseurs de couple. Le chef de post doit gérer l'affectation des moteurs en fonction de ses besoins : en forage, un ou deux moteurs pour le pompage, un moteur pour la transmission de la table de rotation, et sa manouvre. Tous les moteurs peuvent être utilisés sur le treuil de levage

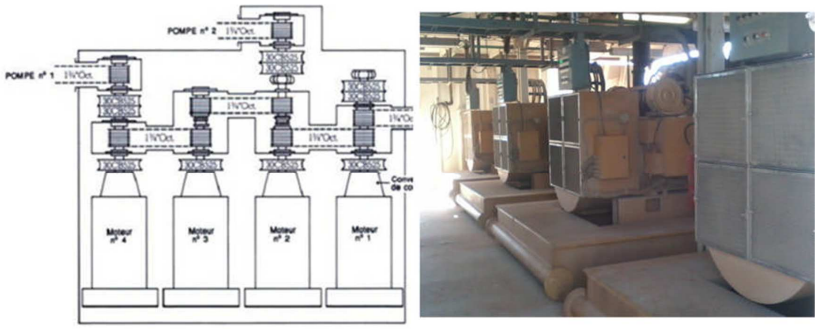


Figure 2.20. Transmission de la puissance mécanique

- **II.6.2.2 Transmission électrique :**

Les appareils de forage utilisent le système pour la consommation d'énergie électrique qui est fournie par le moteur diesel et les génératrices, l'avènement des thyristors SCR à pour rôle le développement du système AC/DC

II.7 Fonction de sécurité :

II.7.1 Obturateurs de tête depuis :

Ce sont des équipements qui permettent de fermer rapidement la garniture de forage. Leur pression de service doit être égale ou supérieure à la pression de service de l'ouvrage définie dans le programme de forage. Il va de soit que la garniture de forage doit elle-même pouvoir résister à une telle pression, tant à l'éclatement qu'à l'écrasement. En offshore flottant, il faut

Formatted: Indent: Before: 0,95 cm, Bulleted + Level: 4 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm

Formatted: Indent: Before: 0,95 cm, Bulleted + Level: 4 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm

prévoir des tiges de longueur aussi constante que possible et un lot de tiges courtes pour ajuster les garnitures.

II.7.2 Différents types d'obturateurs :

a) Obturateurs à mâchoires :

Ces obturateurs ferment l'espace annulaire autour des tiges par le déplacement d'une paire de mâchoires (Figure 2.21).

- Garniture frontale.
- Garniture supérieure d'étanchéité.
- Block métallique.

Ces mâchoires rendent étanche l'espace au-dessous d'elles. Elles peuvent être :

- **Fermeture totale :** elles permettent de fermer totalement le puits en l'absence de tiges ou de les cisailler si elles sont présentes,

- **Fermeture sur tiges :** elles sont munies d'ouvertures semi-circulaires, correspondant au diamètre extérieur des tiges, pour lesquelles elles sont prévues. Il est absolument essentiel que les mâchoires d'un obturateur correspondent exactement aux dimensions des tiges, des tubages, ou des tubings qui sont en service,

- **Fermeture variable :** elles permettent de fermer sur différentes tailles de tiges et même sur la tige d'entraînement.

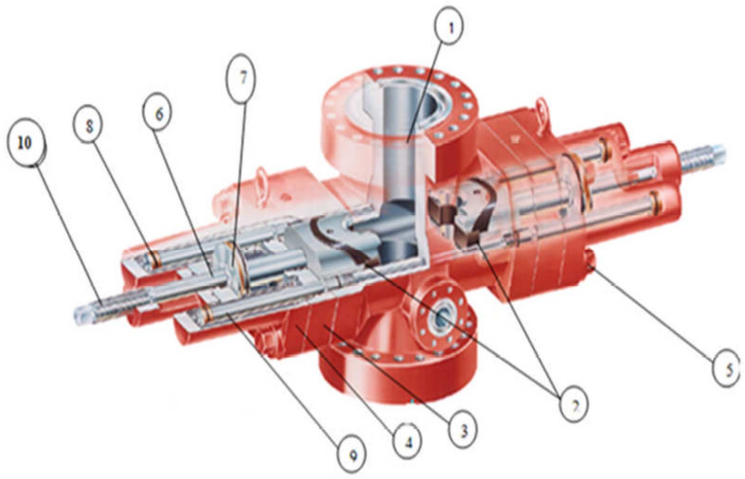


Figure 2.21. Obturateur à mâchoires

Formatted: Left, Indent: Hanging: 0,56 cm, Numbered + Level: 4 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 2,11 cm + Indent at: 2,68 cm

Formatted: Indent: Hanging: 0,74 cm, Bulleted + Level: 5 + Aligned at: 3,31 cm + Indent at: 4,06 cm

Formatted: Indent: First line: 1,5 cm, Bulleted + Level: 1 + Aligned at: -0,49 cm + Indent at: 0,31 cm

1- un alésage central	7- piston de manœuvre
2- mâchoires (rams)	8- piston (open)
3- bride intermédiaire	9- piston (close)
4- bonnet	10- vis de sécurité
5- goujons	
6- tige de piston de manœuvre	

b) Obturateurs annulaires

Formatted: Left, Indent: Before: 2,31 cm, Hanging: 0,54 cm, Numbered + Level: 4 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 2,11 cm + Indent at: 2,68 cm

Ces obturateurs emploient une membrane en caoutchouc synthétique, qui fait étanchéité sur différents diamètres de la garniture de forage. Elle peut même permettre de petits mouvements de translation et rotation, et fermer complètement le trou s'il est vide (Figure2.22).

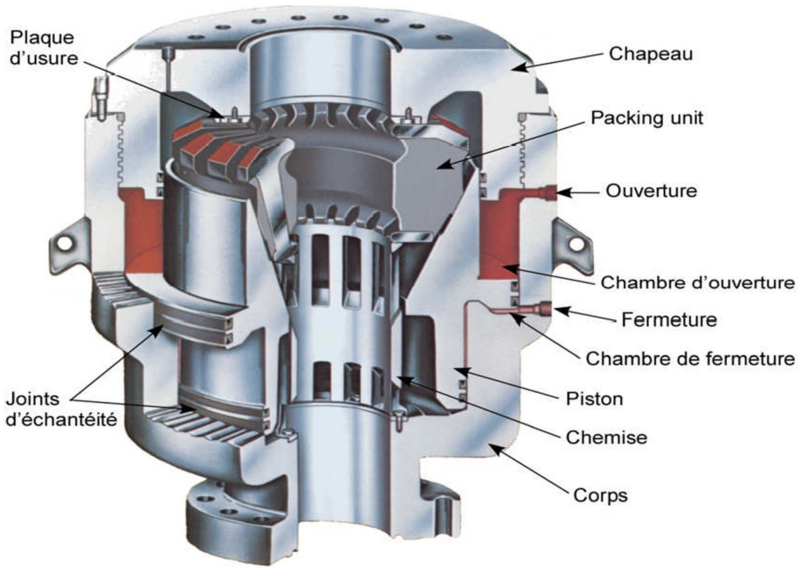


Figure 2.22. Obturateurannulaire[10]

c) Obturateurs rotatifs

Formatted: Left, Indent: Before: 2,31 cm, Hanging: 0,54 cm, Numbered + Level: 4 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 2,11 cm + Indent at: 2,68 cm

Placés au dessus des obturateurs fixes, ils permettent la rotation et la manœuvre des tiges, ils sont utilisés pour forer sous pression.

II.7.3 Module accumulateurs :

La fonction principale du module accumulateur est de fournir l'approvisionnement en fluide atmosphérique pour les pompes et de stocker le fluide opérationnel à haute pression pour le contrôle de la cheminée du BOP. Voire (figure 2.23)

Figure 2.23 Modules accumulateurs

1- Vanne by-bass	4- Vanne à 4 voire
2- Pompe pneumatique	5- accumulateurs
3- Pompe électrique	6- Vanne de purge

II.8 Répartition des équipements de l'appareil de forage :

L'appareil de forage peut être décrit sous forme de deux catégories de matériel :

2a) Matériel de fond

Cette partie regroupe l'ensemble de la garniture de forage (drill stem) :

- ✓ Outil de forage (rockbit)
- ✓ Masses tiges (drillcollars)
- ✓ Tiges de forage (drillpipes)
- ✓ Équipements auxiliaires
- ✓ Raccords divers

Formatted: Numbered + Level: 1 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 3,07 cm + Indent at: 3,91 cm

Formatted: Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 3,56 cm + Indent at: 4,2 cm

~~3~~b) Matériel desurface

Cettecatégorieetrépartieenplusieursgroupesmettantenœuvrel'outildeforage et assurant la sécurité du puits, ce sont:

- ✓ Les équipements depuissance,
- ✓ Les équipements delevage,
- ✓ Les équipements derotation,
- ✓ Les équipements de pompage et decirculation,
- ✓ Les équipements desécurité.

II.8.1 Équipements defond :

C'est l'ensemble des outils de forage et garniture qui travaillent au dessous de la surface et sont en général :

~~-~~d) Trépan

C'est l'outil qui assure sous l'effet du poids du train de sonde et de rotation la destruction des roches.

~~-~~e) Tiges deforage

Ce sont des tiges qui descendent le long du puits et qui transmettent le mouvement de rotation de l'outil (Trépan). Celles-ci permettent aussi le passage de la boue de forage.

~~-~~f) Tigescarrées

C'est une tige installée entre la tête d'injection et les tiges de forage transmettent le mouvement de rotation de la table de rotation au train de tige.

II.8.2 Équipements desurface :

C'est l'ensemble de tous les équipements qui travaillent au dessus de la surface et qui permettent d'assurer cinq fonctions principales.

Formatted: Indent: Before: 3,06 cm, Hanging: 0,74 cm, Numbered + Level: 1 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 3,07 cm + Indent at: 3,91 cm

Formatted: Indent: Before: 3,56 cm, Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 3,56 cm + Indent at: 4,2 cm

Formatted: Left, Indent: Before: 3,31 cm, Hanging: 0,78 cm, Numbered + Level: 4 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 2,11 cm + Indent at: 2,68 cm

Formatted: Left, Indent: Before: 3,31 cm, Hanging: 0,99 cm, Numbered + Level: 4 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 2,11 cm + Indent at: 2,68 cm

Formatted: Left, Indent: Before: 3,31 cm, Hanging: 0,99 cm, Numbered + Level: 4 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 2,11 cm + Indent at: 2,68 cm

a) II.8.2.1 Équipements depuissance

Formatted: Left, Indent: Before: 0,95 cm, Hanging: 0,63 cm, Bulleted + Level: 4 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm

On distingue :

- ✓ Moteurs diesel(Caterpillar)
- ✓ Génératrices
- ✓ Compresseurs

Formatted: Bulleted + Level: 5 + Aligned at: 3,56 cm + Indent at: 4,2 cm

Ils fournissent l'énergie nécessaire au fonctionnement de la sonde.

b) II.8.2.2 Équipements delevage

Formatted: Left, Indent: Before: 0,95 cm, Hanging: 0,63 cm, Bulleted + Level: 4 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm

Ilspermettent lesopérationssuivantes

- ✓ Le contrôle du poids sur l'outil(WOB)
- ✓ Les changements d'outils (manœuvres degarnitures)
- ✓ La descente des colonnes de tubages(casing)
- ✓ Les levées et descentes du mât (DTM ; Démontage- Transport - Montage)

Formatted: Bulleted + Level: 5 + Aligned at: 3,56 cm + Indent at: 4,2 cm

Ils sont principalement composés de :

- ✓ La structure de la tour de levage (mât etossature)
- ✓ Les moufles fixe et mobile (crown and travellingblocks)
- ✓ Le crochet de levage(Hook)
- ✓ Le treuil de forage (DrawWorks)
- ✓ Catwork
- ✓ Le câble de forage (Drillingline)
- ✓ Réa (dead lineanchor)

Formatted: Bulleted + Level: 5 + Aligned at: 3,56 cm + Indent at: 4,2 cm

c) II.8.2.3 Équipements derotation

Formatted: Left, Indent: Before: 0,95 cm, Hanging: 0,63 cm, Bulleted + Level: 4 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm

Ilssontprincipalementcomposés de

- ✓ La table de rotation (rotarytable)
- ✓ Des fourrures(bushings)
- ✓ Du carréd'entraînements (Kelly drivebushing)
- ✓ De la tige d'entraînements(Kelly)
- ✓ Du raccord d'usure de la kelly(kellysaversub)
- ✓ De la tête d'injection(swivel)

Formatted: Bulleted + Level: 5 + Aligned at: 3,56 cm + Indent at: 4,2 cm

d) II.8.2.4 Équipements de pompage et decirculation

Formatted: Left, Indent: Before: 0,95 cm, Hanging: 0,63 cm, Bulleted + Level: 4 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm

Ils sont principalement composés de :

Formatted: Bulleted + Level: 5 + Aligned at: 3,56 cm + Indent at: 4,2 cm

- ✓ Bacs à boue (mud tanks) +équipements
- ✓ Mixeurs
- ✓ Agitateurs (hélicomélangeurs)
- ✓ Tamisvibrants
- ✓ Déssableurs
- ✓ Déssilteurs
- ✓ Centrifugeuses
- ✓ Dégazeur
- ✓ Lesclay-ejectors
- ✓ Lesgoulottes
- ✓ Pompes à boue (mudpumps) +accessoires
- ✓ Amortisseurs depulsations
- ✓ soupapes de décharge (ou desécurité)
- ✓ Les conduitesd'aspirations etvannes
- ✓ Le flexibled'injection

Ces équipements assurent la fabrication, le pompage et la circulation ainsi que le traitement mécanique des fluides de forage.

e) II.8.2.5 Équipements desécurité

Formatted: Left, Indent: Before: 0,95 cm, Hanging: 0,63 cm, Bulleted + Level: 4 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm

Les équipements de sécurité assurent la sécurité des puits en cas de la remontée des produits forés et sont constitués de :

Formatted: Bulleted + Level: 5 + Aligned at: 3,56 cm + Indent at: 4,2 cm

- ✓ La tête depuits
- ✓ L'accumulateur depression
- ✓ Le manifold deduses
- ✓ Les vannes de sécurité (Gray valve, kelly valve lower et upper, drop in checkvalve)

Conclusion

Formatted: Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm

Nous avons étudié dans ce chapitre, décrit le fonctionnement des appareils de forage au niveau de la station ENF34.Cetteétude nous a permisd'approfondirnosconnaissance relatives à l'appareil de forage et en particuliersur le treuil. Nous avaonspusuivi son importance, de par les vitessesqu'ilpeutpermettreafin de diminuer les temps de manœuvre.

Chapitre 03

Analyse de la Maintenance et la Fiabilité

CHAPITRE 3 ANALYSE DE LA MAINTENANCE ET LA FIABILITÉ

- **Introduction**

La maintenance a été considérée longtemps comme un mal nécessaire. Dans beaucoup de domaines industriels, cette vision est toujours présente.

Dans ce chapitre, nous présenterons les types de maintenance et quelques lois de distributions qui interviennent dans l'analyse des données de vie utilisées dans une étude de fiabilité, et application de la maintenance sur treuil de forage en générale.

III.1 Définition et norme de la maintenance :

La norme X60-010 précise la définition de la maintenance des équipements industriels

III.1.1 Définition de la maintenance :

C'est l'ensemble des activités destinées à maintenir ou rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de sureté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise dans des conditions bien définies. Ces activités sont une combinaison d'activité technique, administrative et de managements. Les deux grandes familles de la maintenance sont la maintenance corrective et la maintenance préventive, voir (figure3.1)

~~1.~~a) Maintenance corrective

C'est l'«Ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien, ou la dégradation de sa fonction pour lui permettre d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement : ces activité comportent notamment la localisation de la défaillance et son diagnostic, la remise en état avec on sans modification, le contrôle du bon fonctionnement».

La maintenance palliative

Qui représente «l'activité de la maintenance corrective destinées à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie d'une fonction requise, Appelée couramment dépannage, cette maintenance palliative est principalement constituée d'action à caractère provisoire qui devront être suivies d'action curatives».

Formatted: Indent: Before: 0,95 cm, Hanging: 0,63 cm, Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm

Formatted: Numbered + Level: 1 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 0,95 cm + Indent at: 1,58 cm, Tab stops: Not at 1,27 cm

Formatted: Bulleted + Level: 1 + Aligned at: 2,51 cm + Indent at: 3,15 cm, Tab stops: Not at 1,27 cm

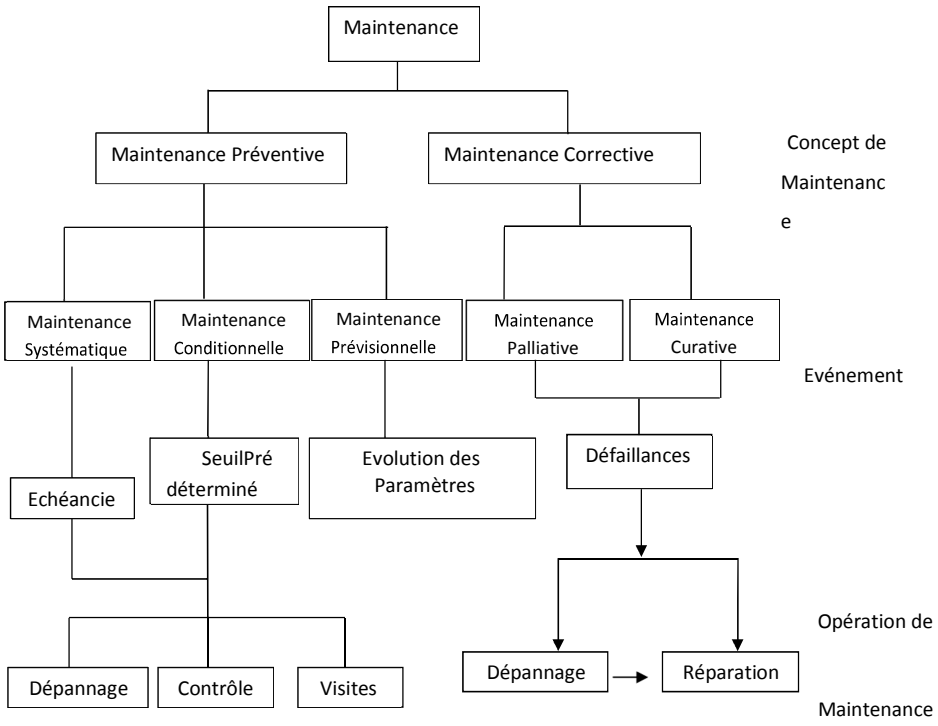


Figure 3.1. Types de maintenance.[11]

~~a)~~➢ Maintenance curative

Formatted: Bulleted + Level: 1 + Aligned at: 2,06 cm + Indent at: 2,81 cm

Qui représente «l'activité de la maintenance corrective ayant pour objectif de rétablir un bien dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Le résultat des activités réalisées doit présenter un caractère permanent. Ces activités peuvent être des réparations des modifications ou aménagement ayant pour objet de supprimer la ou les défaillances ».

~~1.~~b) Maintenance préventive

Formatted: Numbered + Level: 1 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 0,95 cm + Indent at: 1,58 cm, Tab stops: Not at 1,27 cm

C'est la « maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ou d'un service rendu ». Les correspondantes sont déclenchées selon un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminés d'unités d'usage (maintenance

systématique). Et/ou des critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service (maintenance conditionnelle).

Les types de maintenance préventive que l'on peut mettre en ouvre sont au nombre de trois : maintenance préventive systématique, conditionnelle stprévisionnelle.

Maintenance préventive systématique

C'est la maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'usage main sans contrôle préalable de l'état du bien. (Extraitnorme NF EN 13306 X 60-319).

Maintenance préventive conditionnelle

C'est la Maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent. (Extraitnorme NF EN 13306 X60-319).

Maintenance préventive prévisionnelle

On définit par la «Maintenance préventive subordonnées à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation du bien, permettent de retarder et de planifier les interventions »

III.1.2Fiabilité :

La fiabilité est la caractéristique d'un dispositif exprimée par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisations et pour une période temps déterminés (norme AFNOR X 06501).[12]

III.2 Analyse de la fiabilité par les lois deprobabilité :

III.2.1 Analyse de la fiabilité à partir de la loiexponentielle :

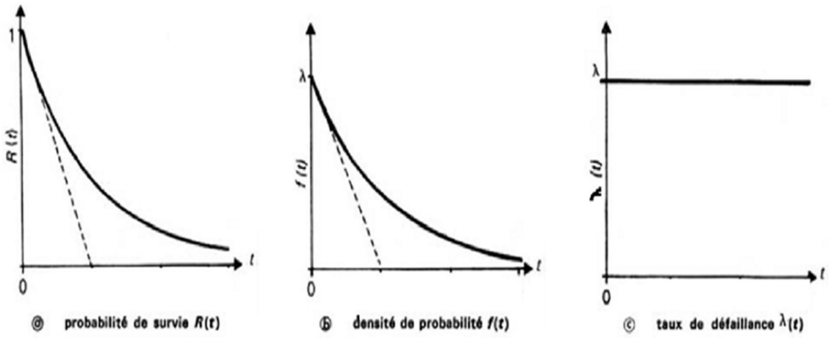
Cette loi repose sur l'hypothèse λ=constante ; dans ce cas les défaillances aléatoires émergent sous l'action de cause diverse et indépendante par position à la période suivante, dite de vieillesse, pendant laquelle un ou plusieurs modes de défaillance prédominante apparaissent (fatigue, corrosion, etc.). L'électronique se prête bien à l'utilisation de la loi exponentielle, dés lors que les composants sont déverminés.la plupart des analyses des défaillances prévisionnelles de fiabilité et de maintenabilité repose sur les hypothèses exponentielles.

Formatted: Indent: Before: 2,06 cm, Hanging: 1 cm, Bulleted + Level: 4 + Aligned at: 4,76 cm + Indent at: 5,39 cm, Tab stops: Not at 5,08 cm

Formatted: Indent: Before: 2,06 cm, Hanging: 1 cm, Bulleted + Level: 4 + Aligned at: 4,76 cm + Indent at: 5,39 cm, Tab stops: Not at 5,08 cm

Formatted: Indent: Before: 2,06 cm, Hanging: 0,75 cm, Bulleted + Level: 4 + Aligned at: 4,76 cm + Indent at: 5,39 cm, Tab stops: Not at 5,08 cm

- Fonction fiabilité: $R(t) = e^{-\lambda t}$ 3.1
- Densité de probabilité: $f(t) = \lambda e^{\lambda t}$ 3.2
- Fonction de réparation: $F(t) = 1 - R(t)$ 3.3
- Espérance mathématique: $E(t) = ½$ 3.4



ⓐ probabilité de survie $R(t)$ ⓑ densité de probabilité $f(t)$ ⓒ taux de défaillance $\lambda(t)$

Figure 3.2. Principales propriétés de la distribution exponentielle

III.2.2Analyse de la fiabilité à partir de la loiWeibull :

La loi de Weibull est une loi continue à trois paramètres, utilisée en fiabilité, plus particulièrement en mécanique. Cette loi a l'avantage d'être très souple et de pouvoir s'ajuster à différents d'expérimentations.

2. **Ses caractéristiques :**

2. Fonction densité : $f(x) = \frac{\beta}{\eta}(\frac{t-\gamma}{\eta})^{B-1} e^{-(\frac{t-\gamma}{\eta})^{B}}$

- forme. : Paramètre de β
- η : Paramètre d'échelle.
- γ :Paramètre de position ou d'origine.

3. Fonction de réparation : $F(t) = 1 - e^{-(\frac{t-\gamma}{\eta})^{B}}$ 3.6

4. Fonction mathématique : $E(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} t f(t) dt = \gamma + \eta.\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})$ 3.7

$\Gamma(1+\frac{1}{\beta})$; étant la function gamma

3➢ Variance

$$V(t) = E(t^2) - E^2(t) = \eta^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2(1 + \frac{1}{\beta})\right] \qquad 3.8$$

4➢ Courbesreprésentationde $(\gamma = 0, \eta = 1)$

La fiabilité R(t)pour une loi de Weibull est représentée par différentes courbes selon la valeur de facteur de formeβ(figure3.3).

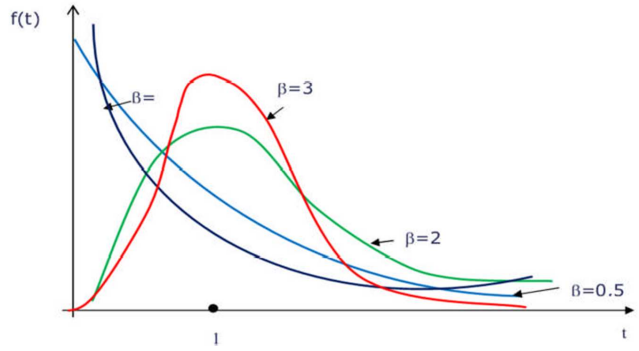


Figure 3.3. Représentation de la fonction de densité pour diverses valeurs deβ[16]

III.3 Etude et courbe de la loi deWeibull :

La fonction fiabilité est dépendante du temps comme la fonction défaillance qui lui est complémentaire

$$R(t) + F(t) = 1 \qquad 3.9$$

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-(\frac{t-\gamma}{\eta})^B} \qquad 3.10$$

✓ Courbesreprésentativesde R(t), λ (t), $(\gamma = 0, \eta = 1)$

La fiabilité R(t) pour une loi de Weibull est représentée par différentes courbes selon la valeur de facteur de formeφ, voir (figure3.4), [16]

Formatted: Bulleted + Level: 1 + Aligned at: 2,57 cm + Indent at: 3,2 cm

Formatted: Bulleted + Level: 1 + Aligned at: 2,57 cm + Indent at: 3,2 cm

Formatted: Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm

Formatted: Bulleted + Level: 1 + Aligned at: 1,56 cm + Indent at: 2,81 cm

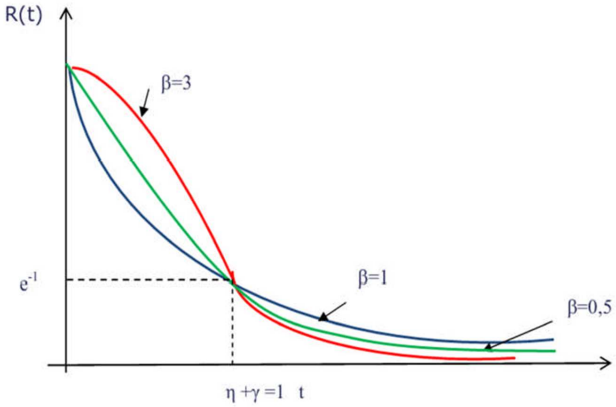


Figure 3.4. Influence du facteur de forme βsur la fiabilité

✓ Taux de défaillance en fonction

Formatted: Bulleted + Level: 1 + Aligned at: 1,56 cm + Indent at: 2,81 cm

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\frac{\beta}{\eta}(\frac{t-\gamma}{\eta})^{B-1} \; e^{-(\frac{t-\gamma}{\eta})^{B}}}{e^{-(\frac{t-\gamma}{\eta})^{B}}} \qquad 3.11$$

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta}(\frac{t-\gamma}{\eta})^{B-1} \qquad 3.12$$

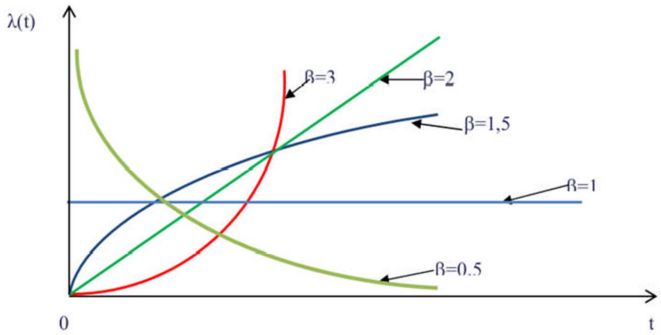


Figure 3.5. Influence du facteur de forme βsur le taux de défaillance

Formatted: Bulleted + Level: 1 + Aligned at: 1,56 cm + Indent at: 2,2 cm

- $\gamma = 0$
- $\beta = 1$

Alors: $$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)} \quad 3.13 \quad 3.14$$

On retrouve la distribution exponentielle,qu'est un cas particulier de la loi de Weibull.

$$\lambda = \frac{1}{\eta} = \frac{1}{MTBF} \qquad 3.14$$

- β≥ 3 ; On se rapproche d'une loi normale et ceci est d'autant plus vraique βest grand

III.3.1 Estimation des paramètres de la loi deWeibull :

Il existe deux méthodes pour estimer les paramètres (β ,ɣ , η)

- ✓ La première entièrement par le calcul, qui fait intervenir les équations différentielles difficiles à résoudre, de ce fait elle est peututilisée.
- ✓ La seconde par graphique , qui utilise un papier à échelle fonctionnelle dit papier de Weibull ou graphique d'Allen Plait , (figure 3.6), c'est la méthode la plus utilisée.[13]

III.3.2 Détermination desparamètres :

βest le paramètre de forme, il représente la pente de la droite. Pour le déterminer, il faut passer une droite parallèle à la droite réelle par le point 1 et on lit la valeur de βsur l'échelleβ(voir grapheprécédent).

ηest le paramètre l'échelle, il se lit à l'intersection de la droite tracée et de la ligne 63.2%.

Si le nuage des points (t_i , F_i)fait apparaitre une courbe convexe ou concave, alors le paramètre ɣa une valeur non nulle à déterminer après avoir effectué un «redressement». Ce redressement peut se faire «au jugé» ou par application d'une formule de redressement.

III.4 Signification desparamètres :

III.4.1 Paramètres de formeβ :

- β< 1: Phase de jeunesse avec défaillances de défauts de fabrication ou demontage.
- β= 1: Phase de maturité avec défaillances aléatoires, il correspond cas particulier où le taux de défaillance estconstant.
- β> 1: Phase de vieillesse avec apparition d'un mode de défaillance prédominant caractérisé par les grandes valeurs de β.

III.4.2 Paramètre d'échelleη :

Caractérisant le choix d'une d'échelles, il s'exprime dans la même unité de temps (heurs oucycles)quelesTBF.Sil'ontracelafonctiondedistribution $f_1(t)$ avec $\eta = 1$, la courbe $f_6(t)$ obtenue avec $\eta = 5$ sera divisée par 5 (en ordonnée), le temps t sera multiplié par 5 et l'aire de la distribution restera inchangée.

III.5 Maintenance du treuil :

Formatted: Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm

III.5.1 Maintenance préventive quotidienne

Ce type de maintenance préventive à actions quotidiennes, doit être appliqué à tous les équipements de l'appareil sans exception, il doit être fait quotidiennement par les mécaniciens. Le chef mécanicien et le chef de chantier doivent veiller strictement à sa réalisation, au contrôle et ils sont les seuls responsables.

Formatted: Indent: Before: 0,95 cm, Bulleted + Level: 1 + Aligned at: 8,49 cm + Indent at: 9,13 cm

- Contrôlevisueletauditif.
- Contrôle de l'alignement desbandes.
- Contrôle de l'état despatins.
- Contrôle de tout le système defreinage.
- Contrôle du niveau d'huile deschaînes.
- Contrôle du serrage des vis despatins.
- Graissage général de tout letreuil.
- Contrôle du système de maintien circonférentiel des bandes defrein.
- Contrôle des fuites d'huile et de l'étanchéité descarters.
- Contrôle du refroidissement du treuil par vérification du retourd'eau.
- Contrôle des valves de décharge desembrayages.
- Contrôle d'état des cabestans, fuites d'air ou d'huile, l'enroulement du câble sur le tambour et l'état defreinage.
- Contrôle d'état de la clé automatique, tous les éléments tournants, l'état des pignonset des mâchoires et graissagegénéral.

III.5.2 Maintenance corrective

Cette maintenance s'applique une fois qu'une défaillance est survenue sur un équipement ou un organe. La réalisation de cette maintenance corrective sur les appareils impose les conditions suivantes :

- ✓ Faire un travail méthodique.
- ✓ Avoir une bonne préparation au travail.
- ✓ Avoir une bonne gestion de toutes les informations.

Formatted: Bulleted + Level: 1 + Aligned at: 1,88 cm + Indent at: 2,88 cm

III.5.3 Maintenance préventive systématique

La maintenance préventive systématique est basée sur les opérations suivantes :

Fréquence	Operations
Chaque poste de travail	1- Vérifier le niveau d'huile et faire des appoints en huileSAE-90 2- Graisser les roulements de l'arbre du tambour, les axes, les paliers,les rouleaux guide câble, les paliers du frein auxiliaire, crabot et tous les points de graissage dutreuil 3- Vérifiez les indicateurs de pression (huile etair) 4- Vérifier la pression et la température du fluide de refroidissement (30-40psi) (température de sortie150°F=65.5°C) 5- Nettoyer letreuil. 6- Vérifiez la présence d'éventuellesfuites. 7- Purger le réservoir d'air pour éviter toute condensationd'air
Chaque semaine	1- Effectuer les opérations de la fréquence précédente (chaque jour) 2- Maintenir propre la surface de freinage. 3- Inspecter les patins defrein. 4- Ajuster si nécessaire les vis de retenue des bandes de frein pour partager la charge et avoir une usureuniforme. 5- Vérifier le jeu du balancier 1/4" sous les deux côtés dubalancier. 6- Vérifier le fonctionnement des systèmes desécurité.
Chaque mois	1- Effectuer les opérations de la fréquence précédente (chaque semaine) 2- Contrôler le graissage des chaînes et vérifier leurs tensions. 3- Vérifier le crabot treuil-freinauxiliaire. 4- Vérifier la timonerie et les bandes defrein. 5- Vérifier les

Formatted: Left, Numbered + Level: 1 + Numbering Style: 1, 2, 3, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 0,82 cm + Indent at: 1,45 cm

Formatted: Left, Indent: Before: 0,57 cm, Hanging: 0,51 cm, Numbered + Level: 1 + Numbering Style: 1, 2, 3, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 0,82 cm + Indent at: 1,45 cm

Formatted: Indent: First line: 0,58 cm, Numbered + Level: 1 + Numbering Style: 1, 2, 3, … + Start at: 3 + Alignment: Left + Aligned at: -0,34 cm + Indent at: 0,18 cm

Formatted: Indent: Before: 0,82 cm, First line: 0 cm, Numbered + Level: 1 + Numbering Style: 1, 2, 3, … + Start at: 3 + Alignment: Left + Aligned at: -0,34 cm + Indent at: 0,18 cm

Formatted: Left, Indent: First line: 0 cm, Numbered + Level: 1 + Numbering Style: 1, 2, 3, … + Start at: 3 + Alignment: Left + Aligned at: 0,18 cm + Indent at: 0,82 cm

Chaque trois mois	1- Effectuer les opérations de la fréquence précédente (chaque mois) 2- Contrôler l'état des patins de frein 3- Vérifiez l'état d'usure des jantes de freinage. 4- Contrôler l'état des jeux sur la timonerie. ~~3-~~ 5- Vérifier visuellement la surface desbandes. ~~4-~~ 6- Vérifier l'état d'usure de l'embrayage air flexclutch et tambour. 7- Vérifierl'étatd'usure de l'embrayage àdisques ~~3-~~ 8- Vérifier l'entre fer du freinauxiliaire ~~4-~~ 9- Nettoyer les trous d'aération du freinauxiliaire. ~~5-~~ 10- Procéder à un test électrique du frein auxiliaire (Résistance desbobines et la tensiond'entrée).
Chaque six mois	1- Effectuer les opérations de la fréquence précédente (chaque 3 mois) 2- Remplir de nouveau la quantité préconisée d'huile. ~~5-~~ 3- Changer le filtre àl'huile. ~~6-~~ 4- Contrôler la pompe de graissage et vérifier la tension des chaînes. 5- Vérifier les rainures d'enroulement du câble et les plaques latérales. 6- Contrôler les bandes defrein 7- Vérifier les rouleaux de guidage du câble et remplacer au besoin 8- Vérifier et serrer tous les boulons. 9- Vérifier les patins du frein d'inertie
Chaque année	1- Effectuer les opérations de la fréquence précédente (chaque 6 mois) 2- Contrôler les bandes de frein. ~~8-~~ 3- Contrôler le jeu axial et radial despaliers. ~~9-~~ 4- Contrôler les pignons et les chaînes despignons. 5- Contrôler les crabots de changement de vitesse. 6- Inspecter les paliers du freinauxiliaire. 7- Contrôler les poupées 8- Contrôlerl'usure du tambour
Chaque deux année	1- Effectuer les opérations de la fréquence précédente (chaque année) 2- Faire un diagnostic du treuil et établir le plan d'action nécessaire.
Révision générale chaque six ans	Diagnostic général du treuil et déclencher sa révision générale

Tableau 3.1 Maintenance du treuil national 110 UE

Formatted: Indent: First line: 0 cm, Numbered + Level: 1 + Numbering Style: 1, 2, 3, … + Start at: 5 + Alignment: Left + Aligned at: 0,18 cm + Indent at: 0,82 cm

Formatted: Numbered + Level: 1 + Numbering Style: 1, 2, 3, … + Start at: 8 + Alignment: Left + Aligned at: 0,82 cm + Indent at: 1,45 cm

Formatted: Indent: First line: 0 cm, Numbered + Level: 1 + Numbering Style: 1, 2, 3, … + Start at: 3 + Alignment: Left + Aligned at: 0,18 cm + Indent at: 0,82 cm

Formatted: Indent: First line: 0 cm, Numbered + Level: 1 + Numbering Style: 1, 2, 3, … + Start at: 3 + Alignment: Left + Aligned at: 0,18 cm + Indent at: 0,82 cm

III.5.4 Maintenance conditionnelle

La maintenance préventive conditionnelle se caractérise par la mise en évidence de la partie faible de l'équipement.

- Mesure des vibrations et desbruits.
- Les mesures detempérature.
- Mesure de pression dans les différentsorganes.
- Analyse des vibrations : Il se fait généralement dans les ateliers de réparation située à la baseindustrielle.
- Analyse deshuiles.

Formatted: Indent: Before: 0,95 cm, Bulleted + Level: 1 + Aligned at: 8,49 cm + Indent at: 9,13 cm

III.6 Réparation et révisiongénérale

Lorsqu'un équipement a été utilisé pendant une longue durée correspondante à sa durée de vie, celui-ci atteint un certain degré d'usure qui compromit son état fonctionnel, à cet effet des dispositions doivent être prises pour qu'on puisse encore l'utiliser pour la production. Au cours de ce travail de restauration, les parties critiques du treuil ayant besoin de réparation doivent être remises en état ou remplacées de façon à rendre le treuil plus sûr et minimiser ultérieurement le travaild'entretien.

La révision d'un treuil peut être toujours considérée comme alternative par rapport à l'achat d'un nouveau. La décision à prendre doit être soigneusement calculée et comparée à celle du remplacement. Le travail de révision comporte de nombreuses opérations du nettoyage du treuil jusqu'au contrôle de son fonctionnement. Avant d'entreprendre un travail de révision ou de réparation il faut vérifier:

- ✓ Si l'on détient toutes les informations etinstruction.
- ✓ Si l'on pouvait disposer de moyens de levageindispensable.
- ✓ Si les pièces de rechange sont en magasin, ou si elles peuvent être obtenues à temps.

Formatted: Indent: First line: 1 cm, Bulleted + Level: 2 + Aligned at: -0,69 cm + Indent at: 0,31 cm

Formatted: Indent: Before: 1,31 cm, Hanging: 1 cm, Bulleted + Level: 2 + Aligned at: -0,69 cm + Indent at: 0,31 cm

Formatted: Indent: First line: 1 cm, Bulleted + Level: 2 + Aligned at: -0,69 cm + Indent at: 0,31 cm

III.7 Conclusion

II est nécessaire de tenir en compte les différentes méthodes d'analyse de la maintenance et la fiabilité pour assurer une longue durée de bon fonctionnement en plus des avantages intéressants:

1. Diminution de l'MTTR.
2. Un gain économique.
3. Diminution des mains d'œuvres.

Formatted: Bulleted + Level: 1 + Aligned at: 0,85 cm + Tab after: 1,48 cm + Indent at: 1,48 cm, Tab stops: Not at 1,27 cm

Chapitre 04

Appllication de l'AMDEC au système de freinage

CHAPITRE4 APPLICATION DE L'AMDEC AU SYSTÈME DE FREINAGE

- **Introduction**

Dans cette partie nous allons appliquer les méthodes et les modèles de la fiabilité cités dans les chapitres précédents afin de déterminer la dégradation des organes du treuil au niveau de la station ENF34.

- **IV.1 Analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité(AMDEC) :**

L'AMDEC est l'acronyme de l'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leurs criticités. C'est une méthode de prévention pour une meilleure gestion de la maintenance. Grâce à cette méthode d'amélioration continue, le responsable va pouvoir identifier les problèmes qui pouvant survenir et mieux les pauser pour les résoudre. L'AMDEC permet d'identifier, de rationaliser les problèmes potentiels pour ensuite les résoudre. Attention, en aucun cas il est possible d'identifier tous les problèmes potentiels. L'AMDEC est donc d'autant plus importante qu'il faut sans cesse renouveler l'expérience pour arriver à une détection convenable mais qui ne sera jamais complète. L'intérêt économique est d'anticiper des problèmes au sein d'une entreprise. En effet, cela entre dans la cadre de la limitation des risques, pour un intérêt bien compris par de nombreuses entreprises qui utilisent l'AMDEC depuis sa création par l'industrie aérospatiale américaine et l'ajout de la notion de criticité par l'Europe.

IV.1.1 Avantages de la méthode AMDEC :

La méthode AMDEC confronte les connaissances de tous les secteurs d'activité de l'organisation, pour obtenir, dans un ordre que nous avons cherché à rendre significatif, les résultats suivants.

- La satisfaction de la bonne maintenance est l'objectif majeur de l'AMDEC, un objectif contre lequel personne ne peut aujourd'hui s'élever. S'il n'y avait que ce seul argument en faveur de l'AMDEC, il devrait suffire à la rendre indispensable dans nos organisations.
- Le pilotage de l'amélioration continue par la gestion. L'élaboration et la gestion de ces plans seront, avec les mises à jour régulières de l'AMDEC, un des moyens majeurs de faire vivre l'amélioration continue et de démontrer sa mise enœuvre.

Formatted: Indent: Before: 0,95 cm, Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm

Formatted: Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm

Formatted: Bulleted + Level: 3 + Aligned at: 0,95 cm + Indent at: 1,58 cm

- Contrairement à ce que certains prétendent, l'AMDEC vous aide à réduire les coûts internes d'obtention de la qualité, à condition de travailler aussi sur les effets internes (dans le cadre de l'AMDEC procédé, sur la réduction des rebuts et des retouches) : c'est un des objectives qualités majeurs de laméthode.
- Un des objectifs majeurs de l'AMDEC se traduira par la mise en place de mesures préventives, voire par l'élaboration de plans d'actions pour l'élimination des causes de défaillances.

IV.1.2Mise au point de la ficheAMDEC :

Sur le tableau 4.1, il faut définir les « lignes » et les « colonnes » nécessaires (AMDE ou AMDEC) réparties en quatre grandes familles:

4- Analysefonctionnelle
5- Analyse de défaillancepotentielle
6- Estimation de lacriticité
7- Mesures àappliquer.

Prenons un exemple standard de feuille AMDEC.

AnalyseFonctionnelle			Analyse de défaillance				Estimation de criticité				Mesures
Composant		Fonc-tion	Mode de Défai-llance	Cau-ses	Effet local	Effet Syst-ème	Gra-vité	Occur-rence	Non Déte-ction	Crit-icité	Mesures Envi-sagées
Nom	Rep										

Tableau 4.1. Exemple de type AMDEC – moyen de production.

IV.1.2.1 Analysefonctionnelle :

a. Lescomposants

Dans la première colonne figurent tout les organes composant le système, un composant est, pour un système simple, un élément intègre non dissociable.

b. Lesfonctions

Les fonctions d'un composant sont des actions souvent discrètes par rapport au système complet mais elles permettent la réalisation de la fonction globale. Uncomposantpeutavoirplusieursfonctions.

Formatted: Indent: Before: 1,02 cm, Bulleted + Level: 3 + Aligned at: 0,95 cm + Indent at: 1,58 cm

Formatted: Bulleted + Level: 1 + Aligned at: 1,02 cm + Indent at: 1,65 cm

Formatted: Indent: Before: 1,02 cm, Hanging: 0,74 cm, Bulleted + Level: 1 + Aligned at: 1,02 cm + Indent at: 1,65 cm

Formatted: Left, Numbered + Level: 4 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 3,69 cm + Indent at: 4,12 cm

Formatted: Left, Indent: Before: 3,59 cm, Hanging: 0,45 cm, Numbered + Level: 4 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 3,69 cm + Indent at: 4,12 cm

a. IV.1.2.2 Analyse dedéfaillance :

L'AMDEC a pour but premier de déceler les défaillances probables ou les points faibles. Il est donc naturel que les événements soient davantage précisés. Ainsi considérerons qu'une défaillance se caractérise par son mode d'apparition, sa cause et ses effets sur le système ainsi que sur les autres composants.

a. Modes dedéfaillance

La norme (NF X60-510), relative à la procédure d'analyse des modes fonctionnement et de leurs effets (une AMDE diffère essentiellement d'une autre AMDEC par l'absence d'évaluation de la criticité), propose une liste de trente trois modes de défaillance génériques suffisamment ouvert pour cerner tous types d'élément.

Les modes de défaillance sont étroitement liés à l'environnement et aux conditions de fonctionnement. Uneanalyse fine de la situation est indispensable.

b. Causes dedéfaillance

La recherche des causes de défaillance peut être facilitée par l'emploi de la méthode connue dite les cinq (5) M (méthode Ishikawa ou causes-effets), cette méthode montre qu'une cause d'anomalie peut être très éloignée de l'organe dans le temps et dans l'espace et avoir des origines sans lien apparemment direct. Les (5) M soit toi importants dan le mesure eu la méthode. Le diagramme Ishikawa permet aux responsables de la maintenance de bien-cerner le problème de la dégradation des équipements, figure4.1.

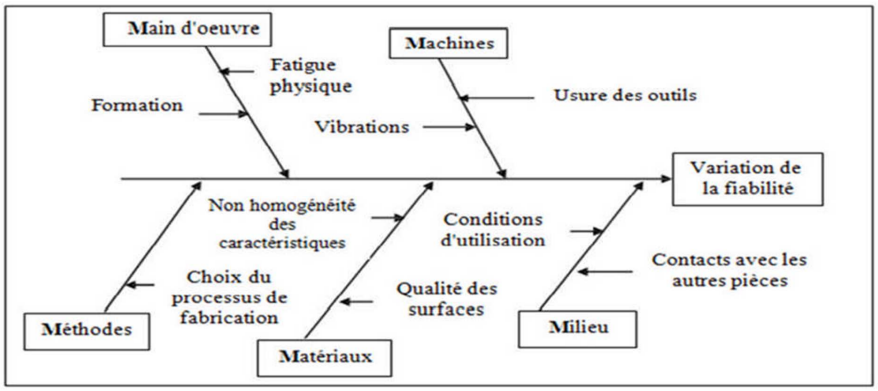


Figure 4.1. Diagrammed'Ishikawa

Formatted: Left, Indent: Before: 0,95 cm, Hanging: 0,63 cm, Bulleted + Level: 4 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm

Formatted: Numbered + Level: 5 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 3,53 cm + Indent at: 4,17 cm

Formatted: Indent: Before: 3,53 cm, Hanging: 0,45 cm, Numbered + Level: 5 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 3,53 cm + Indent at: 4,17 cm

c. Effets

Il est important pour la précision de l'AMDEC de répartir les effets d'une défaillance selon deux catégories :

- Les effets sur le système. Ils sont les conséquences directes du dysfonctionnement sur l'ensemble du dispositif. Contrairement aux moyens de détection, ils ne sont pas toujours perceptibles mais néanmoins jamais sans conséquence à plus ou moins long terme.
- Les effets locaux. Logiquement et évidemment ces cas se rencontrent lorsque l'on n'a pas pu détecter les défaillances pluttôt.

IV.1.2.3 Critères

La définition de ces critères doit être absolument rigoureuse pour ne laisser aucune place à l'interprétation afin que quiconque les utilises de manière identique. Généralement, chaque critère reçoit un indice sur une échelle qui varie de 1 à 4 en fonction de son importance. Cependant, il est tout à fait logique de se détourner de cet ordinaire et augmenter ou diminuer le découpage selon ses propres besoins ou objectif. Ainsi une entreprise qui privilégierait la fiabilité pourrait découper plus finement le critère «occurrence» en 5,6, ou 7 niveaux ou mêmeplus.

4a) Critère G(gravité)

Le critère de gravité évalue le risque pour l'utilisateur ainsi que pour le système et le service rendu. A chacun des effets d'une défaillance correspond un indice de gravité. Le critère de gravité, comme celui de l'occurrence, doit être très précis dans ses définitions, la sévérité et la gravité étant des notions subjectives, tableau 4.2.

Niveau	Définition
1	Mineure: défaillance ne provoquant pas l'arrêt de production supérieur à 5 minutes. Aucunedégradationni production défectueuse
2	Moyenne : défaillance provoquant un arrêt de 5 à 30 minutes et nécessitant une réparation se site.
3	Importante : défaillance provoquant un arrêt de 30 à 60 minutes et/ou nécessitant le remplacement d'un matériel défectueux.
4	Grave : défaillance provoquant un arrêt supérieur à 1 heure et/ou impliquant des risques potentiels pour la sécurité des personnes et des biens.

Tableau 4.2. Critères de gravité

Formatted: Indent: Before: 3,63 cm, Hanging: 0,4 cm, Numbered + Level: 5 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 3,53 cm + Indent at: 4,17 cm

Formatted: Indent: Before: 1,1 cm, Bulleted + Level: 3 + Aligned at: 0,95 cm + Indent at: 1,58 cm

Formatted: Indent: Before: 0,95 cm, Bulleted + Level: 4 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm

Formatted: Numbered + Level: 1 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 3,63 cm + Indent at: 4,13 cm

~~5~~b) Critère O(occurrence)

Formatted: Indent: Before: 3,63 cm, Hanging: 0,48 cm, Numbered + Level: 1 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 3,63 cm + Indent at: 4,13 cm

Le critère d'occurrence indique le niveau de probabilité d'apparition d'une défaillance, donc, de la fiabilité en quelque sorte. La définition des niveaux d'occurrence doit être précise comme le montre le tableau suivant. Se limiter à des termes tels que : faible, possible, certaine, ou forte consiste à prendre le risque d'écarts d'interprétation entre les différents lecteurs ou utilisateurs de l'analyse, tableau 4.3.

Niveau	Définition
1	Faible : Moins de 1 fois par semestre.
2	Possible : En moyenne 1 fois par mois.
3	Certaine : En moyenne 1 fois par semaine.
4	Forte : Possible 1 fois par jour

Tableau 4.3. Critèresd'occurrence.

~~6~~c) Critère D (nondétection)

Formatted: Indent: Before: 3,63 cm, Hanging: 0,43 cm, Numbered + Level: 1 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 3,63 cm + Indent at: 4,13 cm

Le critère D est l'indice de non détectabilité. Il s'évalue à partir du mode de défaillance par une note estimée allant de 1 (dégradation élémentaire) à 4 (défaillance soudaine), tableau 4.4.

Niveau	Définition
1	Elémentaire : Défaillance possible à éviter.
2	Aisée : Apparition d'une défaillance avec recherche et action corrective évidente.
3	Moyenne : Apparition d'une défaillance, recherche et action corrective menées par un technicien de maintenance
4	Délicate : Défaillance difficilement détectable et nécessite le démontage et un technicien spécialisés

Tableau 4.4. Critères de non détection

~~7~~d) Critère C(criticité)

Formatted: Indent: Before: 3,63 cm, Hanging: 0,48 cm, Numbered + Level: 1 + Numbering Style: a, b, c, … + Start at: 1 + Alignment: Left + Aligned at: 3,63 cm + Indent at: 4,13 cm

La criticité s'obtient en faisant le produit des indices des critères précédents. Cette valeur de criticité s'établie souvent sur une échelle de 1 à 64 (4x4x8), elle permet de connaitre à partir de ses propres critères d'évaluation le caractère critique de chacune des causes de défaillance potentielle pour chacun des composants d'unsystème.

Dans le cadre d'une conception, ces indices de criticité mettent en évidence la faiblesse de certains points appelant ainsi à une amélioration. Mais dans le cadre de l'exploitation d'un

système, les indices de criticité élevés orientent les actions à mettre en œuvre (modification, type de maintenance, conduite…) dans le but d'éviter d'un événement fâcheux.

Il est possible et même souhaitable de ne pas tenir compte uniquement des valeurs importantes de l'indice C pour engager une action. Un indice isolément très élevé, généralement un indice de 4 pour le critère G peut à lui seul conduire à une décision, alors que l'indice C n'est pas particulièrement important tableau4.5..

Niveau	Définition
C<9	Faible : Aucun problème particulier. Surveillance habituelle.
9<C<25	Acceptable : Nécessite une surveillance particulière et/ou une révision de la politique de maintenance.
C>25	Forte : Surveillance accrue. Remise en cause de la maintenance. Eventuellement, arrêt pour amélioration.
G=4	Dangereuse : Révision de la politique de maintenance et/ou modification du système. (Arrêtsisécuritéestmenacée).

Tableau 4.5. Critères de criticité

- **IV.1.2.4 Mesures**

Formatted: Indent: Before: 0,95 cm, Bulleted + Level: 4 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm

Elle est souvent décomposée suivant les rubriques possibles :

- Modifications deconception.
- Moyens de détection ou consignes de surveillance ou inspectionspériodiques.
- Dispositif de remplacement, reconfiguration,repli.
- Observations,recommandations.

Formatted: Bulleted + Level: 4 + Aligned at: 1,89 cm + Indent at: 2,88 cm

Il appartient au groupe de travail de tirer le maximum de préconisations du travail long et fastidieux, mais riche d'enseignements avec une AMDEC appliquée.

IV.1.3 Modes desdéfaillances :

Selon la norme AFNOR (X 60510), le tableau suivant donne les modes de défaillances.

1	Défaillancestructurelle (rupture)	19	Ne s'arrête pas
2	Blocage physique oucoincement	20	Ne démarre pas
3	Vibrations	21	Ne commute pas
4	Ne reste pas en position	22	Fonctionnementprématuré
5	Ne s'ouvre pas	23	Fonctionnement après le délai prévu (retard)
6	Ne se ferme pas	24	Entrée erronée (augmentation)
7	Défaillance en position ouverte	25	Entrée erronée (diminution)
8	Défaillance en position fermée	26	Sortie erronée (augmentation)
9	Fuite interne	27	Sortie erronée (diminution)
10	Fuiteexterne	28	Perte de l'entrée

11	Dépasse la limite supérieure tolérée	29	Perte de la sortie
12	Dépasse la limite inférieure tolérée	30	Court-circuit (électrique)
13	Fonctionnementintempestif (inopportun)	31	Court-ouvert (électrique)
14	Fonctionnement intermittent (discontinu)	32	Fuite (électrique)
15	Fonctionnementirrégulier	33	Autres conditions de défaillance exceptionnelles suivant les caractéristiques du système, les conditions de fonctionnement et les contraintes opérationnelles
16	Indication erronée		
17	Ecoulementréduit		
18	Mise en marcheerronée		

Tableau 4.6. Modes de défaillance

IV.2 Découpage del'entreprise :

Le problème qui se pose alors est comment de découper l'ensemble de l'équipement à des niveaux plus fins pour atteindre l'élément que l'on veut étudier, figure 4.2.

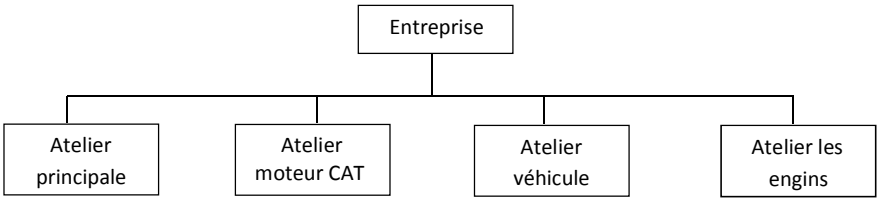


Figure 4.2. Découpage de l'entreprise

Ce premier découpage sera suivi par un second qui permet d'étudier fonctionnellement l'atelier prioritaire au niveau d'ENF34. (Atelier principale) figure 4.3.

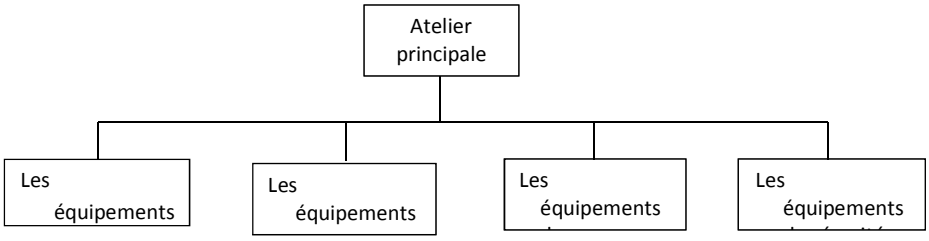


Figure 4.3. Découpage des équipements

Ce découpage nous permet, suite aux recommandations de l'entreprise concernée d'appliquer la méthode AMDEC pour l'équipement de levage au niveau d'ENF34, figure 4.4.

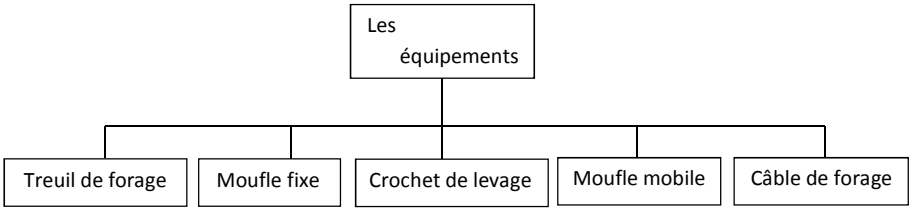


Figure 4.4 Découpage de l'atelier des équipements de levage

IV.3 Classification dumateriel :

La classification est principalement utilisée comme une base d'établissement d'un programme de maintenance préventive ou pour mesurer les effets de cette maintenance. Elle consiste en pratique à ne pas traiter le matériel sur un même pied d'égalité, mais selon des critères détaillés dans le paragraphe 4.2.

IV.4 Application :

Dans cette partie nous allons utiliser les résultats d'exploitation des équipements afin d'appliquer réellement la théorie déjà citée auparavant. Les données pour cette application sont relevées à partir des dossiers historiques de chaque équipement. Notre choix est porté sur l'atelier les équipements levage à cause des dossiers historiques, tenus depuis 2010 jusqu' à 2014. Afin de bien mener ce diagnostic on a procédé de la façon suivante:

IV.4.1 Collecte desdonnées

Pour faire une bonne étude de fiabilité, on a intérêt à relever le nombre de défaillances de chaque organe à partir du dossier historique de chaque équipement (2010-2014), tableau 4.7.

les équipementslevage	nombre des pannes					∑
treuil de forage	1	4	1	2	2	10
moufle fixe	0	0	1	0	1	4
moufle mobile	1	0	1	0	0	3
câble de forage	0	1	0	1	0	2
crochet de levage	0	0	0	1	1	2

Tableau 4.7. Récapitulatif des défaillances des équipements levage

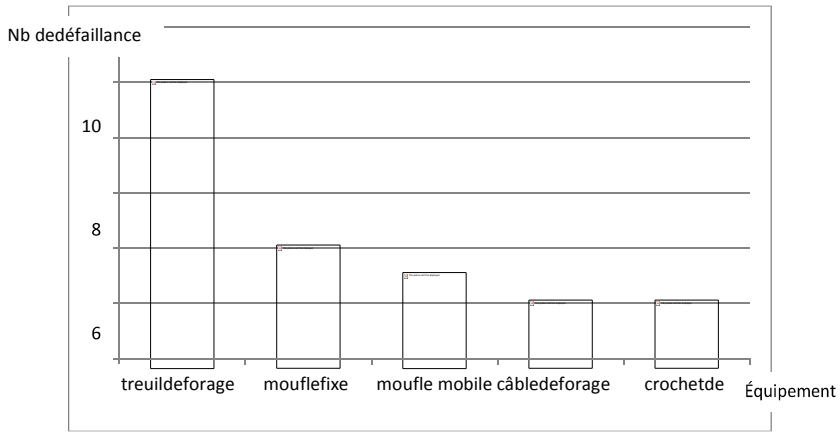


Figure 4.5. Histogramme fiabilité

On conclut d'après l'analyse faites ci-dessus que l'élément exigeant une prise en charge de sa maintenance c'est le treuil de forage, il est l'élément le plus critique

IV.4.2 Analyse desdonnées

Les données sont relevées à partir de dossier historique d'équipement de treuil de forage, selon le classement suivant et durant les années (2010/2014).

- ~~a)~~ Le système de freinage : 10défaillances
- ~~b)~~ Les organes de transmission : 07défaillances
- ~~c)~~ L'embrayage : 05défaillances
- ~~d)~~ Système de pompage : 04défaillances
- ~~e)~~ Arbre principal : 02défaillances
- ~~f)~~ Arbre de curage : 02défaillances
- ~~g)~~ Systèmecabestan : 01défaillance

Formatted: Indent: Hanging: 0,63 cm, Bulleted + Level: 1 + Aligned at: 0,91 cm + Indent at: 1,54 cm

IV.5 Sélection del'équipement :

Formatted: Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm

En utilisant la courbe « ABC » ou « Pareto » on peut sélectionner l'équipement ou l'organe à prendre en considération dans notre étude.

1. Le critère de classement : le nombre de défaillance (Fréquence N) des organe x le moyen temps de réparation de cet organe (T).
2. Le classification des donnée : selon le tableau 4.8

Formatted: Indent: Before: -0,38 cm, Bulleted + Level: 4 + Aligned at: 4,76 cm + Indent at: 5,39 cm, Tab stops: Not at 5,08 cm

Désignation	T	Fréquence (N)	N x T	% du Cumul
Freinage	14,5	10	145	35
Les organes de transmission	13	07	91	57
L'embrayage	14	05	70	74
Pompage	17	04	68	90
Arbre principal	10	02	20	95
Arbre de curage	8	02	16	99
Cabestan	5	01	5	100
∑	81.5	31	415	100

Tableau 4.8. Classement des équipements

IV.5.1 Principe de la méthode « ABC» :

Cette méthode consiste à classer les problèmes par ordre d'importance en trois catégories afin de traiter chacune d'elles d'une manière différente. Elle permet donc au service maintenance d'identifier les cibles d'actions prioritaires.

IV.5.2 Description del'analyse :

- ✓ Recensement des pannes à partir de la date de mise en place dudossier historique.
- ✓ Classement des nombres de pannes par ordredécroissant.
- ✓ Calcul du cumul de ces valeurs à partir du plushaut.
- ✓ Calcul pour chaque valeur cumulée la valeur en%.
- ✓ Le rang relatif % des différentespannes.
- ✓ Tracer la courbe correspondante aux couples de points ci dessous sur un graphique à deux dimensions, abscisses et ordonnées en pourcentage (%) à la mêmeéchelle.
- ✓ Déterminer les zones ABC : il s'agit de délimiter sur la courbe des zones à partir de l'allure de la courbe. En général la courbe possède deux cassures ce qui permet de définir troiszones.

On obtient le classement en trois catégories.

A : les plus 'non disponible' défaillants

B : les moyennement 'non disponible'

C : les moins 'non disponible'

Ce classement s'applique lorsqu'on veut faire apparaitre les éléments les plus défaillants.

Formatted: Indent: First line: 1,36 cm, Bulleted + Level: 4 + Aligned at: -0,82 cm + Indent at: 0,31 cm

Formatted: Indent: Before: 1,68 cm, Hanging: 1,13 cm, Bulleted + Level: 4 + Aligned at: -0,82 cm + Indent at: 0,31 cm

Formatted: Indent: First line: 1,36 cm, Bulleted + Level: 4 + Aligned at: -0,82 cm + Indent at: 0,31 cm

IV.6 Tracé de la courbeABC :

La courbe ABC permet de classer les équipements par ordre de priorité, voir figure 4.6.

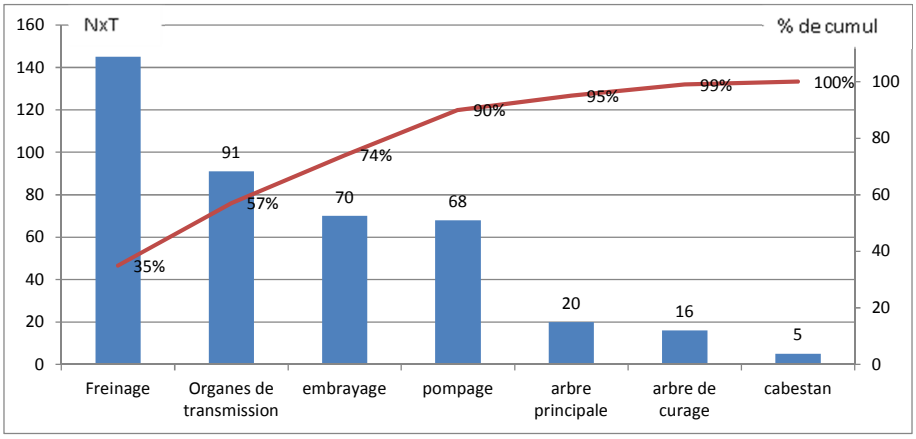


Figure 4.6. Histogramme fiabilité et courbe ABC

Ainsi la courbe « ABC » nous a permis de classer les équipements en trois catégories (A, B et C). Vu les résultats obtenus par la courbe ABC, on doit opter pour un suivi particulier des sous ensembles de la classe « A » et un suivi spécifique pour les sous ensembles desclasses «B» et «C». L'analyse de la fiabilité, seule, nous permet de bien fixer le type de la maintenance à appliquer pour ces équipements.

- **Zone A: 25** % des équipements, représentent 50 à 70% denon disponibilité. Ils sont donc à étudier en priorité pour treuil deforage.
- **Zone B:** 50% des équipements, représentent 25% denon disponibilité.
- **Zone C:** 25% des équipements, représentent 5 à 10% de non disponibilité.

IV.7 Diagnostic par la méthodeAMDEC :

IV.7.1 Analyse dusystème :

Pour cela on utilise la méthode "AMDEC"[19] qui est une méthode de réflexion créative et repose sur la décomposition fonctionnelle du système en éléments simples jusqu'au niveau des composants les plus élémentaires. Dans un premier temps on va décomposer fonctionnellement treuil de forage figure 4.7.

Formatted: Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm

Formatted: Bulleted + Level: 1 + Aligned at: 1,57 cm + Indent at: 2,2 cm

Formatted: Bulleted + Level: 2 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm

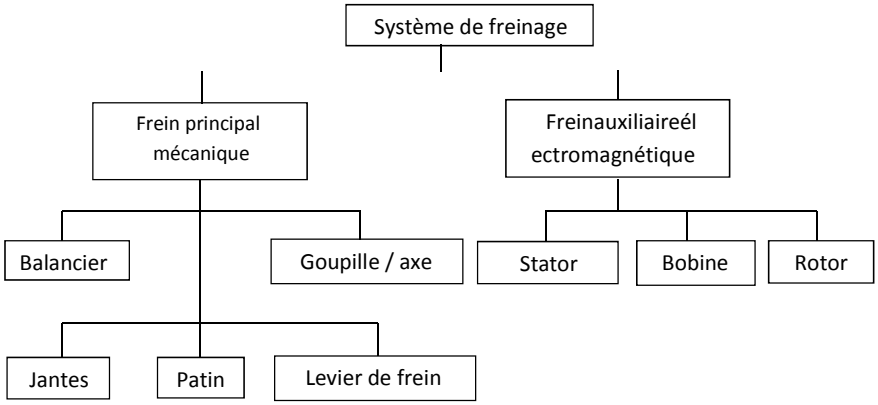


Figure 4.7. Découpage fonctionnel de l'appareil de freinage

IV.7.2 Analyse fonctionnelle :

La décomposition fonctionnelle et structurelle du système à étudié en identifiant les fonctions de chaque sous-ensemble et les élément contribuant à la réalisation de ces fonctions.

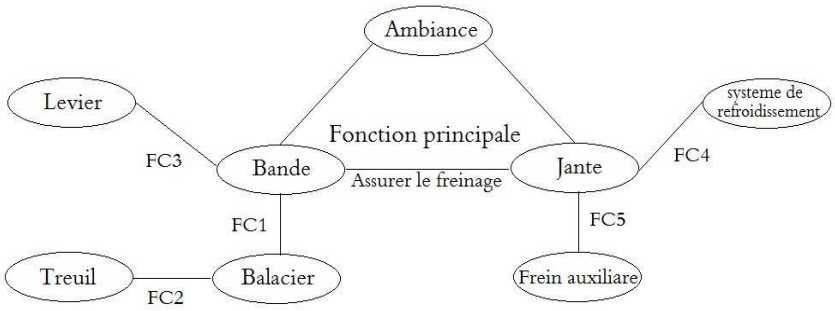


Figure 4.8. Analyse fonctionnelle

FC1 : fixation des bandes et distribution des efforts.

FC11 : fixation des bande sur le balancier.

FC12 : distribution des efforts sur les bandes.

FC2 : fixation de balancier sur le treuil.

FC3 : command de freinage.

FC4 : refroidissement des jantes.

FC5 : frein auxiliaire, fait un freinage primaire

FC6 : influence de l'ambiance sur la fonction principale.

Formatted: Bulleted + Level: 3 + Aligned at: 0 cm + Tab after: 0,63 cm + Indent at: 0 cm

IV.7.3 Tableau decotation

Les valeurs des coefficients sont fixées au maximum égale à quatre pour limiter le niveau des détails et pour faciliter la manipulation des chiffres, tableau 4.9.

Niveauou Cotation	1	2	3	4
Indice de Fréquence	Moins d'unefois par année	Moins d'une fois par mois	Moins d'une fois par semaine	Plus d'une fois par semaine
Indice de Gravite	Duréed'interv ention D ≤ 1	Durée d'intervention 1h ≤ D ≤ 3h	Durée d'intervention 3h≤ D ≤ 5h	Duréed'interv ention D > 5h
Indice de Détection	Signe avantDéfail lance	La défaillance, sa cause est évidente	La défaillance se produit mais sa cause est décelable	Défaillance non décelable

Tableau 4.9. Grille de cotation

IV.7.4 Analyse du freinage au niveau du treuil deforage

L'analyse « AMDEC » de l'appareil de freinage de treuil de forage permet de déterminer l'élément critique de l'équipement, tableau 4.10.

Tableau 4.10. AMDEC du système de freinage

Système:treuil	**sous système : freinage (frein principal mécanique, Freinauxiliaire)**								
Organe	Fonction d'état	Mode de Défail.	Cause	Effetsur le système	Criticité				Action à engager
					FR	**Gr**	**D**	**C**	
Levier de frein	Fournit une pression à l'aide des bandes sur les jantes pour assurer le freinage	-usure -fissure	-délogement de l'axe fixant avec les bandes -surcharge	-mauvais freinage - effet sur l'opérateur humain (chef de poste)	1	2	2	4	Visuel Bruit Vibration
Patins	Assure la procédure de freinage à partir de l'action de pression effectue par les bandes	-Usure	- mauvais réglage -échauffement des jantes -balancier non réglé -non utilisation de frein auxiliaire électromagnétique -fissure de jantes (fuite d'eau de refroidissement) - climat (pluie, vent de sable)	- mauvais freinage	**3**	**4**	**1**	**12**	Contrôle Odeur
Jantes	Assurer le freinage de tambour	-Echauffement -Usure	-mauvaise circulation d'eau de refroidissement -endommagement de la conduite qui assure le lien entre les deux jantes -patins non réglés (contact avec la jante)	-usure de patins -mauvaisfreinage	1	3	3	9	Contrôle d'usure
Balancier	Le maintient des bandes de frein en position égale	-usure mauvais positionnement	-surcharge -surcharge -faute de construction	- délogement del'axe - délogement degoupille -vibration des piècesmai	1	4	1	4	Contrôle Visuel
goupille / axe	Axe : servant à assembler un mécanisme ou à maintenir deux pièces l'une contre l'autre Goupille : maintien la	-Usure -rupture	-surcharge - surcharge - faute de construction	-délogement de l'axe -délogement de goupille -vibration des piècesmai	1	1	3	3	Visuel
Rotor	Assurer la		-Variation du jeu	-mauvais	3	3	1	9	Visuel

Formatted: Indent: First line: 0 cm, Bulleted + Level: 1 + Aligned at: -0,05 cm + Indent at: 0,17 cm

Formatted: Indent: First line: 0 cm, Bulleted + Level: 1 + Aligned at: -0,05 cm + Indent at: 0,17 cm

Formatted: Indent: First line: 0 cm, Bulleted + Level: 1 + Aligned at: -0,05 cm + Indent at: 0,17 cm

Formatted: Indent: First line: 0 cm, Bulleted + Level: 1 + Aligned at: -0,05 cm + Indent at: 0,17 cm

Formatted: Indent: First line: 0 cm, Bulleted + Level: 1 + Aligned at: -0,05 cm + Indent at: 0,17 cm

Formatted: Indent: First line: 0 cm, Bulleted + Level: 1 + Aligned at: -0,05 cm + Indent at: 0,17 cm

	procédure de freinage par frein auxiliaire	-Usure	entre le rotor bobine et stator (calcaire causé par l'eau de refroidissement)	freinage - usure de stator					
Bobine	Crée le champ magnétique	échauffement	- mauvais refroidissement -Variation de jeu entre le rotor, bobine et stator (calcaire causé par l'eau de refroidissement -court-circuit	-mauvais freinage -courant de Foucault insuffisant pour le freinage	2	2	2	8	Visuel
Stator	Support de la bobine et rotor	-Usure	- Variation de jeu entre le rotor, bobine et stator (calcaire causé par l'eau de refroidissement	-mauvais freinage -courant de Foucault insuffisant pour le freinage	1	3	3	9	Visuel

La (figure 4.9) présente les résultats de la criticité des organes.

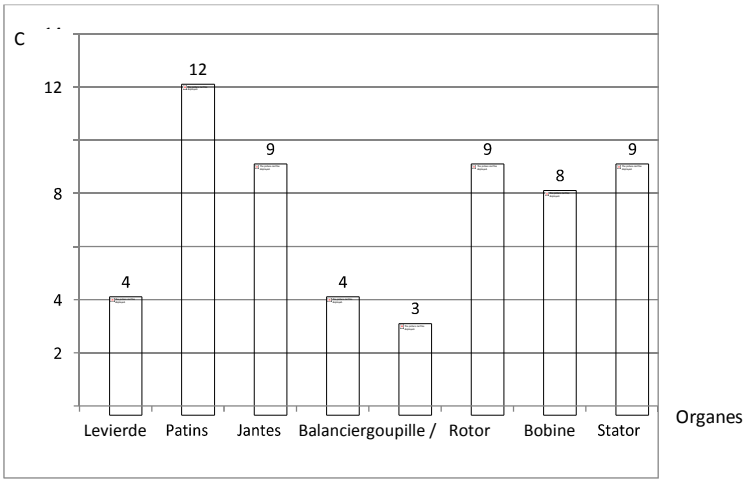


Figure 4.9. Histogramme de criticité

Résultats : On constate que l'organe le plus critique est le frein à patin.

IV.8 Analyse des résultatstrouvés

Le diagnostic de cet organe sélectionné, par les méthodes « ABC » et « AMDEC »; nous a permis de faire un choix de la politique de la maintenance à appliquer. Dans notre cas, il faut assurer une maintenance corrective pour éliminer toutes les causes entrainant l'arrêt de production et une maintenance préventive basée sur des contrôles et des inspections périodiques, avec un suivi rigoureux de cet organe sensible qui peut provoquer l'arrêt des équipements et une perte de production importante et coûteuse au niveau de la stations de forage, en particulier au niveau de l'équipement de levage, ce qui revient très cher à l'entreprise en cas de défaillance.

IV.9 Conclusion

Le travail décrit dans ce chapitre nous a permis de mettre en place les types d'analyses adéquates pour la bonne gestion de la station ENF34. Le choix de notre étude s'est porté sur le treuil qui constitue le cœur de l'opération de forage, car l'arrêt de l'un de ses équipements perturbe la production. La mise en application de la fiabilité est primordiale pour le choix d'une politique de la maintenance.

Les méthodes d'analyse utilisées en fiabilité, à savoir la méthode : « ABC » et l'analyse par «l'AMDEC » permettent à la direction de maintenance au niveau de la station d'avoir un outil très efficace pour le suivi des équipements du treuil, en particulier le système de freinage.
Le système de freinage est la partie sensible du treuil. Le frein principal du treuil de forage offre une grande efficacité dans la commande du forage et de l'arrêt en cas des incidents. La défaillance de ce système de freinage et le non uniformité des appliqués favorise une usure accélérée des patins du frein et peuvent entrainer des dégâts matériels importants et des dégâts humains.

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

Le travail présenté dans ce mémoire nous a permis de déterminer l'évaluation de la fiabilité des équipements industriels au niveau de chantier ENF34 (de l'entreprise ENFOR située à Hassi Messaoud) et leur optimisation. Il n'y a pas des méthodes normalisées et des règles connues d'avance pour calculer la fiabilité des systèmes, mais le choix de la méthode à appliquer se fait en fonction des types d'équipement, de la grandeur des équipements, de la qualité de la production, des moyens disponibles et des données de dégradation.

Dans notre travail, nous avons appliqué les principales méthodes utilisées en fiabilité ainsi, que les différentes approches pour déterminer les paramètres critiques qui caractérisent le degré de défaillance des équipements (système de freinage au niveau du treuil), afin de bien suivre l'état des organes par le choix correcte du type de la maintenance à appliquer.

Nous avons relevé trois facteurs essentiels de la fiabilité.

1. Le recueil des données de fiabilité qui est souvent difficile : Il dépend essentiellement de l'organisation et la gestion de la maintenance afin de bien suivre l'exploitation des équipements.
2. Les défaillances ont des origines particulières et différentes.
3. La méthode d'analyse des défaillances dans les systèmes industriels devient de plus en plus complexe et variée.

Finalement, on déduit de ce travail que les équipements de freinage sont les plus sensibles et influent directement sur la disponibilité et les coûts de la maintenance et sur la production en générale. En termes de perspective, nous envisageons la détermination des paramètres de fiabilité et il faut impose une période optimale de la maintenance préventive par un code qui permet directement de situer le type de maintenance en temps réel et de façon rapide. Le but est de pouvoir traiter beaucoup plus de données dans un délai très court et de mettre en place une maintenance préventive gérée par modélisation et simulation numérique, facilitant la détection de la dégradation des équipements.

Bibliographie

[1] Documentations dans l'entreprise ENAFOR, titre catalogue technique, 2008.

[2] www.enafor.com

[3] C. Mahfoud. Etude et maintenance de treuil de forage OIL WELL 840E. Mémoire de Master. ~~Universté~~Université Hassiba Benbouali Chlef. 2012

[4] J.P. Bernhard. Cours de forage, tome I, édition - historique et principe du forage ~~standard~~standard .A.P.I. 1955.

[6] H .Takieddine et Somaa Ismail. Appareil de forage, étude et dimensionnement cas: champs hassi messaoud. Mémoire fin d'étude de master professionnel 2012.

[5] M. Khaled et Ghemam,Amara Abderezzak. Etude de la pompe à boue national OIL-WELL 12P160. Mémoire de master. Université M'hamed Bouguerra Boumerdes 2007

[7] A. blend. Cours de forage équipement de forage tome 1- planches. édition technip.paris.1963

[8] Metrot. Cours sur les bous des forages. Edition Tome III page 137.1962

[9] J.P. Nguyen. Le forage. édition technip- paris.1993

[10] L. Mohammed. Etude et maintenance des équipements d'obturation de puits pétroliers,Université M'hamed bougara Boumerdes. 2007

[11] D. richet. Maintenance basée sur la fiabilité : un outil pour la certification, Ed.Masson.1996

[12] A. Zeghloul. Maintenance industrielle. Licence Professionnelle. Hydraulique et commandes associées. 2005

[13] M. Henini, I. Guiton. Maintenance basée sur la fiabilité Etude de cas, Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat, 2010.

[14] V. Zille. Modélisation et évaluation des stratégies de maintenance complexes sur des systèmes multi-composants, thèse de doctorat de l'Université de Technologie de Troyes, France 2009.

[15] P.Lyonnet, La maintenance, Mathématique et méthodes, 4eme Edition. Lavoisier, 2000.

[16] A. Boumeddan. Impact de la fiabilité sur les équipements industriels (étude de cas au niveau denitex), mémoire de magister. Université Abou Bekr Belkaid- Tlemcen.2012

[17] F. Monchy. Maintenance, méthodes et organisations, 3emeédition, Paris, 2000

[18] A. Pareto, Cours d'économie politique, Lausanne, Switerzland ; 1896

[19] J. Foucher. Pratique de l'AMDEC, Edition, "Dunod", Paris, 2000