REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI, TIZI-OUZOU

Faculté de génie de la construction

Département de génie mécanique

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme du MASTER académique

En Génie Mécanique

Option : Fabrication Mécanique et Productique

Thème

Etude de la fiabilité et maintenance des systèmes mécanique d'un appareil de forage. *Cas : Treuil de forage et une pompe à boue au niveau de la station ENTP-TP127*

Proposé et dirigé par :

Mr. BENALIA Karim

Réalisé par :

Mr. ALICHE Souhil

Mr. MESSAOUDI Lyes.

Promotion 2017/2018

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I		
Tableau	**Titre**	**Page**
Tableau I.1.	**Les bases de l'ENTP[26].**	**4**
Tableau I.2	**Les sites occupés par l'ENTP [26].**	**5**
Tableau I.3	**Etat du parc appareil de l'entreprise ENTP au fin 2017[26].**	**5**
Tableau I.4	**Matériel de transport de l'entreprise ENTP [26].**	**6**
Tableau I.5	**Moyens humains 2012-2017 [26].**	**6**
Chapitre II		
Tableau	**Titre**	**Page**
Tableau II.1.	**Classification des appareils de forage [3].**	**13**
Chapitre III		
Tableau	**Titre**	**Page**
Tableau III.1.	**Nomenclature du treuil ENTP-OILWELL 840 E [24]**	**37**
Tableau III.2.	**Caractéristiques techniques du Treuil ENTP-OILWELL 840 E [24].**	**37**
Tableau III.3.	**Dimensions des arbres de transmission [24]**	**43**
Chapitre IV		
Tableau	**Titre**	**Page**
Tableau IV.1.	**Exemple de type AMDEC – moyen de production [12].**	**63**
Tableau IV.2.	**Critères de gravité [12].**	**65**
Tableau IV.3.	**Critères d'occurrence.**	**65**
Tableau IV.4.	**Critères de non détection [12].**	**66**
Tableau IV.5.	**Critères de criticité [12].**	**66**
Tableau IV.6.	**Modes de défaillance [9].**	**67**
Chapitre V		
Tableau	**Titre**	**Page**
Tableau V.1.	**Récapitulatif des défaillances des équipements levage [23].**	**79**
Tableau V.2.	**Classement des équipements.**	**81**
Tableau V.3.	**Grille de cotation**	**83**
Tableau V.4.	**AMDEC du système de freinage.**	**84**
Tableau V.5	**Préparation des données du frein à patin**	**86**
Tableau V.6.	**Tableau des résultats**	**87**
Tableau V.7.	**Pannes de la pompe à boue et leurs remèdes [23]**	**95**
Tableau V.8	**Maintenance préventive systématique de treuil**	**98**

Tableau V.9.	**Entretien de frein auxiliaire**	**102**
Tableau V.10.	**Entretien de CABESTANS**	**102**
Tableau V.11.	**Entretien de moteur électrique EMD D79GB**	**103**
Tableau V.12.	**Pannes et remèdes**	**104**
Tableau V.13.	**Paramètre chaque phase de puits WTP1 [20]**	**106**
Tableau V.14.	**Résultats de Calcul de la charge maximale au crochet.**	**107**

LISTE DES FIGURES

Chapitre I		
Figure	**Titre**	**Page**
Figure I.1	L'organigramme de l'entreprise ENTP [26].	7
Figure I.2	Situation géographique du HMD et Nezla SONATRACH [19].	8
Figure I.3	Plan d'intervention du chantier ENTP-TP127 [23]	10
Figure I.4	Station ENTP-TP127[23].	10
Figure I.5	Plan de masse de la station ENTP-TP127 [23].	11
Chapitre II		
Figure	**Titre**	**Page**
Figure II.1.	Description de l'appareil de forage [13].	14
Figure. II.2.	Schéma de fonctionnement de l'appareil de forage [3].	15
Figure II.3.	Table de rotation [10].	16
Figure II.4.	Fonction levage [17].	18
Figure II.5.	Schéma simplifié d'un système de mouflage [17].	19
Figure II.6.	Le Mouflage [17].	19
Figure II.7.	Chaine cinématique et accessoires d'un ensemble de treuil [25].	21
Figure II.8.	Plan schématique d'un treuil et transmission à sections [25]	22
Figure II.9.	Câble de forage [17].	23
Figure II.10.	Type de torons [17]	24
Figure II.11.	Le crochet de levage [17].	25
Figure II.12.	La Pope a boue [3].	26
Figure II.13.	Fonction pompage [3].	27
Figure II.14.	Tête d'injection [3].	28
Figure II.15.	Obturateur à mâchoires [11].	31
Figure II.16.	Obturateur annulaire [11].	32
Figure II.17.	Modules accumulateurs ENTP-TP 127 [23].	33
Figure II.18.	DTM de L'ENTP –TP 179 [22].	34

Chapitre III		
Figure	**Titre**	**Page**
Figure III.1.	Le Treuil de forage (draw work) [24].	36
Figure III.2.	Le châssis-ski du treuil ENTP-OILWELL 840E [25].	38
Figure III.3.	Schéma de l'arbre du tambour [23].	39
Figure III.4.	Angle de déflection maximal permis [23].	39
Figure III.5.	Frein à bandes de friction [23].	40
Figure III.6.	Frein électromagnétique [23].	41
Figure III.7.	L'arbre d'entrée [6]	42
Figure III.8.	L'arbre de sortie [6].	42
Figure III.9.	Les chaines de transmission [24].	44
Figure III.10.	Embrayage pneumatique [24].	45
Figure III.11.	Cabestans à commande pneumatique [25].	46
Figure III.12.	Arbre cabestan (secondaire) [25].	47
Figure III.13.	Twin Stop [24]	49
Figure III.14.	Circuit d'air de Twin-stop [7].	49
Figure III.15.	Circuit de refroidissement [7]	50
Chapitre IV		
Figure	**Titre**	**Page**
Figure IV.1.	Courbes d'évolution des coûts en fonction de la fiabilité [12].	54
Figure IV.2.	Fonction de défaillance [1]	55
Figure IV.3	Courbe en baignoire [1]	56
Figure IV.4.	Plan des états successifs que peut prendre un système réparable [4]	58
Figure IV.5.	Répartition de la fonction de densité pour diverses valeurs de β [4].	59
Figure IV.6.	Allure d'un taux de défaillance [1].	60
Figure IV.7.	Analyse de fiabilité [1]	61
Figure IV.8.	Diagramme d'Ishikawa [9]	64
Figure IV.9.	Découpage de l'entreprise [19].	68
Figure IV.10.	Découpage des équipements [19].	68
Figure IV.11.	Découpage de l'atelier des équipements de levage [19].	68
Figure IV.12.	Les différents Types de maintenance [8].	71
Figure IV.13.	Diagramme d'une maintenance corrective [14]	72
Figure IV.14.	Evaluation de coût de la maintenance [14].	72
Figure IV.15.	Diagramme d'une maintenance préventive systématique [14].	73
Figure IV.16.	Diagramme d'une maintenance préventive conditionnelle [14].	74
Figure IV.17.	Diagramme d'une maintenance préservative [14].	74
Figure IV.18.	Courbe de PARETO [15].	76

Chapitre V		
Figure	**Titre**	**Page**
Figure V.1.	Histogramme de défaillances des équipements levage	80
Figure V.2.	Histogramme fiabilité et courbe ABC.	81
Figure V.3.	Découpage fonctionnel de l'appareil de freinage	82
Figure V.4.	Histogramme de criticité.	85
Figure V.5.	Droite de Weibull (code de calcul).	86
Figure V.6.	Courbes des fiabilités estimées et théoriques du frein à patin	88
Figure V.7.	Courbe de fiabilité «code de calcul».	88
Figure V.8.	Courbes cumulatives estimée et théorique du frein à patin	89
Figure V.9.	Fonction cumulative «code de calcul».	89
Figure V.10.	Taux de défaillance du frein à patin	90
Figure V.11.	Taux de défaillance «code de calcul»	90
Figure V.12.	Densité de probabilité du frein à patin.	91
Figure V.13.	Densité de probabilité «code de calcul».	91
Figure V.14	Schéma technologique de réparation d'un treuil.	100

CHAPITRE I : Présentation de l'Entreprise Nationale des Travaux aux Puits ENTP et champ Hassi Messaoud 2
I.1. Introduction 3
I.2. Historique de l'ENTP [26] 3
I.3. Normes de l'ENTP [26] 4
I.4. Le Système Management QHSE de l'ENTP [26] 4
I.4.1. L'infrastructures de l'ENTP 4
I.5. Les moyens de l'entreprise ENTP [26], [27] 5
I.5.1. Parc des appareils de forage 5
I.5.2. Transport et logistique 5
I.5.3. Moyens humains [26],[27] 6
I.6. Organigramme de l'ENTP [25]. 7
I.7. Champ Hassi Messaoud : 8
I.7.1. Situation Géographique du Champ 8
I.7.2. Situation Géologique du Champ 9
I.7.3. Historique de recherche du champ Hassi Messaoud 9
I.8. Plan d'intervention du chantier ENTP-TP127 [23] 9
I.9. Plan de masse de la station ENTP-TP127 [23] 11

CHAPITRE II : Généralités sur les appareils de forage de puits de pétrole et de gaz. 12
II.1. Introduction 13
II.2. Descriptions de l'appareil de forage 13
II.2.1. Classification [3],[16] 13
II.2.2. Description [13] 13
II.3. Fonctions d'un appareil de forage [3],[10],[11][13],[16],[17] 14
II.3.1. Fonction rotation [10] 16
II.3.2. Fonction levage [17] 17
III.3.2.1. Le mât de forage 17
III.3.2.2 Le Mouflage 19
II.3.2.3. Le treuil [Draw works] [17],[3],[16],[24],[25] 20
II.3.2.4. Le câble de forage [17],[24],[25] 23
II.3.2.5. Le crochet de forage [17] 25
II.3.3. Fonction pompage [3] 25
II.3.4. Fonction motrice et transmission [16] 29

II.3.4.1. Les sources d'énergie 29
II.3.4.2. Les systèmes de transmissions de puissance 29
II.3.5. Fonction de sécurité [11] 29
II.3.5.1. Obturateurs de tête de puits 29
II.3.5.2. Unité d'accumulateurs [23] 32
II.4. Répartition des équipements de l'appareil de forage [16] 33
II.5. DTM d'un Appareil de Forage [22] 34

CHAPITRE III : Description et fonctionnement du treuil ENTP-OILWELL 840E 35
III.1. Introduction 36
III.2. Spécifications techniques [24] 37
III.3. Description d'un ensemble du treuil ENTP-OILWELL 840 E: 37
III.3.1. Le châssis du treuil [24],[25] 37
III.3.2. Le tambour de manœuvre [23] 38
III.3.3. Système de freinage [23] 40
III.3.4. Système de transmission de mouvement [24] ,[25],[6] 42
III.3.4.1. Les arbres [6] 42
III.3.4.2. Les chaînes de transmission 43
III.3.4.3. Les embrayages [24],[25] 45
III.3.5. Les cabestans [7],[25] 46
III.3.6. Le tambour de curage [25] 47
III.3.7. Circuit pneumatique [25] 48
III.3.8. Circuit de refroidissement 50
III.3.8.1. Refroidissement de jante de frein à bande [16] 50
III.3.8.2. Refroidissement du frein auxiliaire [16],[7] 51
III.4. Fonctionnement du treuil ENTP-OILWELL 840E [24] 51

CHAPITRE IV : Analyse de la fiabilité et maintenance des machines industrielles. 52
IV.1. Introduction 53
IV.2. Notions fondamentales sur la théorie de fiabilité 53
IV.2.1. La fiabilité [8], [12] 54
IV.2.2. La défaillance 55
IV.2.3. La disponibilité 57

IV.2.4. Indice de fiabilité " MTBF" [4] 57
IV.2.5. Indice de maintenabilité " MTTR"[4] 58
IV.3. Présentation du modèle de Weibull [1],[4] 58
IV.3.1. Domaine d'utilisation 58
IV.3.2. Expressions mathématiques 59
IV.3.3. Signification des paramètres de Weibull [1],[4] 60
IV.4. Analyse des modes de défaillances de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) [9], [12]: 62
IV.4.1. Avantages de la méthode AMDEC : 62
IV.4.2. Mise au point de la fiche AMDEC : 63
IV.4.2.1 Analyse fonctionnelle : 63
IV.4.2.2. Analyse de défaillance : 64
IV.4.2.3. Critères : 65
IV.4.2.4. Mesures 67
IV.4.3. Modes des défaillances [9] 67
IV.4.4.Découpage de l'entreprise [19] 68
IV.5. Maintenance des machines industrielles 69
IV.5.1. Définition [9] 69
IV.5.2. Présentation du besoin [14], [15] 70
IV.5.3. Les grands principes de la maintenance [8],[16] 70
IV.5.4. But de la maintenance [16] 71
IV.5.5. Les différents Types de maintenance 71
IV.5.5.1. La Maintenance Corrective [14] 72
IV.5.5.2. La Maintenance Préventive [14] 73
IV.5.5.3. La Maintenance Préservative (ou Immunitaire) 75
IV.5.6. Concept de choisir une technique [15] 75
IV.5. 7. Organisation des opérations de maintenance [15],[16] 76
IV.5.7.1. Principe de la méthode « ABC » : 77

CHAPITRE V : Application et résultats. 77
V. 1. Application de la fiabilité 78
V.1.1. Introduction 78
V.1.2. Collecte des données 78
V.1.3. Analyse des données : 79
V.1.4. Sélection de l'équipement : 79

V.1.5. Tracé de la courbe ABC 80
V.1.6. Diagnostic par la méthode AMDEC 81
V.1.6.1. Analyse du système 81
V.1.6.2. Tableau de cotation 82
V.1.6.3. Analyse du freinage au niveau du treuil de forage 82
V.1. 7. Détermination des paramètres de fiabilité 84
V.1.8. Analyse des résultats théoriques 86
V.1.9. Analyse des résultats trouvés 91
V.2. Maintenance de la pompe au niveau de la station ENTP-127 91
V.2.1. Maintenance préventive 91
V.2.2. Maintenance corrective 92
V.2.2.1. Entretien au niveau du chantier 92
V.2.2.2. Pannes de la pompe à boue et leurs remèdes : 92
V.2.3. Opération de réparation des pompes à boue : 95
V.3. Maintenance du treuil ENTP-OILWELL840E 96
V.3.1. La maintenance préventive quotidienne 96
V.3.2. Maintenance corrective 96
V.3.3. Maintenance préventive systématique 97
V.3.4. Maintenance conditionnelle 98
V.4. Réparation et révision du treuil de forage ENTP-OILWELL840E 98
V.4.1. La technologie de réparation 98
V.4.2. Entretien général des freins 100
V.4.3. Entretien de frein auxiliaire 101
V.4.4. Entretien de CABESTANS 102
V.4.5. Entretien de moteur électrique EMD D79GB 102
V.4.6. Pannes et remèdes 103
V.5. Calcule de vérification 104
V.5.1. Critère de choix d'un appareil de forage 104
V.5.2. Choix du type de câble de forage 105
V.5.2.1. Calcul de la charge maximale au crochet [25] 105
V.5.2.2. Application au chantier de forage « ENTP-puits WTP1 » 105
V.5.3. Choix du moufle 107
V.5.4. Choix du treuil [22]: 107
V.5.4.1. Calcul de la Puissance de levage : 108

V.5.4.2. Puissance entrée treuil:..... 108

Introduction générale

L'activité hydrocarbure joue un rôle très important dans l'économie de notre pays. Sa prise en charge par Sonatrach a nécessité, la mise en place des moyens organisationnels, humains et matériels au sein de l'ensemble de ses branches, à savoir :

- Recherche et exploitation ;
- Développement ;
- Transport vers les points de traitement ou de vente ;
- Commercialisation.

Sonatrach emploie prés de 42 000 salariés (120 000 avec ses filiales), génère 30 % du PNB de l'Algérie, elle est le 12^{eme} groupe pétrolier au niveau mondial, le premier en Afrique et dans le Bassin méditerranéen, le 4^{eme} exportateur de GNL, le 3^{eme} exportateur de GPL et le 5^{eme} exportateur du gaz naturel [27]. Pour la réalisation de son plan de charge, la sonatrach fait appel à d'autres entreprises, entre autres ENTP, qui est une filiale de la sonatrach et qui détient 60% des part du marché de forage en Algérie [19].

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'oeuvre 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.

Le choix d'un appareil de forage en terme de capacités et puissances à l'ouvrage est réalisé afin de réduire les surcoûts de maintenance .La technologie de forage de puits de pétrole et de gaz demande l'emploi d'un équipement complexe et des outils modernes, ainsi qu'une grande quantité de matériaux, tubes, ciment, réactifs chimique …….etc.

L'installation de forage est un complexe d'équipements mécanique comprenant des machines et des mécanismes liés entre eux pour accomplir une fonction bien déterminée.

Au niveau de la station ENTP-TP127, le treuil étant l'un des principaux équipements utilisés dans le forage des puits il est considéré comme le cœur d'un appareil de forage, puisque c'est la capacité du treuil qui caractérise la classe de profondeur des forages que l'on pourra effectuer.

C'est dans ce but, que l'entreprise ENTP nous a confié le travail à effectuer dans le cadre de ce mémoire et qui consiste à étudier l'analyse de la fiabilité et la maintenance des équipements de forge au niveau du chantier ENTP-127. Le mémoire développé à cet effet comprend cinq chapitres :

Le premier chapitre concerne la présentation de l'Entreprise Nationale des Travaux aux Puits (ENTP) et Champ Hassi Messaoud..

Le deuxième chapitre se rapporte à la description et le fonctionnement de l'appareil de forage.

Le troisième chapitre, est consacré à la description du treuil ENTP-OILWELL 841E.

Le quatrième chapitre, est consacré aux différentes méthodes de diagnostic de la maintenance qu'on va appliquer au niveau de la station ENTP-TP 127,

Enfin, dans le dernier chapitre, nous avons présenté la méthode (AMDC et ABC) et l'analyse de la fiabilité, pour une étude de cas pratique sur un équipement stratégique du treuil de l'entreprise ENTP et une pompe à boue au niveau de la station ENTP-TP127.

Une conclusion générale clôt ce mémoire.

CHAPITRE I

Présentation de l'Entreprise Nationale des Travaux aux Puits ENTP et champ Hassi Messaoud

« Au grand porte de l'entreprise
S'ouvre la pratique pleine de surprise. »

Jean Dieudonné

I.1. Introduction

Le pétrole et le gaz sont les secteurs dominant de l'économie algérienne et constituent 98 % 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 12^{eme} groupe pétrolier au niveau mondial, le premier en Afrique et dans le Bassin méditerranéen, le 4^{eme} exportateur de GNL, le 3^{eme} exportateur de GPL et le 5^{eme} exportateur du gaz naturel [27].

Pour la réalisation de son plan de charge, la sonatrach fait appel à d'autres entreprises, entre autres ENTP, qui est une filiale de la sonatrach et qui détient 60% des part du marché de forage en Algérie [26].

I.2. Historique de l'ENTP [26]

L'ENTP est une Entreprise Publique Economique en la forme légale d'une Société par actions « spa » au capital Social de 14 800 000 000 DA, dont la totalité de ses actions est détenue par le Holding Services Para Pétroliers – Spa. SONATRACH.

- **En Juillet 1972 :** DSP prend le nom de : Direction des Travaux Pétroliers (DTP).
- **1er Août 1981 :** la Restructuration de SONATRACH au début des années 80, émergeait **ENTP (**Entreprise Nationale des Travaux aux Puits**)** héritière de la DTP pour les activités de forage et de Work – Over (entretien des puits) Créée par décret n° 81-171, ENTP est devenue opérationnelle le premier janvier 1983.
- **Juin 1989 :** transformation du statut juridique de l'ENTP en société par actions.
- **30 Mars 1998:** ENTP fait partie du Groupe Services Hydrocarbures (GSH) Sonatrach.

Ses actionnaires sont :

1. Sonatrach : Holding SPP 51% ;
2. Société de gestion des participations des travaux énergétiques «TRAVEN» 49%.

- **04 Avril 2003 :** ENTP a obtenu avec brio la certification ISO 9001 : 2000 pour l'ensemble de ses activités.
- **01 janvier 2005 :** transfert des actions détenus par la Société de gestion des participations TRAVEN dissoute, vers la Société de Gestion des participations dénommée "INDJAB"
- **28 décembre 2005 :** cession à titre gratuit des actions détenues par la SGP INDJAB (49%) en faveur du Holding Sonatrach "SPP Spa". ENTP devient 100% Sonatrach. Le siège social est situé à HASSI MESSAOUD, wilaya d'OUARGLA, au Sud- Est d' Alger environ de 900 km.

,

I.3. Normes de l'ENTP [26]

Elle est triplement certifiée en QHSE :

- **Norme ISO9001V 2000 :**

1. Démontrer son aptitude à fournir régulièrement un produit conforme aux exigences réglementaires.
2. Accroitre la satisfaction de ses clients par l'application efficace du système, y compris les processus pour l'amélioration.

- **Norme ISO14001V 2004 :**

1. Elle s'applique aux aspects environnementaux que l'organisme (ENTP) a identifiée comme étant ceux qu'il a les moyens de maitriser et ceux sur les quelles il a les moyens d'avoir une influence.
2. Donner l'assurance aux parties intéressées (clients, partenaires, société civile, etc.…) qu'un système approprié de management environnemental est mis en place dans le respect des exigences légales applicables.

- **OHSAS 18001V2007 :**

Prévenir, voir éliminer les conditions et facteurs qui affectent l'hygiène, la santé et la sécurité du personnel, des travailleurs temporaires, du personnel de fournisseurs, des visiteurs et toute autre personne présente sur le lieu de travail dans le respect des exigences légales.

I.4. Le Système Management QHSE de l'ENTP [26]

Après avoir certifié son système de Management qualité aux exigences de la norme ISO 9001/2000 (avril 2003), **L'ENTP** a engagé une démarche d'intégration de l'ensemble des systèmes :

- Pour la qualité **: ISO 9001/2008.**
- Pour l'environnement **: ISO 14001/2004** .
- Pour la santé et sécurité **: OHSAS 18001/2007**.

I.4.1. L'infrastructures de l'ENTP

L'ENTP dispose de plusieurs bases et ateliers à Hassi Messaoud et dispose de bases régionales à Hassi R'mel, In Aménas et Tin Fouyé Tabankort, immobilisées actuellement [23].

Bases	Superficies	Fonctions
Base 20/8/55	594 930 m^2	Siège social et dépendances administratives Ateliers et parc matériel de logistique
Base 11/12/60	349 520 m^2	Hébergement capacité principale
Base T 32	37 000 m^2	Hébergement capacité complémentaire
Base 17/2/60	148 957 m^2	Parcs matériels
Unité Tubulaire	2170 m^2	Réparation stockages matériels tubulaires
Centre FP	1 2000 m^2	Bloc pédagogique de 17 classes (150 places) Laboratoire de langues Salle de conférences (50 places)

Tableau I.1. : Les bases de l'ENTP[26].

Sites	Ateliers	Fonctions
Base 20/8/55	9 (12 530 m²)	Maintenance du parc véhicules et engins
	14 (9 750 m²)	Maintenance des équipements de forage
	49 800 m²	Zone de stockage a l'air libre
Base 17/2/60	148 959 m²	Logistique de work over
Unité tubulaire	2170 m²	Traitement des équipements tubulaire

Tableau I.2 : Les sites occupés par l'ENTP [26].

I.5. Les moyens de l'entreprise ENTP [26], [27]

I.5.1. Parc des appareils de forage

L'ENTP dispose d'un parc de 43 appareils dont 24 destinés pour le forage et 19 pour le Work-over. Certains de ces appareils sont dotés d'équipements modernes : SCR, Top Drive, Wireless Net Work Communication.

Marque et type	Sigle	Puissance	Nombre
National 110 UE	TP 127-128-129-130	1500 HP	04
National 1320 UE	TP 137-139-194-202-203-130	2000 HP	06
Oil Well 2000 E	TP 169	2000 HP	01
Wirth 2000	TP 198-199	2000 HP	02
Wirth 1200	TP 200-201	1200 HP	02
NOW(Dreco) 1250 E	TP 196-197	1200 HP	02
OW.840 E	TP 158-160-161-162-180-181-182-183-184-185	1500 HP	10
National 80 UE	TP 195	1000 HP	01
National 840 E	TP 181 NEW	1500 HP	01
NOV Idéal Rig	TP 204-205	1200 HP	02
Cabot 1200	TP 179-186-187-188-189-190-192	1200 HP	07
Cabot 750	TP 170-172-173-178	750 HP	04
Cabot 500	TP 175-176-177	500 HP	03
TOTAL			**45**

Tableau I.3 : Etat du parc appareil de l'entreprise ENTP au fin 2017[26].

I.5.2. Transport et logistique

La division transport est assignée selon les points suivants :

- ✓ Déménagement des appareils et camp de forage.
- ✓ Livraison des équipements consommable aux appareils de forages.
- ✓ maintenance des véhicules et engins de l'entreprise.

L'entreprise dispose d'un matériel de transport selon le tableau I.4 :

Véhicules et engins	Capacité	Nombre	Activité
Tracteur kenworth953	40T	54	DTM
Tracteur mercadess3863	20a 30T	60	DTM et livraison
S R elder + leddel	30T	48	DTM
Port engin	40T	09	DTM
Chariots élévateurs	14T	82	Chantiers de forage
Chariots élévateurs	<14T	24	Chantiers de forage
Grues	20 à 30T	08	DTM
Grues	35 à 40T	12	DTM et MAO chantier
Grues	50 à 55T	34	DTM
Mercedes frigo	10T	11	DTM
Renault ME 160	----------	25	DTM
Chargeur	30T	05	Chantiers de forage

Tableau I.4 : Matériel de transport de l'entreprise ENTP [26].

I.5.3. Moyens humains [26],[27]

Avec 6657 agents, l'effectif de l'ENTP est en croissance suite au recrutement de plusieurs ingénieurs, notamment en maintenance et forage.

Les agents de statut permanent sont au nombre de 3477. L'encadrement représente une fraction de 2/3 des permanents.

Le forage et Work-over occupent à eux deux plus de 50% de l'effectif global.

Structures de l'effectif	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Cadres dirigeants	21	12	14	14	19	22
Cadres supérieurs	93	94	101	98	89	95
Cadres moyens	1440	1400	1510	1629	1991	2234
Agents de maitrise	2055	1912	1970	2012	1904	2060
Agents d'exécution	2334	2140	2109	2274	2336	2246
Total	**5943**	**5558**	**5704**	**6027**	**6339**	**6657**

Tableau I.5 : Moyens humains 2012-2017 [26].

I.6. Organigramme de l'ENTP [25].

L'organigramme de l'entreprise se présente selon la forme définie par la figure I.1.

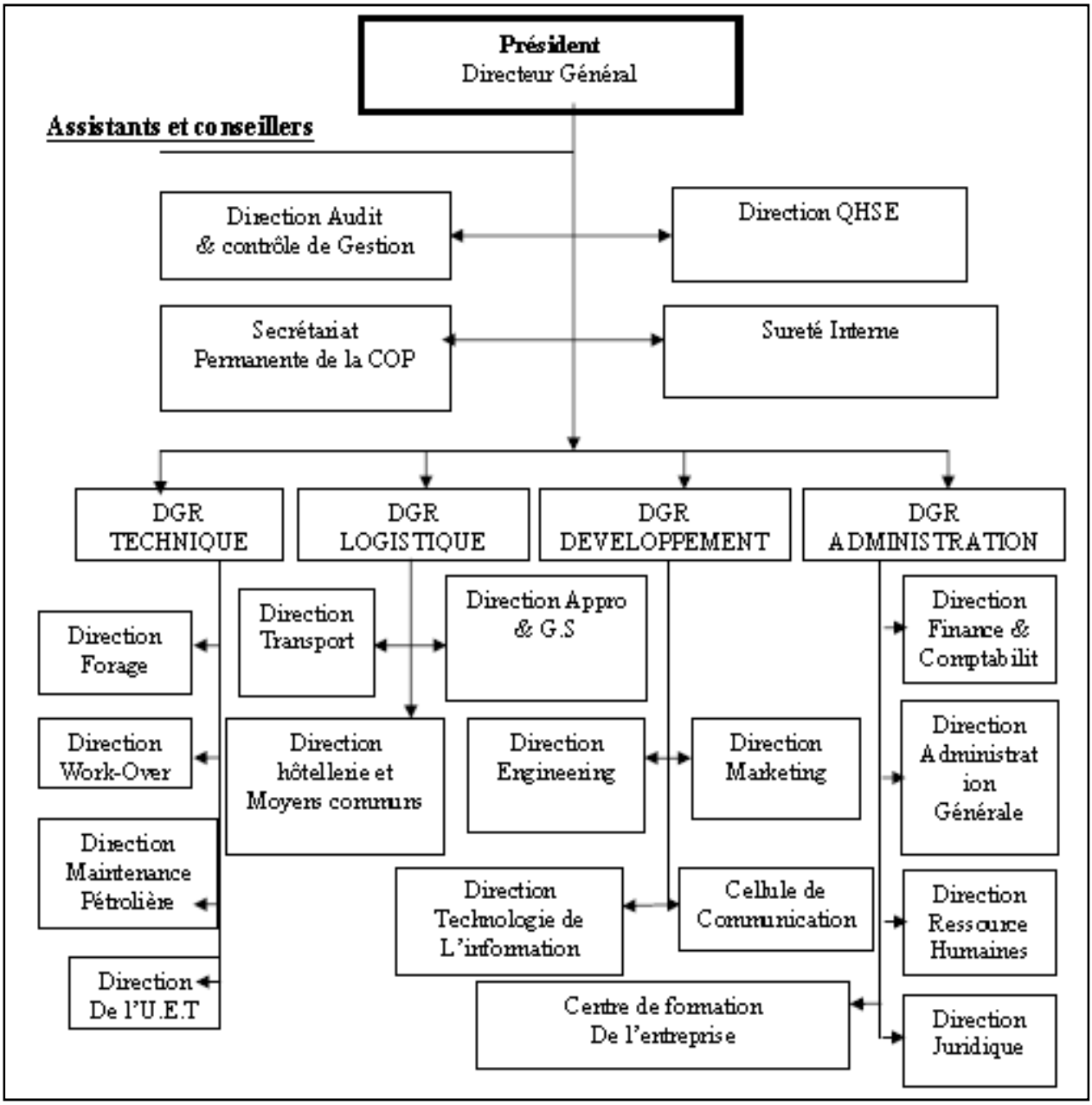


Figure I.1. : L'organigramme de l'entreprise ENTP [26].

I.7. Champ Hassi Messaoud :

Le champ de Hassi Messaoud représente l'un des champs les plus complexes du monde. Durant l'histoire géologique, ce champ a subi d'une part une évolution tectonique intense caractérisée par des phases compressives et distinctives.

D'autres part, par la transformation dia-génétique dans le réservoir lors de son enfouissement au cours du temps géologique, jusqu'à ce que le gisement a pris forme tel que représentée par la configuration actuelle. Ces évènements peuvent quelques fois améliorer les paramètres pétro-physiques comme ils peuvent les détériorer [19].

I.7.1. Situation Géographique du Champ

Le champ de Hassi Messaoud est situé à 850Km au Sud Est d'Alger, à 350Km de la frontière tunisienne et à 80 Km à l'Est de Ouargla [19].

Il est encadré par les latitudes 31°30' et 32°00' Nord et les longitudes 5°40' et 6°20' Est, sa superficie est de 4200 km^2 .

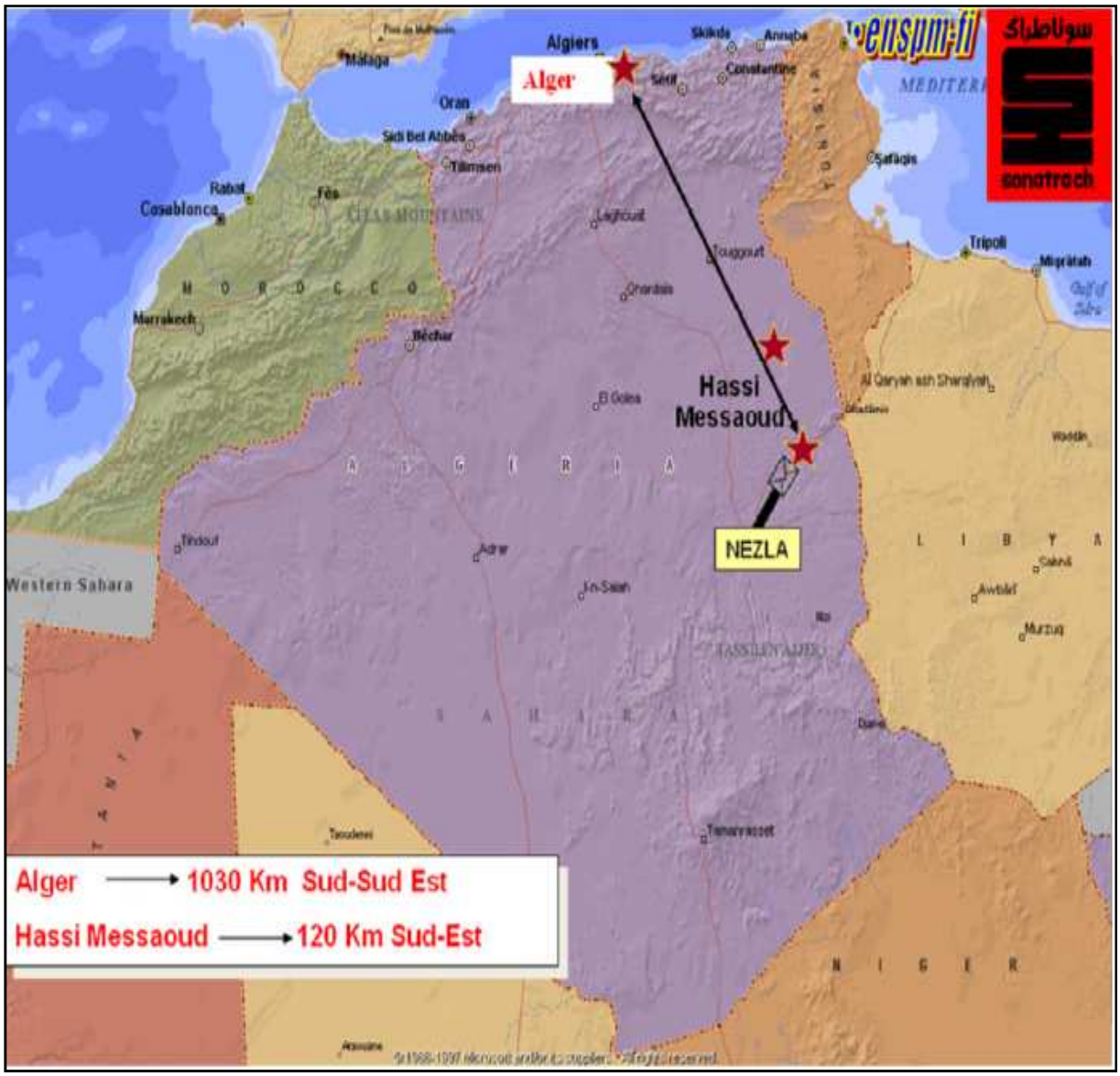


Figure I.2. Situation géographique du HMD et Nezla SONATRACH [19].

I.7.2. Situation Géologique du Champ

Le môle de Hassi Messaoud est le résultat d'une histoire paléo tectonique assez compliquée, c'est le prolongement de la dorsale d'Amguid El Biod de plus de 800 km de long. Sa structure fait partie d'un ensemble de structures formant la province triasique Nord orientale.

Limitée au Nord par la structure D'jamaâ-Touggourt, à l'Est par la dépression de Berkine, à l'Ouest par la dépression d'Oued Mya, au sud par le horst d'Amguide El- Biod. [19].

I.7.3. Historique de recherche du champ Hassi Messaoud

Le gisement de Hassi Messaoud a été découvert suite à une compagne sismique de réfraction. Le 15 Janvier 1957, le premier forage MD1 a mis en évidence de l'huile à 3338 mètres de profondeur dans les grès du Cambrien.

En Mai 1957 et à 7 km au Nord / Nord-Ouest de MD1, le forage OM1 foré par la C.F.P.A confirmait l'existence d'huile dans les grès du Cambrien. La partie Sud de la concession sur laquelle se trouve le champ, a été octroyé à la SNREPAL et celle du Nord à la CFPA.

Actuellement le champ est divisé en 25 zones de production. Ces zones sont relativement indépendantes et correspondent à un ensemble de puits communiquant entre eux mais pas avec ceux des zones voisines, et se comportent de la même manière de point de vue pression de gisement.

I.8. Plan d'intervention du chantier ENTP-TP127 [23]

Le plan de situation n'est pas définitif, il peut être changé à chaque nouvelle reconnaissance de la plate forme (DTM), (Figure I.3).

- N°/DHSE/QHSE/2017,
- Appareil : ENTP-TP127 (Figure I.4).
- Client : SONATRACH
- Puits de départ : HASSI MESSAOUD
- Distance à HASSI MESSAOUD : 28 KM.

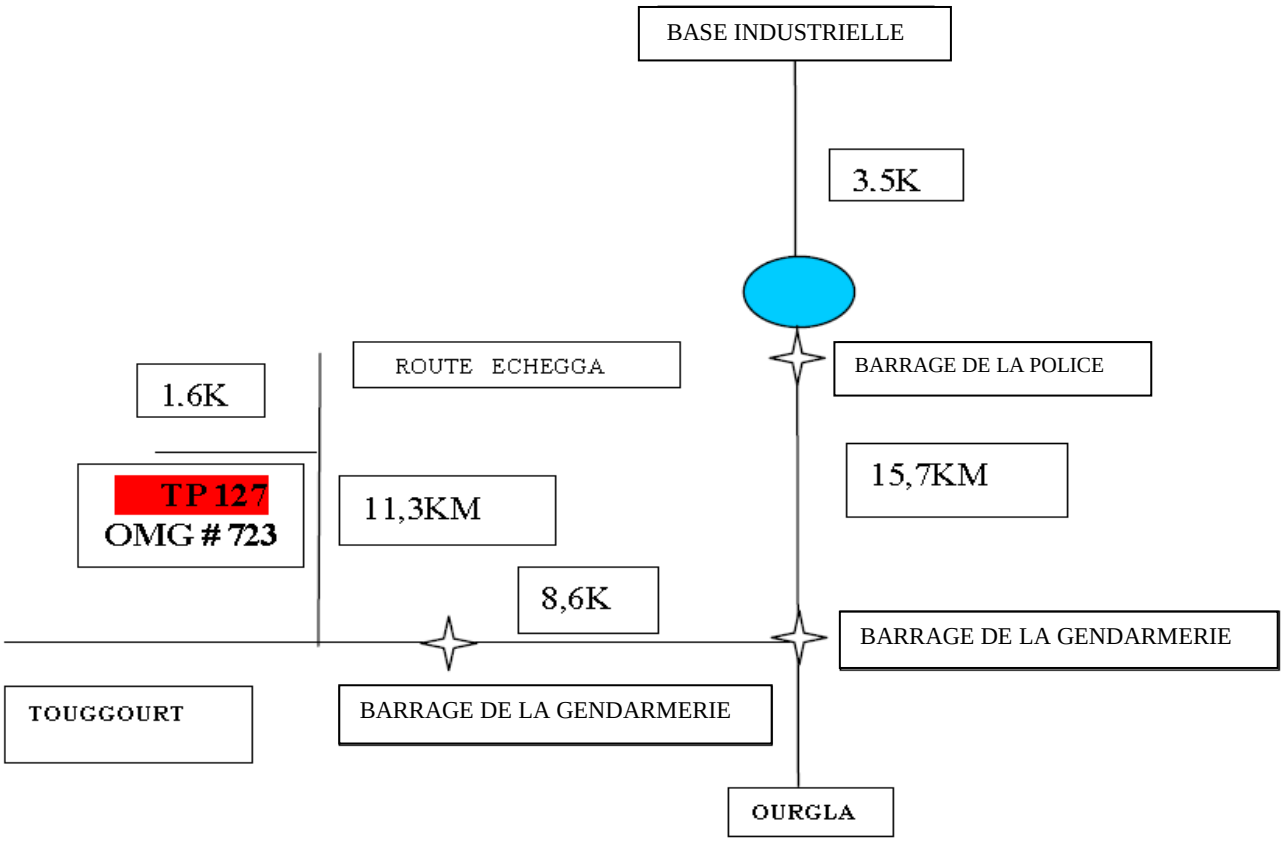


Figure I.3. : Plan d'intervention du chantier ENTP-TP127 [23].

Figure I.4 : Station ENTP-TP127[23].

I.9. Plan de masse de la station ENTP-TP127 [23]

Plan de masse de la station ENTP-TP127 se présente selon la (Figure I.5).

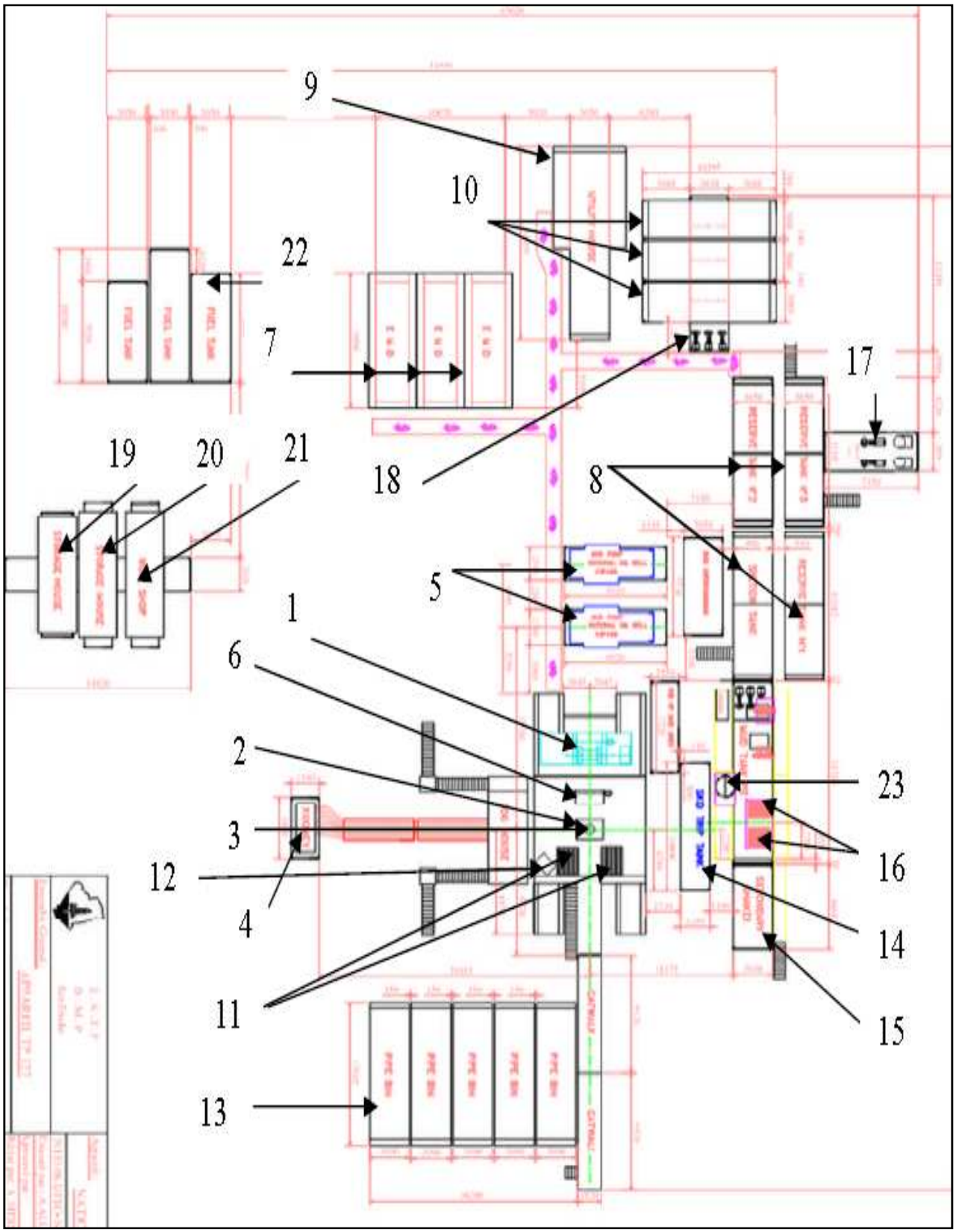


Figure I.5 : Plan de masse de la station ENTP-TP127 [23].

Avec :

1-treuil de forage
2- la table de rotation (rotary table)
3- puits-la tête de puits(BOP)
4- l'accumulateur de pression (koomy)
5-pompe a boue
6- kat Works
7-moteur de groupe électrogène (Caterpillar)
8- bac à boue
9- centrale électrique
10- baes à eau
11-gerbier stockage tiges +masse tige
12- treuil à air
13-rack à tige (stockage tiges pour tour post)
14-bak à de remplissage de boue
15-tamis vibrants (pour séparer formation broyée de la boue de forage)
16- tamis vibrants (shakeshakers)
17-mixeurs
18-pompe centrifugeuses (eau)
19-magasin (stockage matériel forage)
20- magasin (stockage matériel mécanique + électrique)
21-atelier mécanique
22-citernes de stockage gaz oïl (pour moteurs)

CHAPITRE II

Généralités sur les appareils de forage de puits de pétrole et de gaz.

« Avoir une stratégie de travail, c'est effectuer la recherche la plus logique, la plus exhaustive et la plus rapide »
Marie Hélène Prévoteaux Jean Claude Ultard

II.1. Introduction

La technologie de forage de puits de pétrole et de gaz demande l'emploi d'un équipement complexe et des outils modernes, ainsi qu'une grande quantité de matériaux, tubes, ciment, réactifs chimique …….etc.[11].

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.2. Descriptions de l'appareil de forage

Un appareil de forage doit accomplir dans les meilleures conditions techniques et de sécurité, la réalisation d'un puits reliant un gisement à la surface.

II.2.1. Classification [3],[16]

Deux caractéristiques relativement liées interviennent dans la classification d'un appareil de forage :

1. La capacité de profondeur de forage maximale
2. La puissance au treuil

La règle du pouce donne d'une manière pragmatique : Pour 100 foot de forage, il faut 10 HP de puissance au treuil (Tableau II.1).

Appareil léger	4921 foot – 6561foot	1500 m- 2000 m	650 HP
Appareil moyen	11482 foot	3500 m	1300 HP
Appareil lourd	19685 foot	6000 m	2000 HP
Appareil super lourd	26246 foot	8000m-10000m	3000 HP

Tableau II.1. Classification des appareils de forage [3].

II.2.2. Description [13]

L'appareil de forage est constitué d'un ensemble d'équipement. La figure II.1 montre les différents organes constituants un appareil de forage standard.

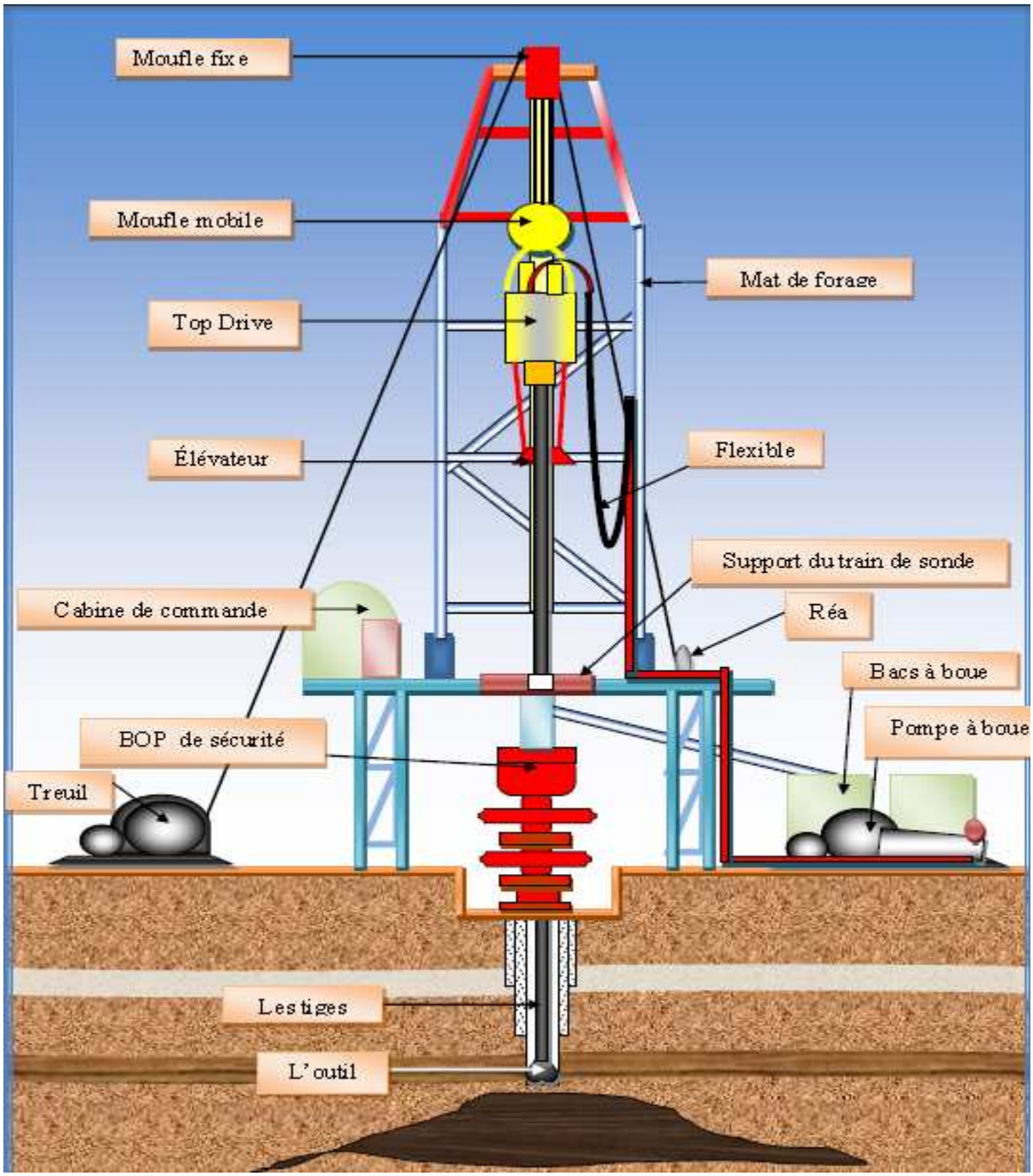


Figure II.1. Description de l'appareil de forage [13].

II.3. Fonctions d'un appareil de forage [3],[10],[11][13],[16],[17]

Les installations de forage employées pour le forage rotary des puits profonds représentent un ensemble de différentes machines, mécanismes et bâtiments.

Au cours de forage rotary d'un puits profond, à l'aide d'une installation de forage, on réalise les opérations suivantes :

- ✓ Descente de la colonne de tige de forage dans le puits.
- ✓ Rotation d'un outil de forage.
- ✓ Injection du liquide de forage dans le puits afin de remonter les déblais de terrain découpés, refroidir le trépan et consolider les parois du puits.
- ✓ Rallongement de la colonne de tiges de forage par la mesure de l'augmentation de la profondeur du puits.
- ✓ Montée de la colonne des tiges pour remplacer un outil de forage usé.
- ✓ Evacuation de déblais du terrain par le liquide de forage et préparation d'un nouveau liquide.
- ✓ Descente des colonnes de tubage.

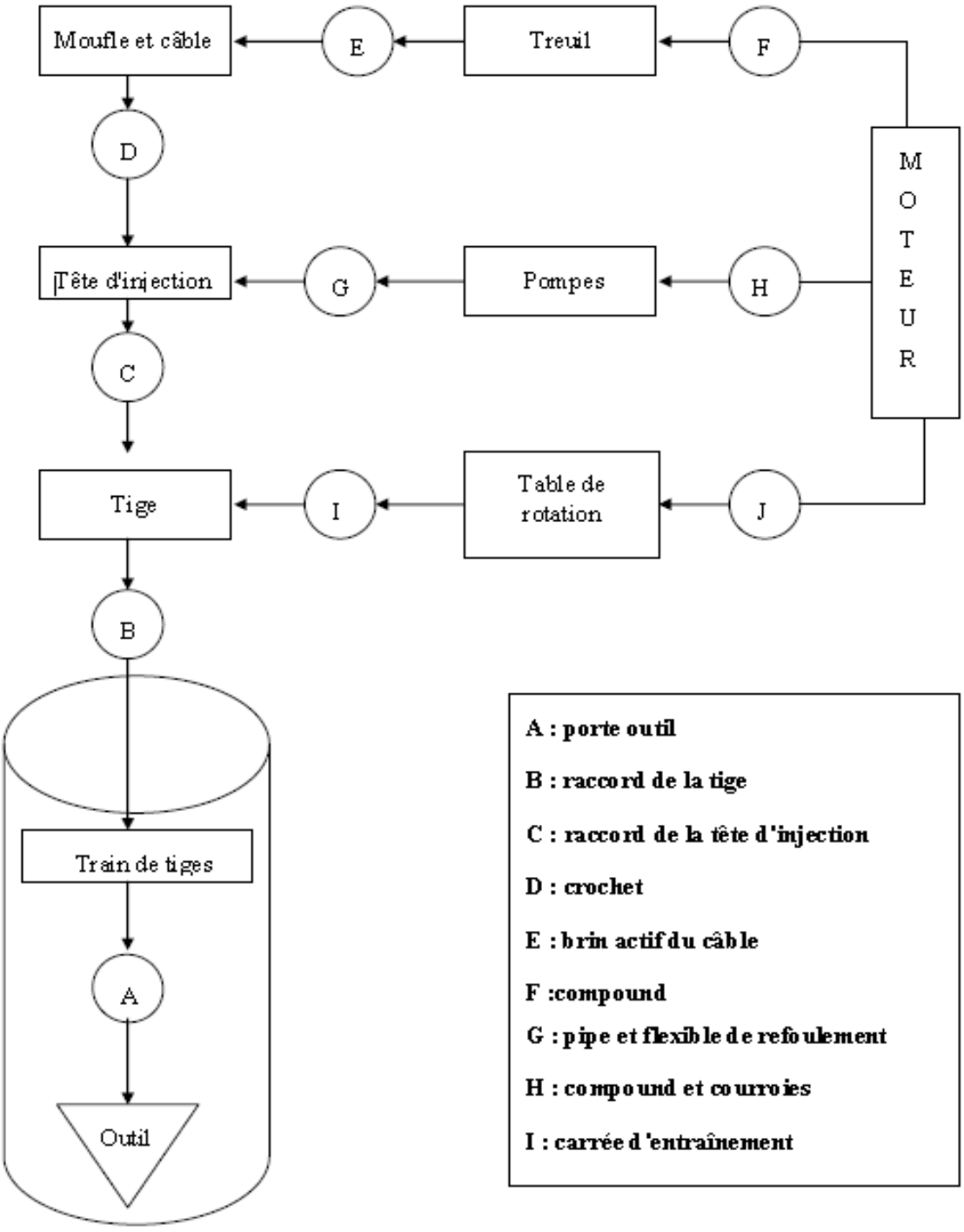


Figure. II.2. Schéma de fonctionnement de l'appareil de forage [3].

L'ensemble de tous ces équipements qui travaillent au-dessus de la surface permettent d'assurer trois fonctions principales :

II.3.1. Fonction rotation [10]

Pour faire tourner l'outil, on visse au sommet des tiges, de forme cylindrique, une autre tige de section carrée ou hexagonale, appelée tige d'entraînement [kelly], et on l'introduit dans un moyeu appelé table de rotation [rotary table].

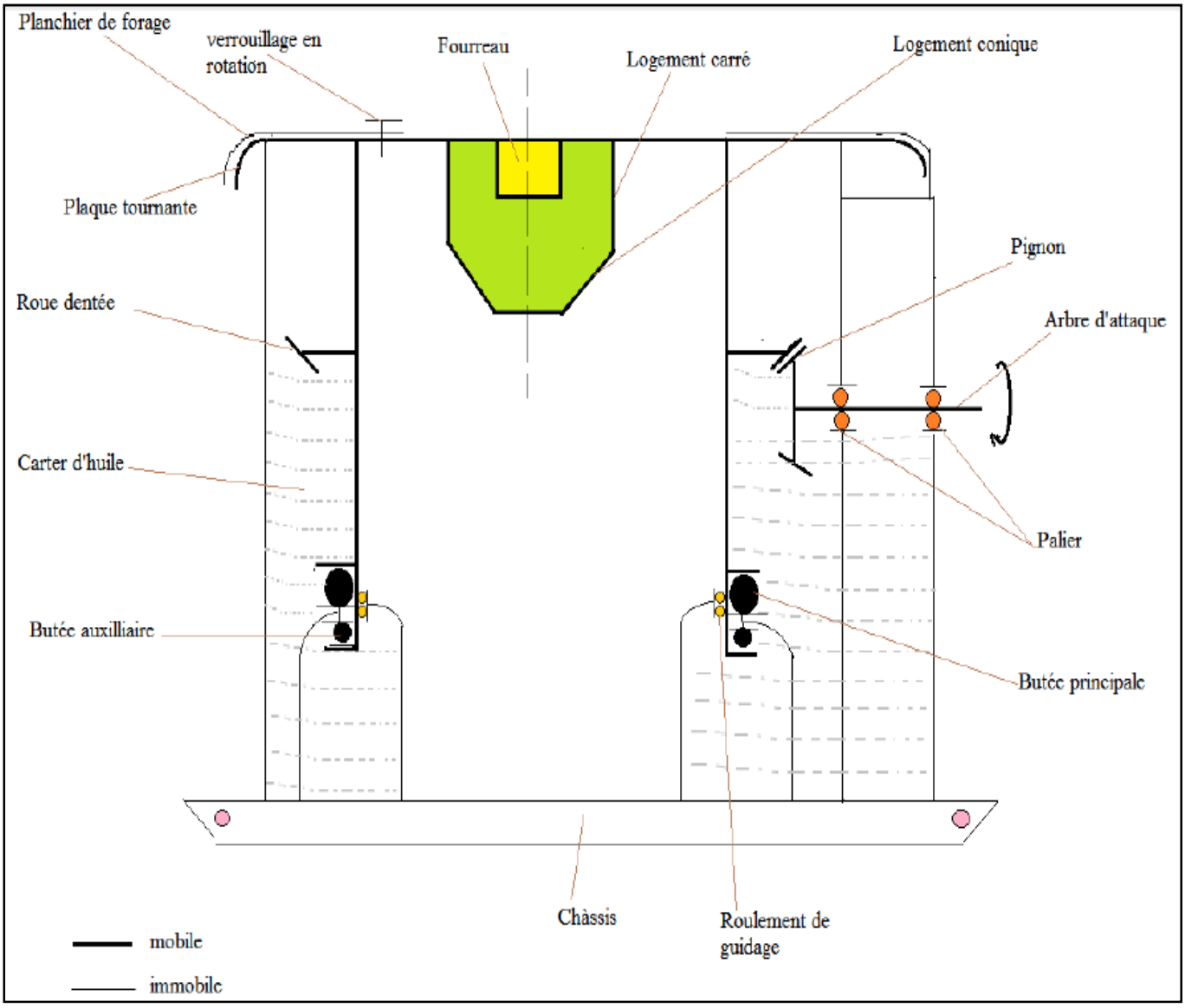


Figure II.3. Table de rotation [10].

Caractéristiques de la table de rotation [10] :

- Les Tables de Rotation tournes a des vitesses 40 à 500 tr/min.
- La Table de Rotation ne consomme pas beaucoup de puissance.
- La capacité de la table est définit par la capacité de la butée principale.
- La puissance de la table sera ; $Pu= (L/30 + 10) N/100 P_d/D$, où :

L ; Profondeur de puits (m).
N ; Vitesse de rotation (Tr/min).
P_d ; Poids sur l'outil (tonnes).
D ; Diamètre du puits (pouces).
P_u ; Puissance de la table (chevaux).

Sur cette table est placé un carré d'entraînement, qui comporte des rouleaux épousant la forme de la tige d'entraînement. Ce carré est entraîné par la table de rotation par l'intermédiaire d'une fourrure d'entraînement. Il permet de transmettre le mouvement de rotation de la table à la tige d'entraînement, ainsi que sa translation sans risquer de se frotter sur les côtés et de s'user.

Cette table de rotation peut aussi supporter le train de sonde grâce aux coins de retenue lorsqu'on ajoute une tige au cours de la manœuvre.

II.3.2. Fonction levage [17]

Cette fonction sert à assurer les manœuvres de descente et de remontée. Pour soulever la garniture de forage (ensemble tiges - tiges lourdes – masse-tiges), il faut utiliser une grue de grande capacité, car la garniture de forage peut atteindre un poids supérieur à 150 tonnes ou plus. Cette grue est constituée :

- d'un mât,
- d'un treuil,
- d'un palan comprenant les moufles fixe et mobile et le câble.

III.3.2.1. Le mât de forage

C'est le « trépied » qui supporte le palan. Il a remplacé la tour pour la rapidité de son montage et démontage (Figure II.4).

A son sommet est placé le moufle fixe. Une passerelle d'accrochage est placée à son milieu ; elle sert de lieu de travail pour l'accrocheur, qui accroche ou décroche les « longueurs » de tiges lors de la remontée ou la descente de l'outil dans le puits. Une autre passerelle de hauteur ajustable, placée plus bas, sert à guider le tubage pour le visser et le descendre dans le puits.

Un plancher de travail est aménagé aux pieds du mât. Il sert d'aire de travail pour l'équipe. Une cabine [dog house] est aménagée sur ce plancher pour permettre aux ouvriers de se reposer. Le plancher est surélevé de quelques mètres au-dessus du sol, pour permettre l'introduction des éléments de la tête de puits et des obturateurs.

Les toutes reposes sur une substructure robuste, formée de caissons en treillis de fer soudés.

Un plan incliné est conçu pour faire remonter les tiges sur le plancher pour les descendre dans le puits.

L'ensemble est posé sur une plate-forme en béton armé, préalablement aménagée sur le sol.

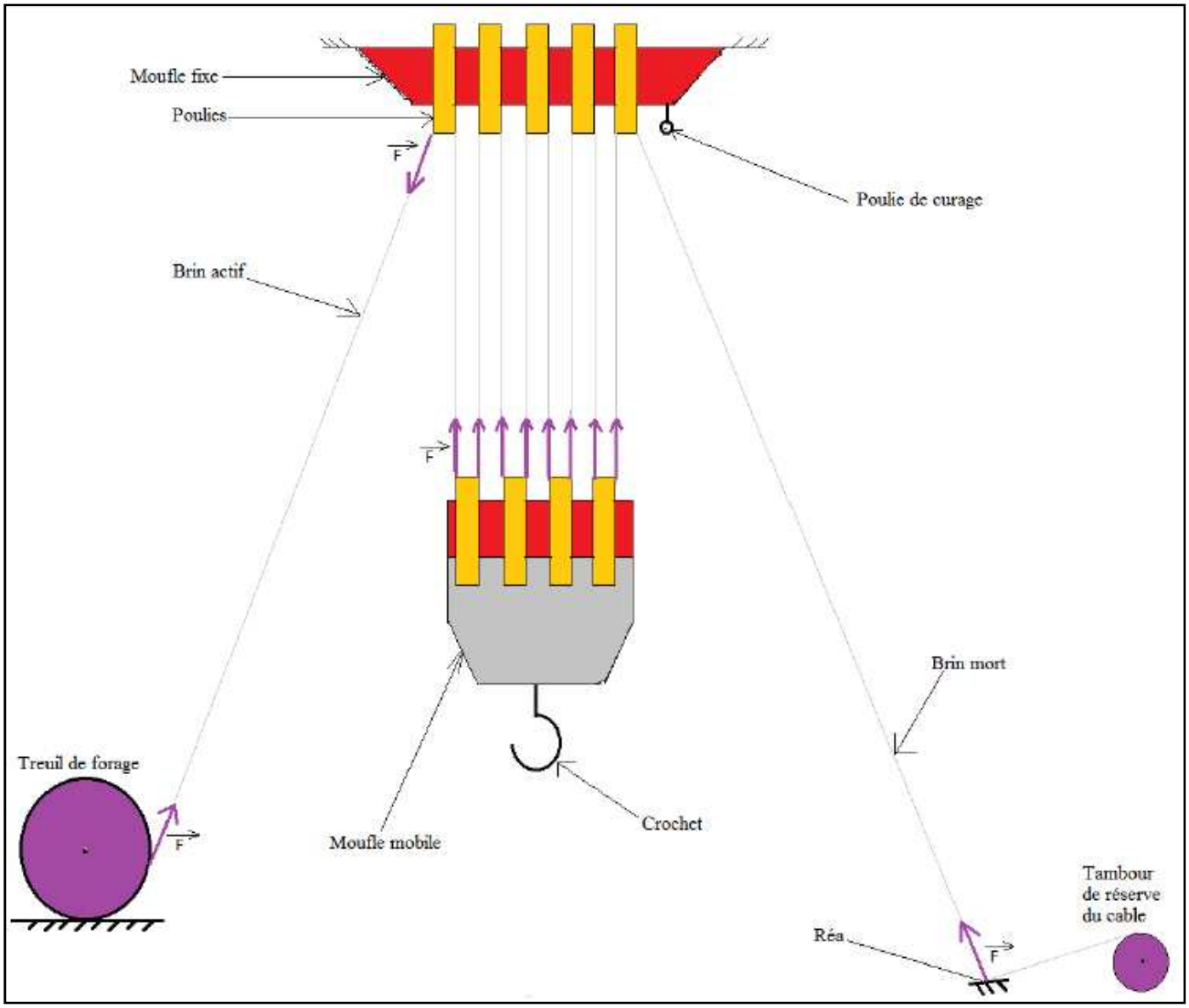


Figure II.4. Fonction levage [17].

III.3.2.2 Le Mouflage

Le mouflage est l'enroulement du câble de forage entre les poulies des moufles fixe et

mobile en plusieurs brins (jusqu'à 14 brins).

Le système de mouflage comprend essentiellement le moufle fixe, le moufle mobile et le câble de forage.

Le schéma (Figure II.5) représente l'ensemble du chemin du câble de forage et les différents composants qui le constituent.

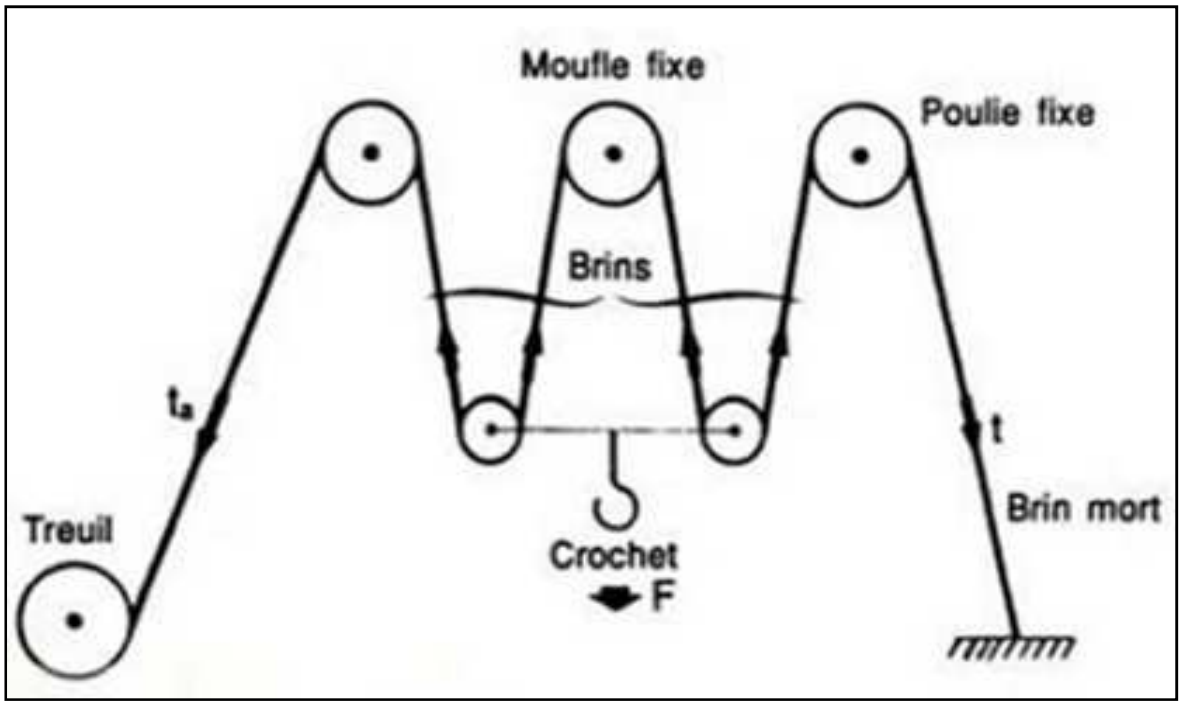


Figure II.5. Schéma simplifié d'un système de mouflage [17].

Le mouflage permet de démultiplier le poids de la garniture de forage et diminuer la vitesse de son déplacement. En négligeant les frottements, la charge au crochet est divisée par le nombre de brin (Figure II.6) .

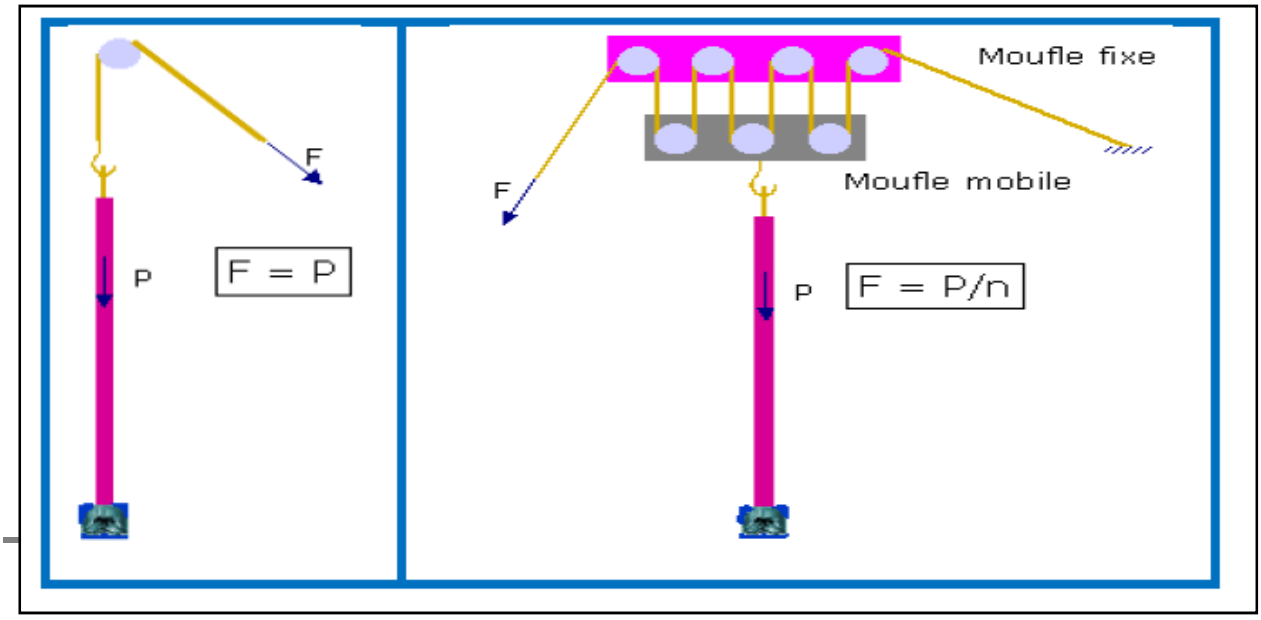


Figure II.6. Le Mouflage [17].

- **Le moufle fixe** [crown block] : formé d'un certain nombre de poulies et placé au sommet du mât, il possède une poulie de plus que le moufle mobile.

- **Le moufle mobile** [travelling block] : formé également d'un certain nombre de poulies par lesquelles passe le câble de forage, il se déplace sur une certaine hauteur entre le plancher de travail et le moufle fixe. Il comporte à sa partie inférieure un crochet [hook] qui sert à la suspension de la garniture pendant le forage. Des bras sont accrochés de part et d'autre de ce crochet servent à supporter l'élévateur, utilisé pour la manœuvre de la garniture.

II.3.2.3. Le treuil [Draw works] [17],[3],[16],[24],[25]

Le treuil de forage permet le levage de la garniture et du tubage, ce qui constitue sa principale utilisation.

Le treuil est un ensemble d'élément mécanique qui assure plusieurs fonctions :

- Il assure la transmission de la puissance adéquate pour permettre le levage des tiges de forage et du tubage à partir des moteurs de la sonde.

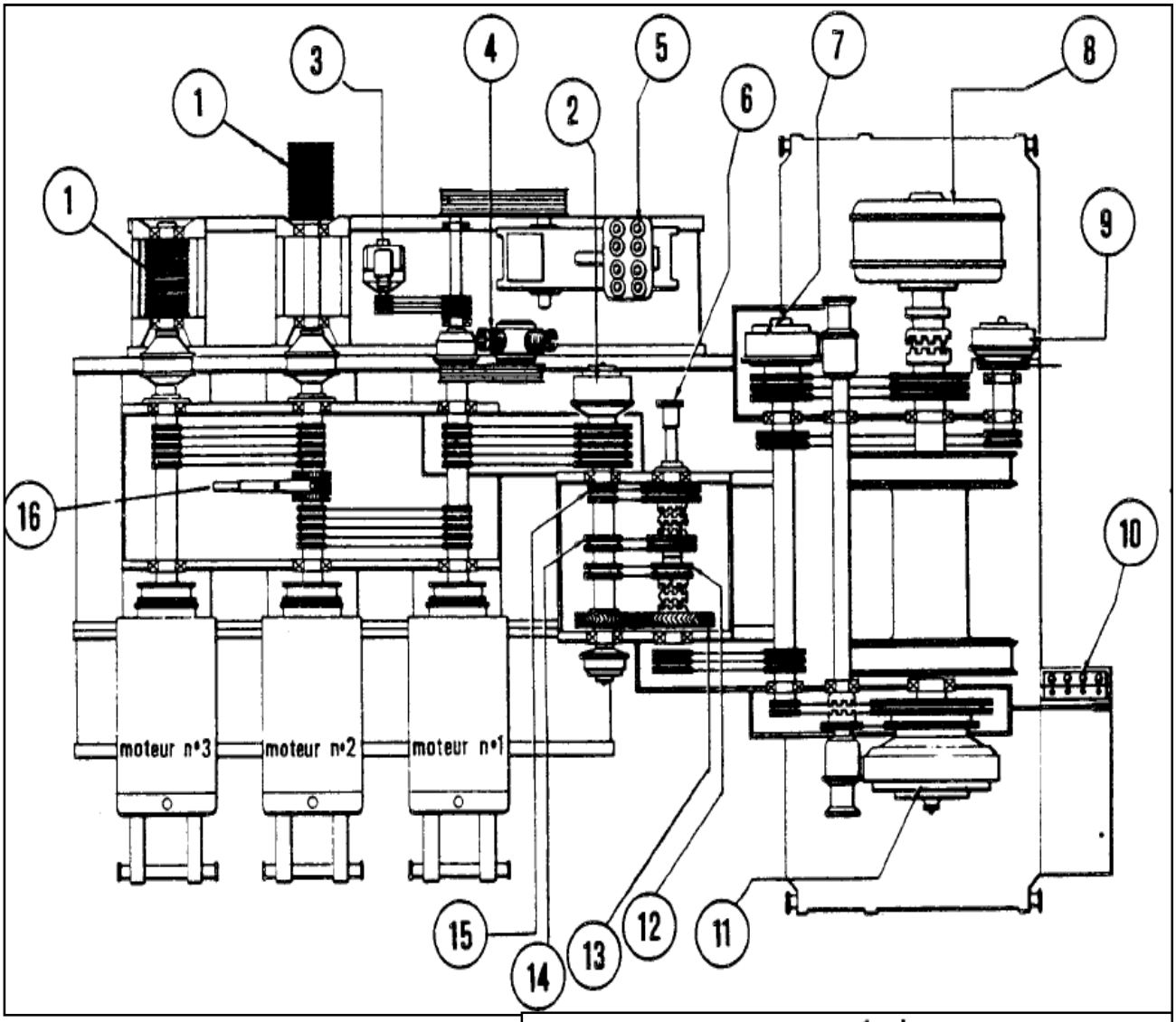
- Il transmet la puissance au pignon d'attaque de la table de rotation sur la plupart des sondes. Certaines tables, plus récemment, sont équipées d'entrainements indépendants tels que moteurs à combustion interne ou moteurs ou moteur électrique.

- Il fournit la puissance à un arbre secondaire permettant de dévisser et visser les tiges et les tubages.

Pendant les années précédant la deuxième guerre mondiale, et les premières années qui la suivirent, les constructeurs de treuil reçurent la mission suivante : construire des appareils meilleurs, plus lourds, plus rapides pour réaliser des forages plus profonds avec des vitesses d'avancement compétitives.

Des moteurs à combustion interne furent groupés pour entrainer ces nouvelles sondes par l'intermédiaire « compounds) (transmission entre moteurs et treuil) [24],[25].

Les treuils durent être capables de manœuvrer cent, cent cinquante et deux cents tonnes. et cela, à une vitesse appréciable. C'est probablement dans les années 1950 que les sondes de ce type atteignirent le sommet de leur développement. De tels appareils sont les chevaux de trait de l'industrie du forage même maintenant pour les puits de 3000 à 5000 m, en forage à terre (Figure II.7) [25].



1. Poulies pour transmission vers pompes
2. Embrayage principal
3. Alternateur
4. Compresseur à air
5. Pompe à eau
6. Arbre de sortie de transmission
7. Embrayage grande vitesse
8. Frein auxiliaire
9. Embrayage commande table de rotation
10. Tableau de commande
11. Embrayage petite vitesse
12. Pignons grande vitesse
13. Pignons marche arrière
14. Pignons vitesse moyenne
15. Pignons petite vitesse
16. Clabot de sélection (à commande manuelle)

Figure II.7. Chaine cinématique et accessoires d'un ensemble de treuil [25].

A peu prés à la même époque survint un autre progrès très intéressant : l'outil à jet et ses conséquences sur le développement des pompes à boue. Jusque là, le treuil et ses besoins de puissance déterminaient la force motrice. Alors, les pompes commencèrent à être couplées sur des moteurs indépendants, ce qui libérait une puissance motrice supplémentaire sur la sonde.

La figure II.8 montre comment les moteurs sont reliés au treuil par l'intermédiaire du compound et de la transmission [25].

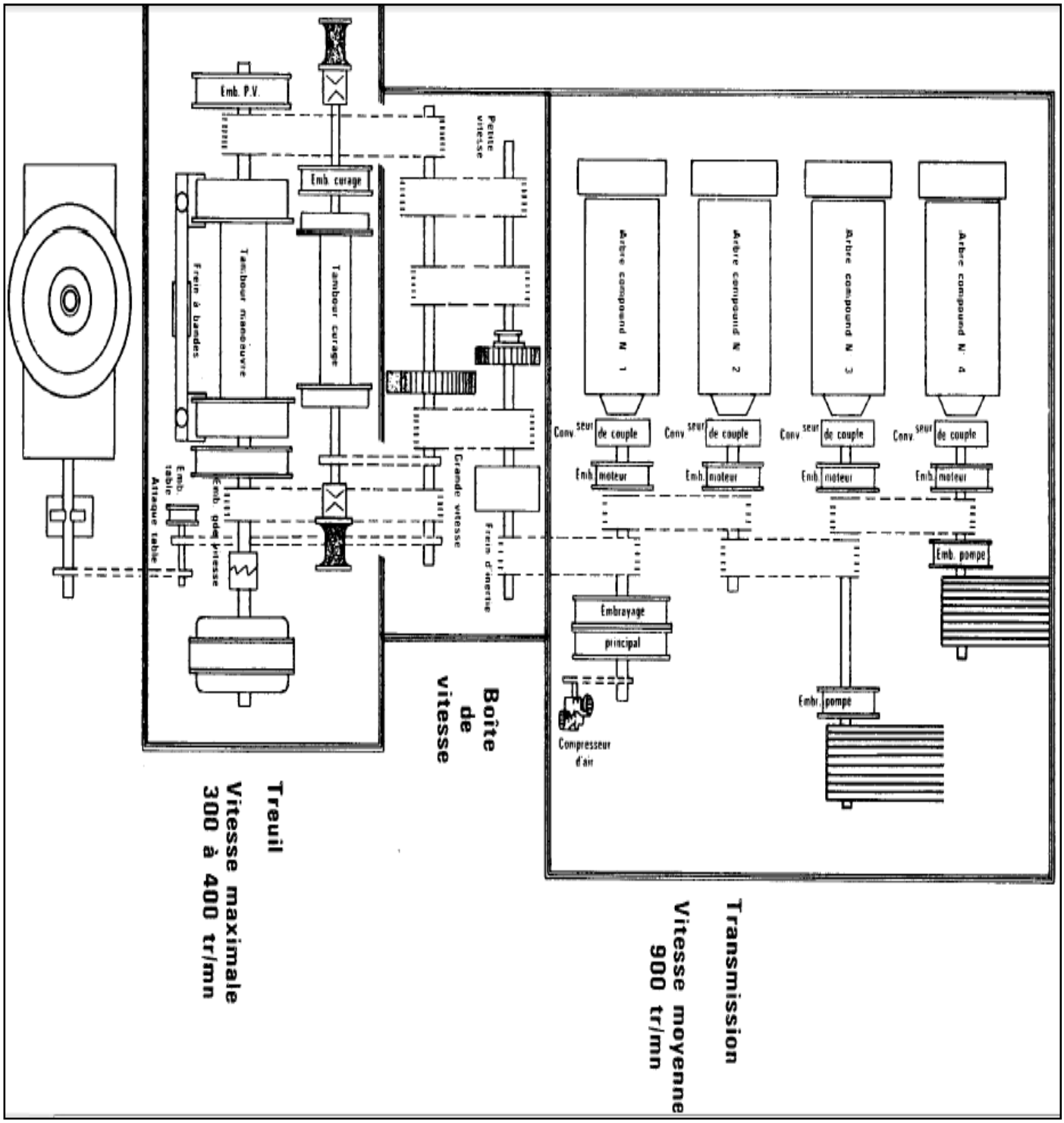


Figure II.8. Plan schématique d'un treuil et transmission à sections [25]

II.3.2.4. Le câble de forage [17],[24],[25]

Un câble est constitué de plusieurs torons disposés en spirale autour d'une âme, chaque toron est lui-même constitué de plusieurs fils calibrés, également disposés en hélice sur plusieurs couches (Figure II.9).

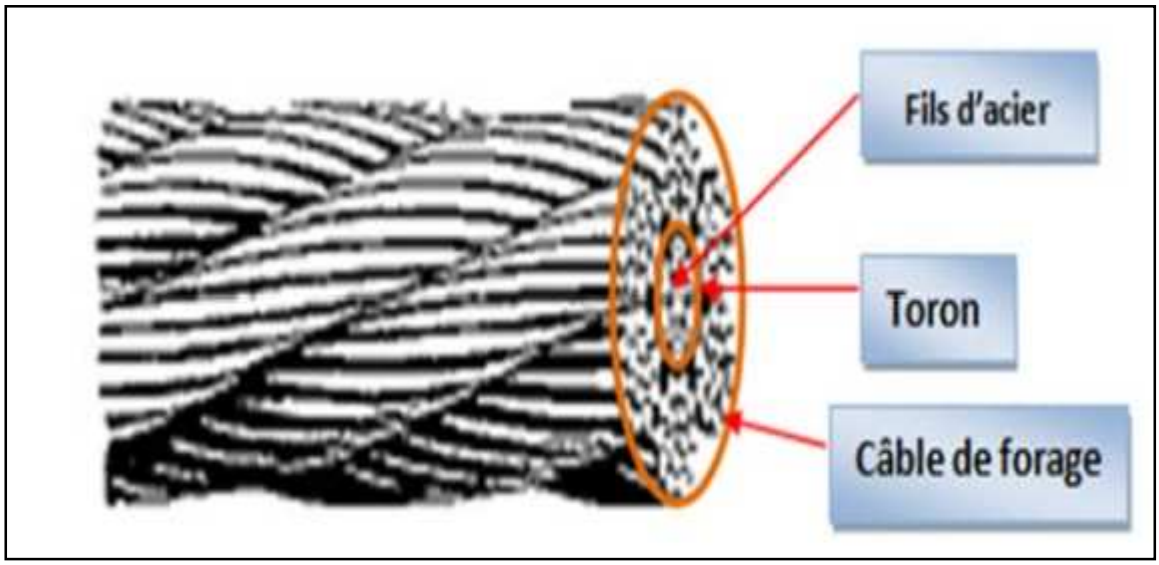


Figure II.9. Câble de forage [17].

1. **L'âme du câble *:*** L'âme support du câble peut être en textile (chanvre, sisal, jute), métallique ou mixte (métal et textile).

   L'âme textile ne joue aucun rôle dans la charge de rupture du câble mais, par contre, retient bien la graisse et donne au câble une bonne élasticité longitudinale.

   L'âme métallique, elle, participe à la charge de rupture du câble et lui permet de mieux résister à la déformation après passage sur des poulies de faible diamètre. Par contre, elle est moins souple que l'âme textile.

2. **Les torons *:*** Les deux types de torons les plus utilisés dans la fabrication des câbles de forage sont :

a) **Seal Lay :** Dans ce type de toron, les deux couches extérieures ont le même nombre de fils et sont toronnés au même pas. Les fils n'ont pas le même diamètre pour pouvoir être jointifs.

b) ***Filler :*** Appelé aussi Seal Lay à fils de remplissage ou Seal Lay-filler. Il est constitué (lorsque l'utilisation réclame) un nombre de fils plus important par toron. Le toronnage dans les différentes couches se fait au même pas.

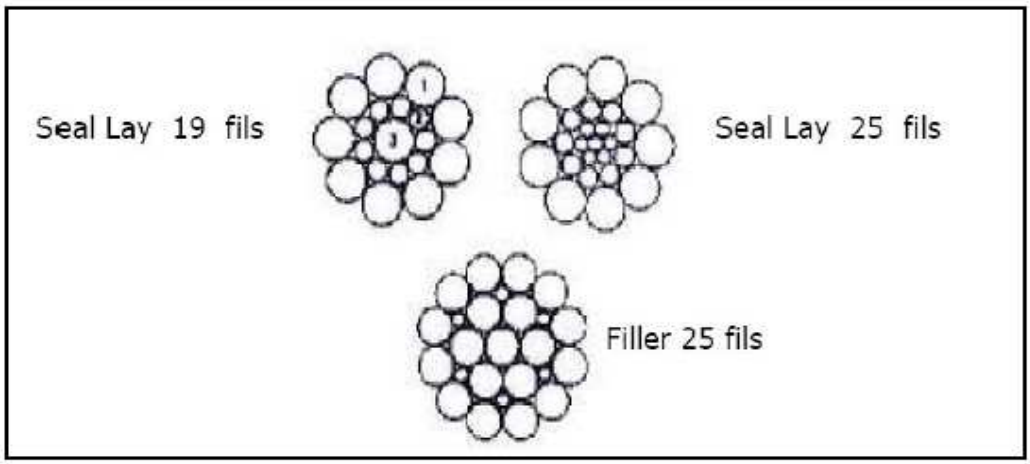


Figure II.10. Type de torons [17]

Diamètres des câbles :

- Diamètre théorique : qui correspond au diamètre nominal du câble,
- Diamètre pratique: C'est le diamètre réel mesurable obtenu à la fabrication. Il est généralement supérieur au diamètre théorique dans la limite d'une tolérance maximale.

Coefficients de sécurité [25]:

Coefficient de sécurité = Charge de rupture / Traction exercée sur le câble

Pour un câble de forage, la traction est considérée au niveau du brin actif qui supporte l'effort le plus important.

Travail effectué par un câble [17] :

Le câble de forage qui relie le treuil au moufle mobile, est l'organe de transmission du travail qui permet aux charges d'être déplacées à la verticale dans les deux sens.

Outre que le câble s'use en fonction des points particuliers d'usure, il s'use également proportionnellement au travail qu'il effectue. Il est donc nécessaire de contrôler la durée de vie d'un câble en fonction du travail qu'il effectue, de façon à pouvoir établir un programme de son utilisation.

En considérant que :

- Les frottements de la garniture de forage contre les parois du trou sont les mêmes à la remontée qu'à la descente,
- Il y a des tiges sur toute la hauteur du trou, sorties ou introduites "longueur" par "longueur",

- Le supplément de poids dû aux masse – tiges et à l'outil est rassemblé à la base de la garniture au niveau de l'outil.

II.3.2.5. Le crochet de forage [17]

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.

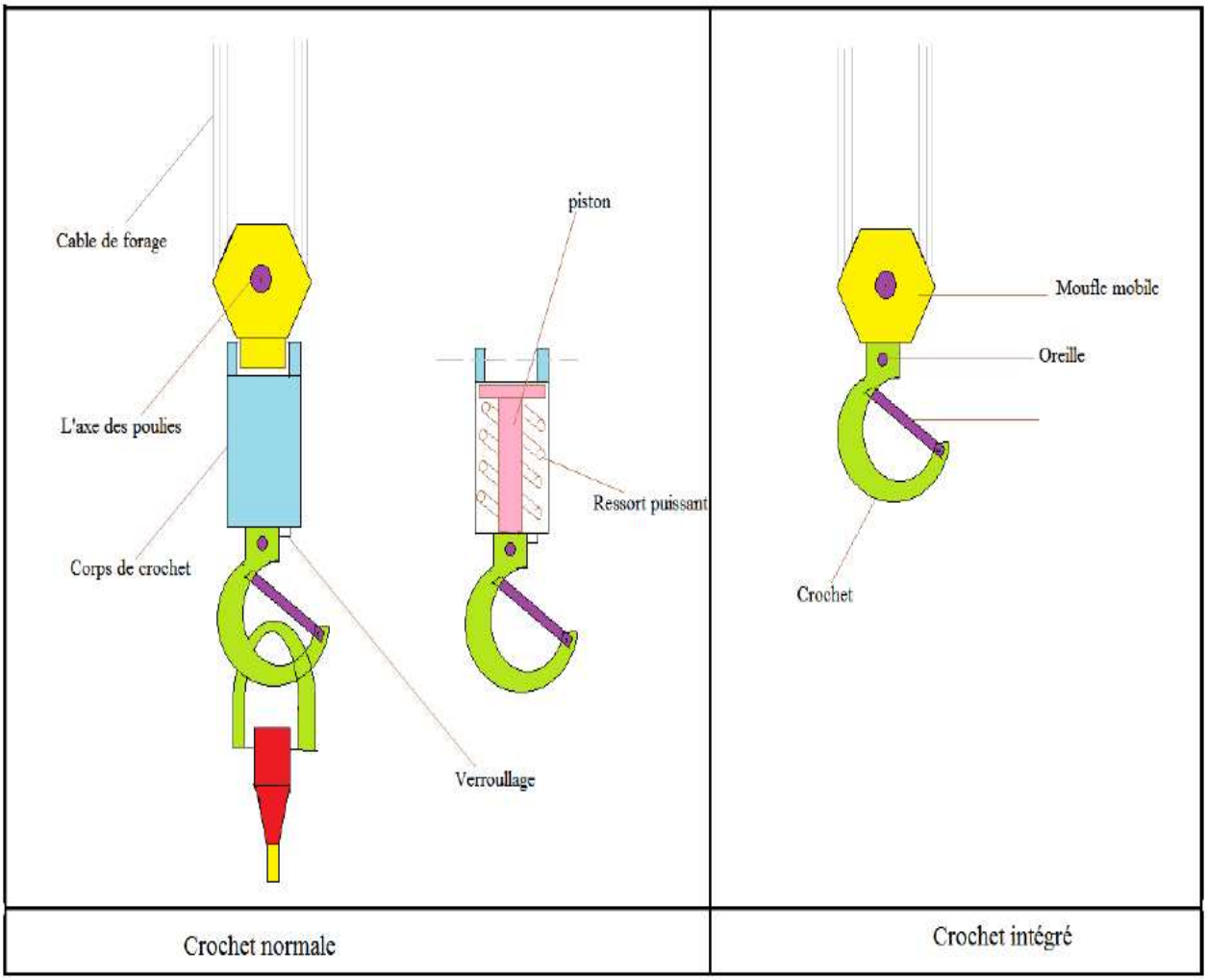


Figure II.11. Le crochet de levage [17].

II.3.3. Fonction pompage [3]

La fonction pompage assure l'acheminement du fluide de forage depuis l'aspiration de la pompe jusqu'au retour aux bassins.

La boue [mud] est fabriquée dans des bassins de grande capacité. Elle est ensuite aspirée par des pompes [mud pumps] et refoulée dans les tiges creuses. Elle descend le long de la garniture de forage [drilling string], sort par les orifices de l'outil, remonte dans l'espace annulaire entre la garniture de forage et le puits jusqu'en surface. Là, elle est recueillie dans un tube vertical (tube fontaine), puis acheminée par un autre horizontal (goulotte) vers des tamis vibrants, pour être débarrassée des déblais [cuttings], avant d'être réinjectée dans le puits [well].

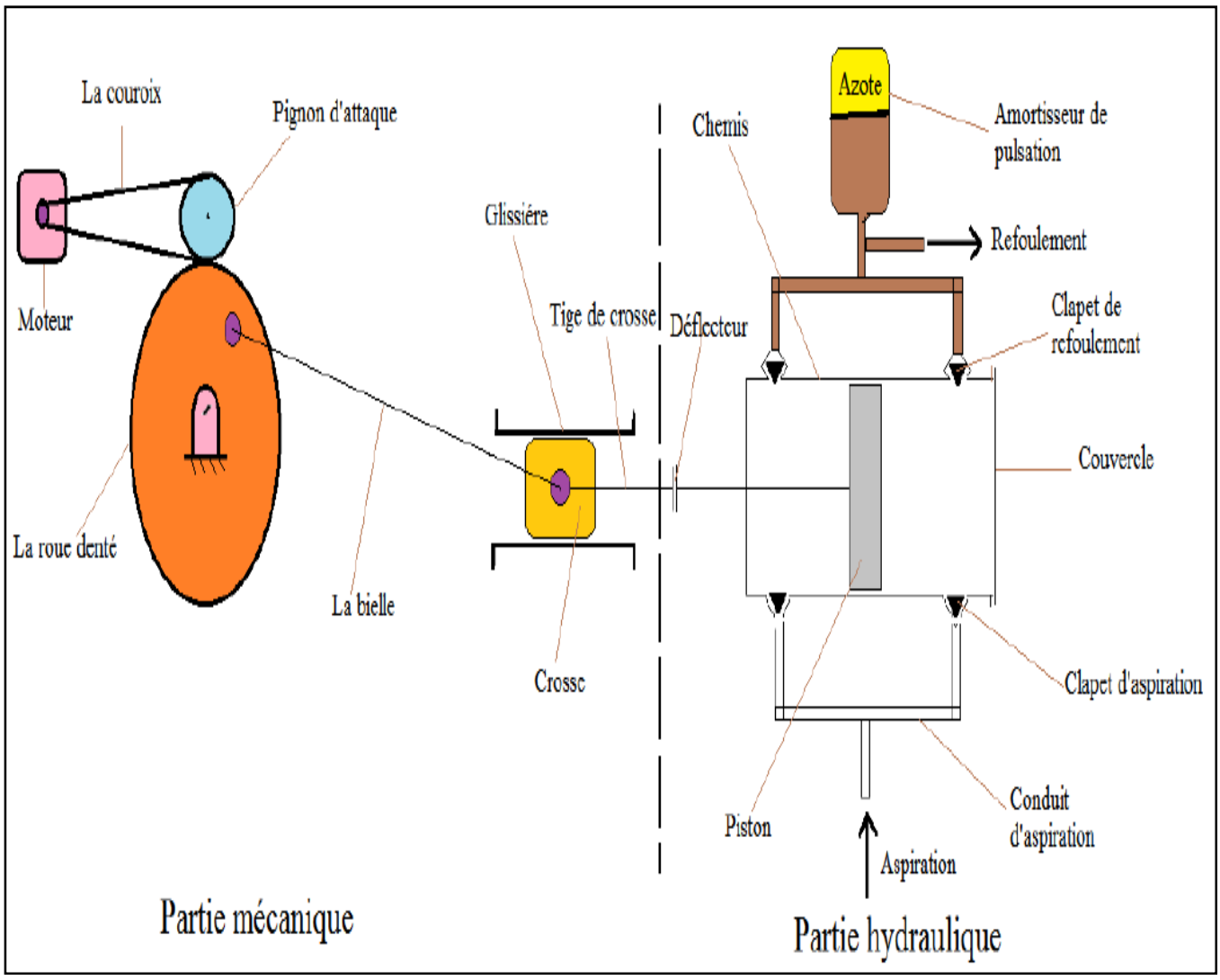


Figure II.12. La Pope a boue [3].

La boue, une fois refoulée doit suivre le chemin suivant [24],[3]:

- **La conduite de refoulement** : juste à la sotie de la pompe, achemine la boue de la pompe jusqu'au plancher de travail.

- **Le manifold de plancher** : placé sur le plancher de travail, il comporte plusieurs vannes pour diriger la boue dans plusieurs directions.

- **La colonne montante [stand pipe]** : c'est une conduite connectée au manifold de plancher et monte tout au long du mât.
- **Le flexible d'injection [kelly hose]** : qui raccorde la colonne montante au sommet des tiges.
- **Le col de cygne [goose neck]** : point de connexion du flexible d'injection à la tête d'injection.

- **La tête d'injection [swivell]** : La tête d'injection représente le mécanisme qui relie la partie mobile d'une installation de forage à la partie fixe (Figure II.14).

En effet la tête d'injection qui est suspendue d'un côté au crochet de levage et de l'autre côté vissé à la tige carrée, elle sert :

- ✓ De palier de roulement à l'ensemble du train de tige pendant le forage
- ✓ Elle assure le passage de la boue de forage venant d'une conduite fixe (Flexible d'injection) dans une conduite animée d'un mouvement de rotation (train de sonde).
- ✓ Une tête d'injection comprend une partie mobile reposant par l'intermédiaire d'un roulement à bille principal sur une partie fixe.

L'étanchéité dans ce point est assurée par une garniture spéciale. Il est prévu aussi sur la partie inférieure de la tête d'injection et pour empêcher l'huile de s'échapper des presse- étoupes.

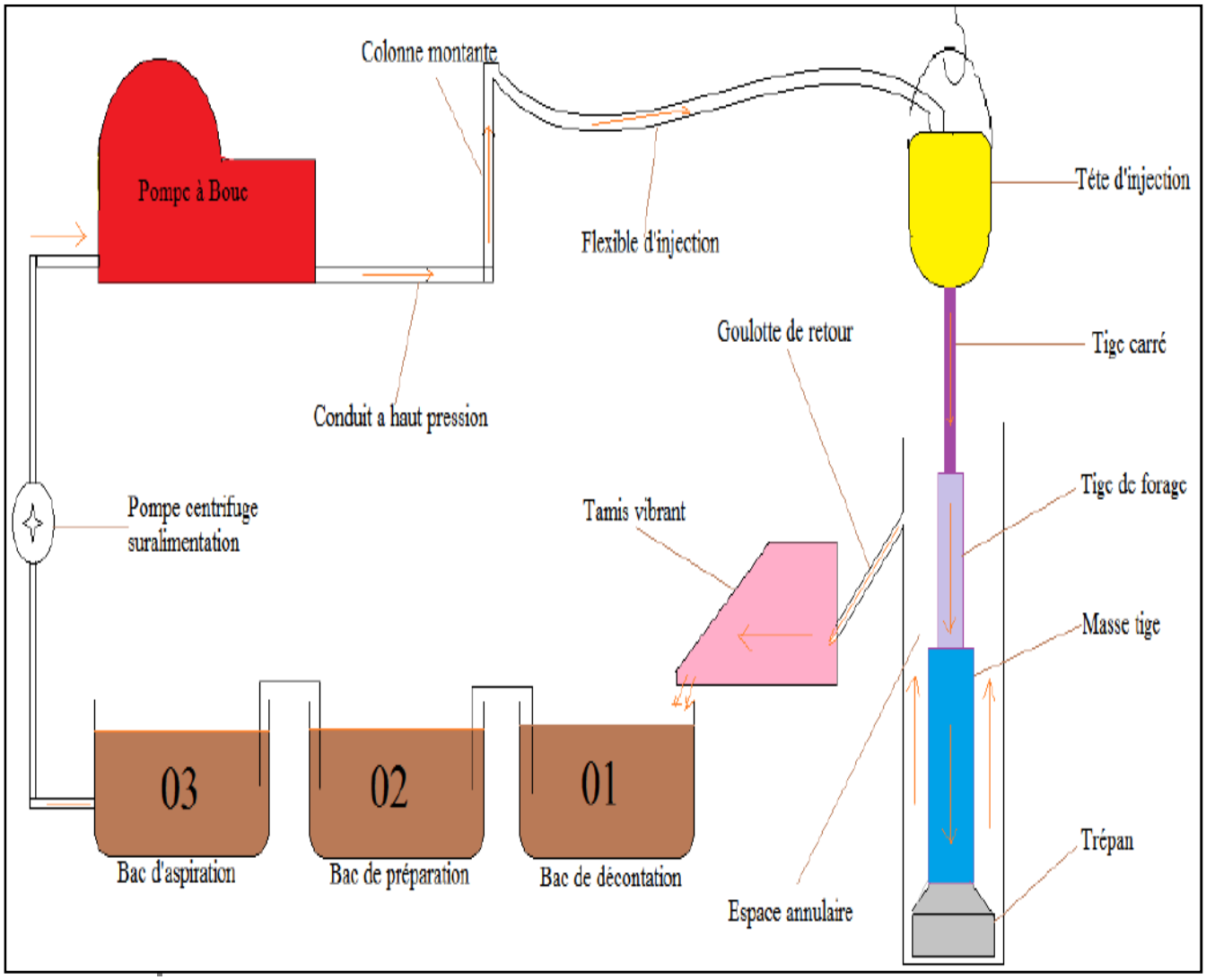


Figure II.13. Fonction pompage [3].

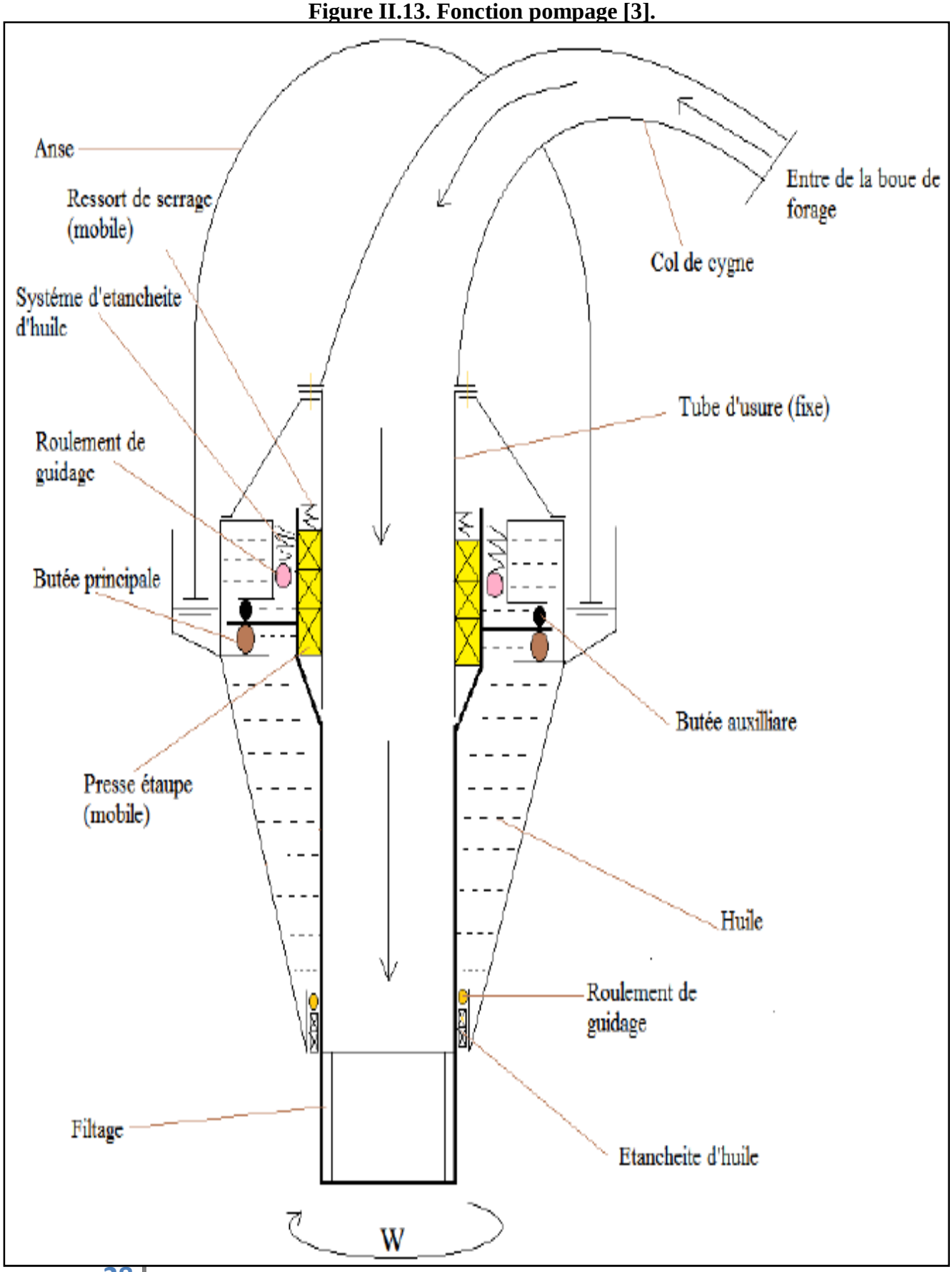


Figure II.14. Tête d'injection [3].

II.3.4. Fonction motrice et transmission [16]

II.3.4.1. Les sources d'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.3.4.2. Les systèmes de transmissions de puissance

- **Transmission mécanique :**

Plusieurs moteurs diesel travaillent en parallèle grâce à leur interconnexion par un système de chaînes et d'embrayage compound.

- **Transmission électrique :**

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

II.3.5. Fonction de sécurité [11]

Au forage des puits aux gisements où l'on suppose la présence d'une pression élevée des couches, afin d'éviter une éruption de gaz et d'huile, la tête de puits est munie de dispositifs d'étanchéité de sécurité appelés obturateurs de sécurité (B.O.P).

II.3.5.1. Obturateurs de tête de puits

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

Rôles d'Obturateurs :

L'obturateur et ses accessoires servant à:

- Assurer la fermeture du puits en cas de venue de fluides de formations;
- Permette la circulation sous pression contrôlée pour reconditionner la boue et évacuer l'effluent ayant pénétré dans le puits;
- Tester des éléments dans le puits;
- Faire des circulations inverses;
- Faire des squeezes.

Un obturateur est défini par sa marque, son type, sa dimension nominale et sa série (pression de service).

Pour chaque obturateur on précise en outre les caractéristiques suivantes:

- Le diamètre maximal de passage des outils.
- Les apports d'ouvertures et de fermeture (rapport entre la pression qui règne dans le puits et la pression nécessaire pour commander l'obturateur).
- Les volumes de fluide nécessaire pour la fermeture et l'ouverture.
- L'encombrement (fluide).
- Le poids.

Différents types d'obturateurs :

1- Obturateurs à mâchoires :

Ces obturateurs ferment l'espace annulaire autour des tiges par le déplacement d'une paire de mâchoires (Figure II.15).

- ✓ 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.

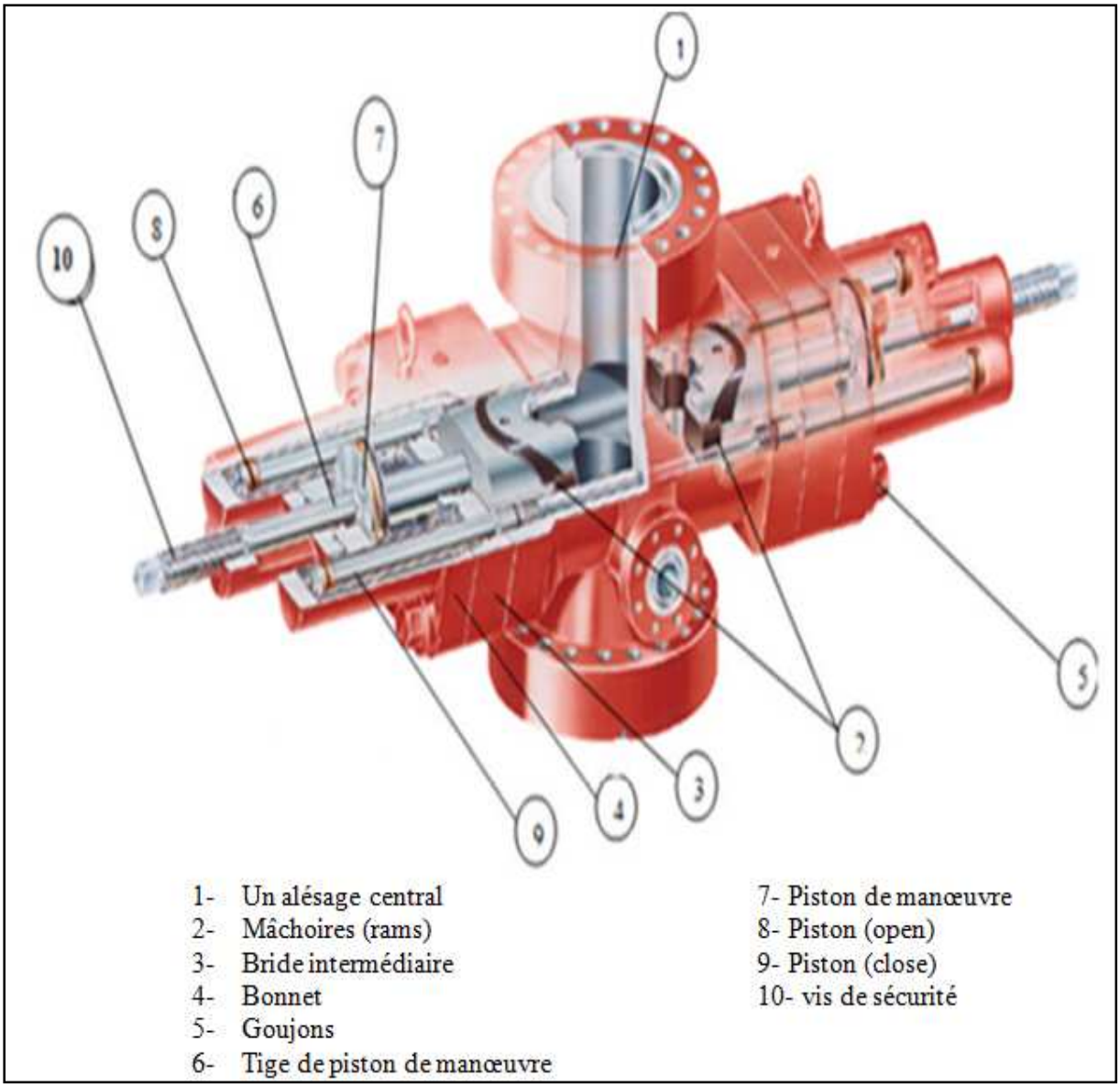


Figure II.15. Obturateur à mâchoires [11].

2- Obturateurs annulaires :

Ces obturateurs emploient une membrane en caoutchouc synthétique, qui fait étanchéité sur différents diamètres de la garniture de forage.
Elle peut même permettre petits mouvements de translation et rotation, et fermer complètement le trou s'il est vide (Figure II. 16).

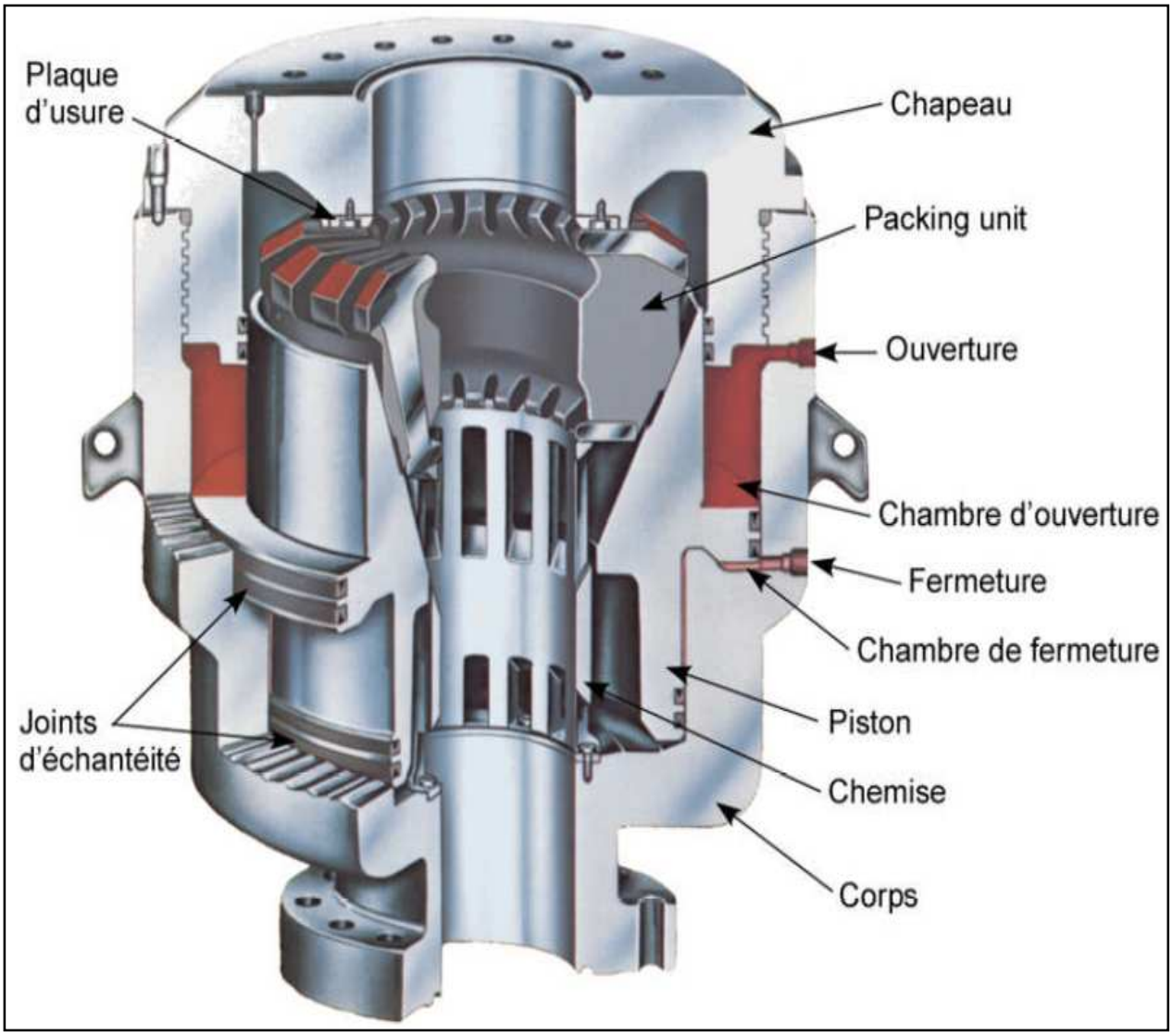


Figure II.16. Obturateur annulaire [11].

II.3.5.2. Unité d'accumulateurs [23]

Les obturateurs sont à commandes hydrauliques. Une unité d'accumulateurs (Figure II.17) permet de stocker du fluide hydraulique sous pression de manière à assurer une fermeture rapide des obturateurs.

La mise en pression s'effectue à la fois par des pompes électriques d'autres pneumatiques. Cette unité d'accumulateurs ainsi que le tableau de commande des obturateurs doivent se trouver à une distance sûre du puits de manière à pouvoir être opérés rapidement et de manière adéquate en cas d'urgence.

Un tableau de commande secondaire est généralement situé sur le plancher de forage à porté de main du chef de poste.

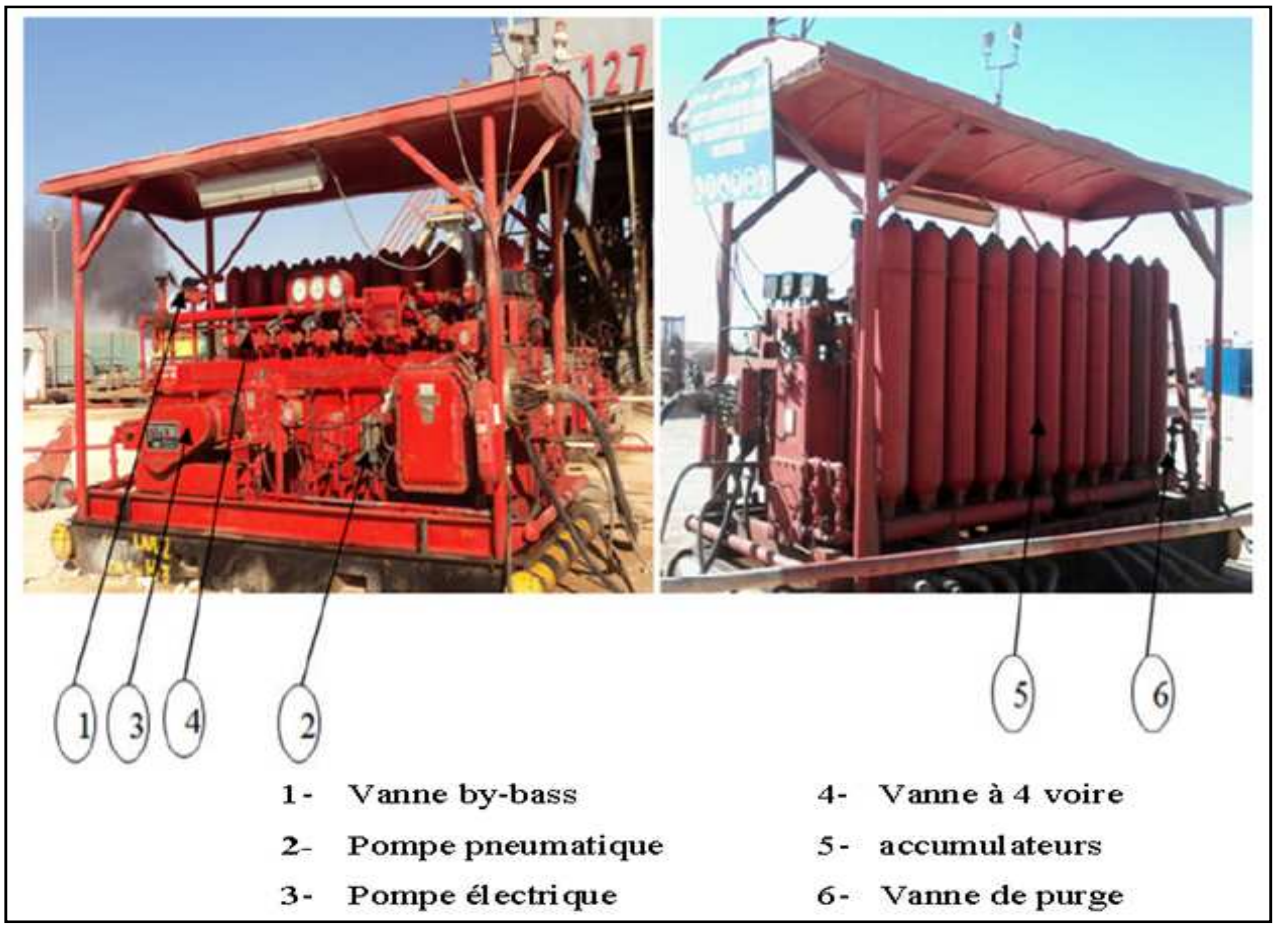


Figure II.17. Modules accumulateurs ENTP-TP 127 [23].

II.4. Répartition des équipements de l'appareil de forage [16]

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

1- Le matériel de fond :

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

• Outil de forage (rock bit)
• Masses tiges (drill collars)
• Tiges de forage (drill pipes)
• Équipements auxiliaires
• Raccords divers

2- Le matériel de surface :

Cette catégorie est répartie en plusieurs groupes mettant en oeuvre l'outil de forage et assurant la sécurité du puits, ce sont :

• Les équipements de puissance,
• Les équipements de levage,
• Les équipements de rotation,
• Les équipements de pompage et de circulation,
• Les équipements de sécurité.

II.5. DTM d'un Appareil de Forage [22]

L'exploitation d'un gisement pétrolier ou gazier nécessite de forer plusieurs puits et de maintenu les puits producteurs en bon état. L'appareil de forage n'est pas une installation fixe, elle déplace d'une plate forme à une autre.

Définition d'un DTM [22]:

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 :

3. **Démontage** : c'est la première phase durant laquelle les éléments constitutifs de l'appareil sont regroupés en colis transportable.

4. **Transport :** c'est le transfert des colis constitués, de site du départ au nouveau site de forage Work-Over.

5. **Montage** : il s'effectue sur le nouveau site de forage ou de Work-Over et a pour but de rendre l'appareil opérationnel.

Figure II.18. DTM de L'ENTP –TP 179 [22].

CHAPITRE III

Description et fonctionnement du treuil ENTP-OILWELL 840E

II.1. Introduction

Le treuil de forage permet le levage de la garniture et du tubage, ce qui constitue sa principale utilisation [25].

Le treuil regroupe un ensemble d'éléments mécaniques et assure plusieurs fonctions :

- Les manœuvres de remontée et de descente (levage) du train de sonde à des vitesses rapides et en toute sécurité, ce qui constitue sa principale utilisation.
- L'entraînement de la table de rotation quand celle-ci n'est pas entraînée par un moteur indépendant.
- Les vissages et dévisages du train de sonde ainsi que les opérations de curage.

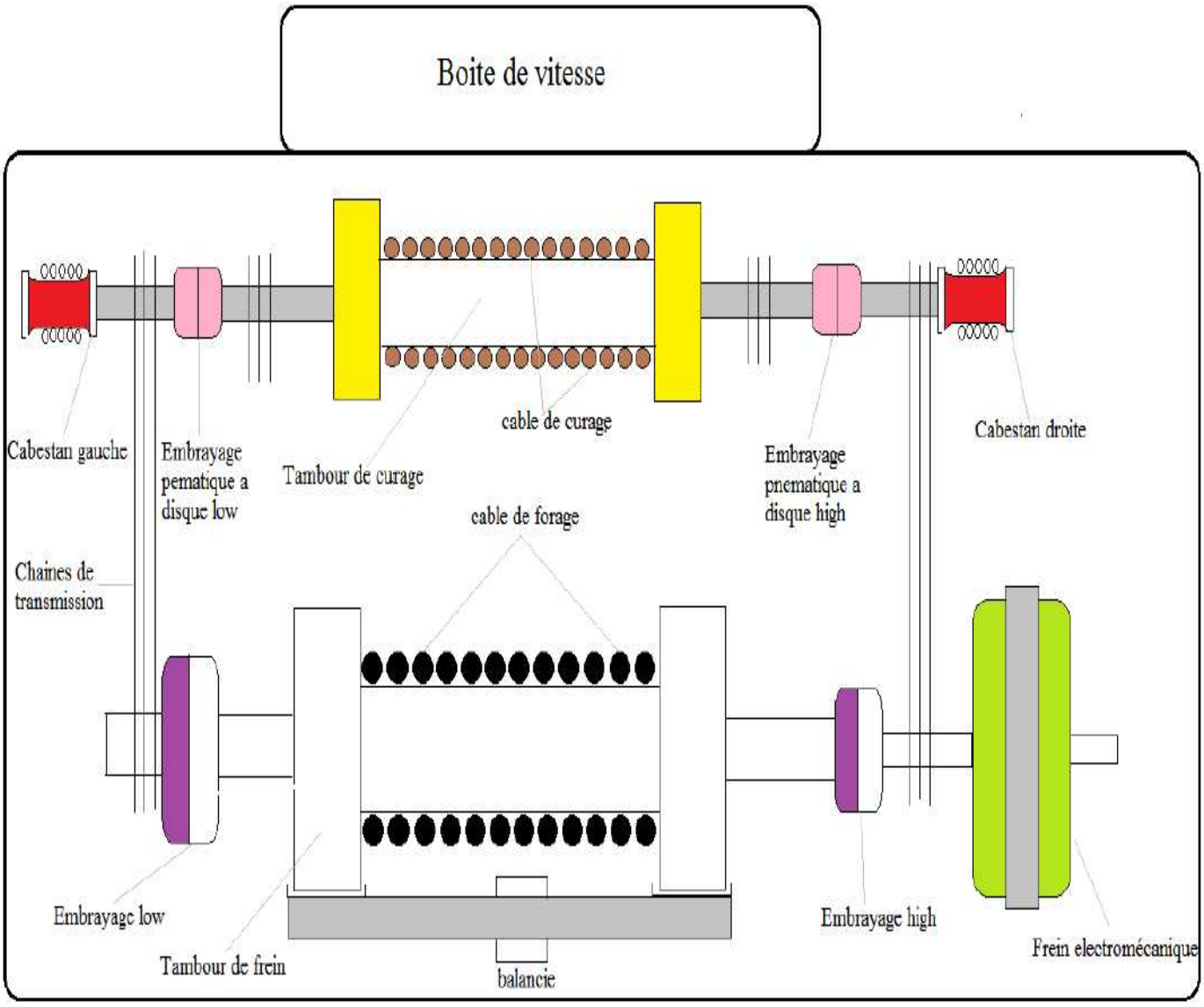


Figure III.1. Le Treuil de forage (draw work) [24].

III.2. Spécifications techniques [24]

Nomenclature du treuil ENTP-OILWELL 840E :

Désignation	Description
ENTP	Entreprise Nationale des Travaux aux Puits
OILWELL	Entreprise de fabrication
8''	Diamètre de l'arbre d'entrée
4	Nombre de vitesse Avant
0	Nombre de vitesse arrière
E	Entraînement électrique

Tableau III.1. Nomenclature du treuil ENTP-OILWELL 840 E [24]

Caractéristiques techniques :

Désignation	Description
Puissance développée	1400 HP (1029kW)
Profondeur moyenne du puits	3350 m à 4880 m
Tambour principal	
∅ x longueur	28" x 52"
∅ de jante x largeur	50" x 10"
Dimensions et poids.	
Largeur	15' – 6" 7/16 (4,73 m)
Longueur	22' – 8" (6,9 m)
Hauteur	8' - 4" 7/8 (2,56 m)
Poids (sauf frein auxiliaire et moteurs électriques, arbre et tambour de curage)	20,41 tonnes

Tableau III.2. Caractéristiques techniques du Treuil ENTP-OILWELL 840 E [24].

III.3. Description d'un ensemble du treuil ENTP-OILWELL 840 E:

Le treuil **ENTP-OILWELL 840E** est constitué de plusieurs ensembles :

III.3.1. Le châssis du treuil [24],[25]

Le châssis-ski du treuil **ENTP-OILWELL 840E** est constitué de poutrelles d'acier qui sont soit perpendiculaires aux arbres du treuil sur les ensembles monobloc de faible puissance, soit

parallèles aux arbres du treuil sur les ensembles sectionnés de grande puissance. La carcasse est faite de tôles d'acier assemblées par mécano-soudure.

Des parois latérales servent de déflecteurs et délimitent des compartiments étanches contenant les divers entraînements lubrifiés sous pression.

Du fait des efforts importants auxquels sont soumis le châssis-ski et la carcasse pendant le forage et au cours des déménagements, le bâti doit être construit très rigidement pour éviter des variations dans l'alignement et l'écartement des paliers à roulements (risques d'arrêts et de réparation coûteuses). De plus, le bâti doit permettre l'accessibilité des tuyauteries, le contrôle des chaînes et des circuits d'huile.

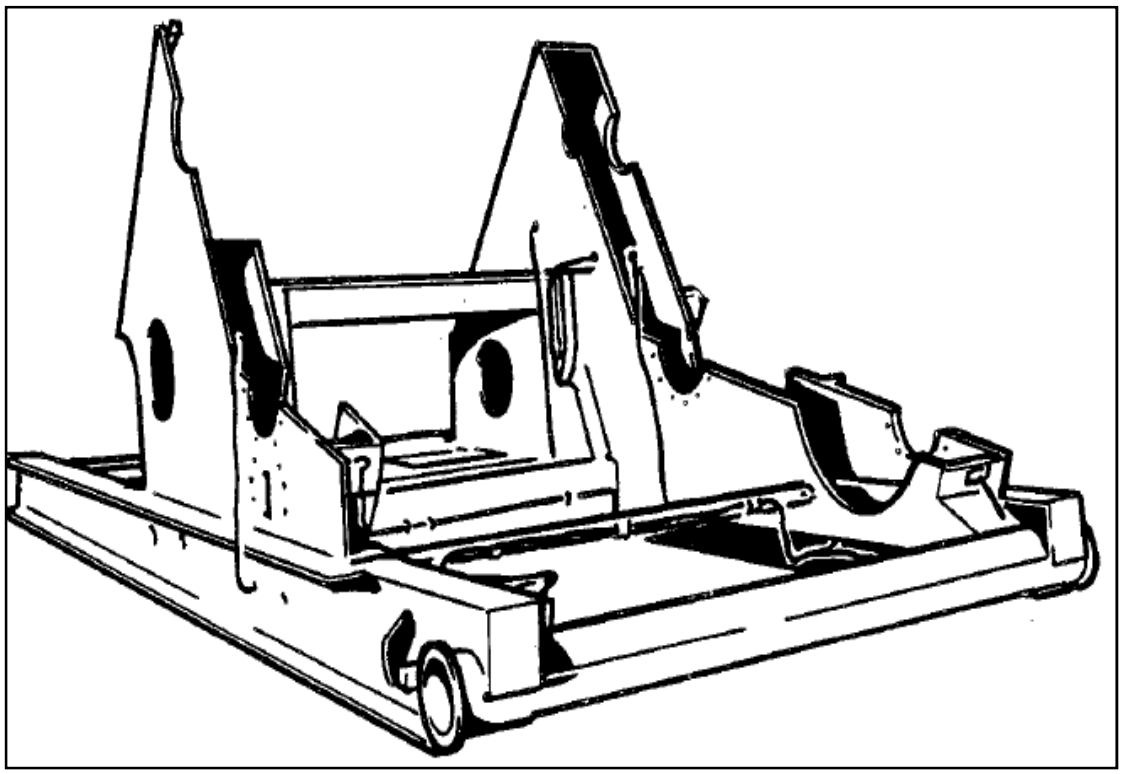


Figure III.2. Le châssis-ski du treuil ENTP-OILWELL 840E [25].

III.3.2. Le tambour de manœuvre [23]

Le tambour du treuil de forage **ENTP-OILWELL 840E** peut être lisse ou cannelé.

Les tambours cannelés (Figure III.3), bien que plus chers à l'achat, sont de plus en plus utilisés, car les cannelures permettent un enroulement correct, ce qui réduit le risque d'écrasement du câble dans le cas de fortes charges.

Le diamètre d'un tambour doit être égal au moins à 20 fois le diamètre du câble. La longueur maximale du fût d'un tambour ne doit pas permettre au brin moteur un angle de déflection supérieur à 1°30' (Figure III.4). Au-delà de cette valeur, une usure prématurée du câble par frottement et une fatigue du métal par flexion latérale sont à craindre.

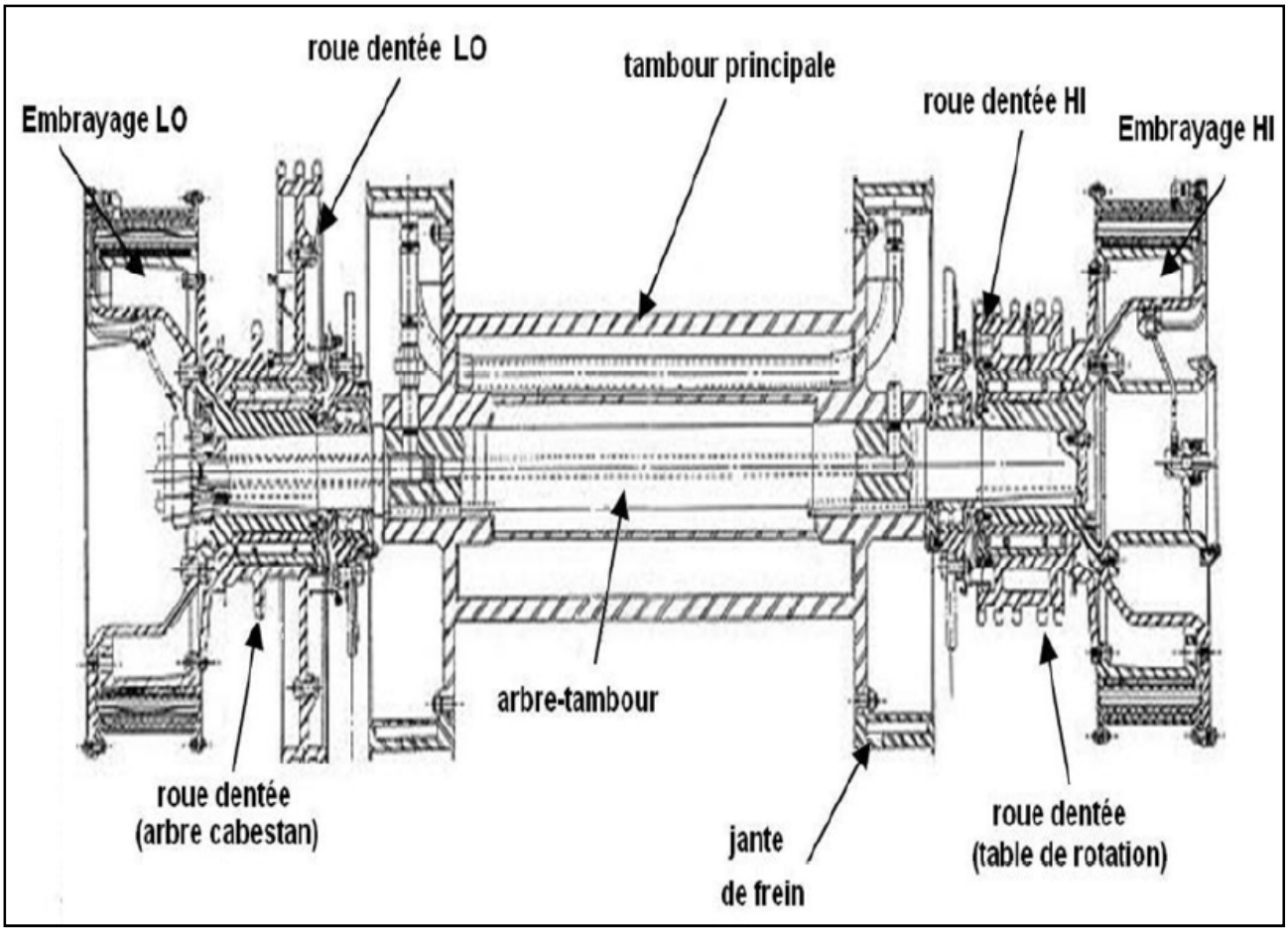


Figure III.3 : Schéma de l'arbre du tambour [23].

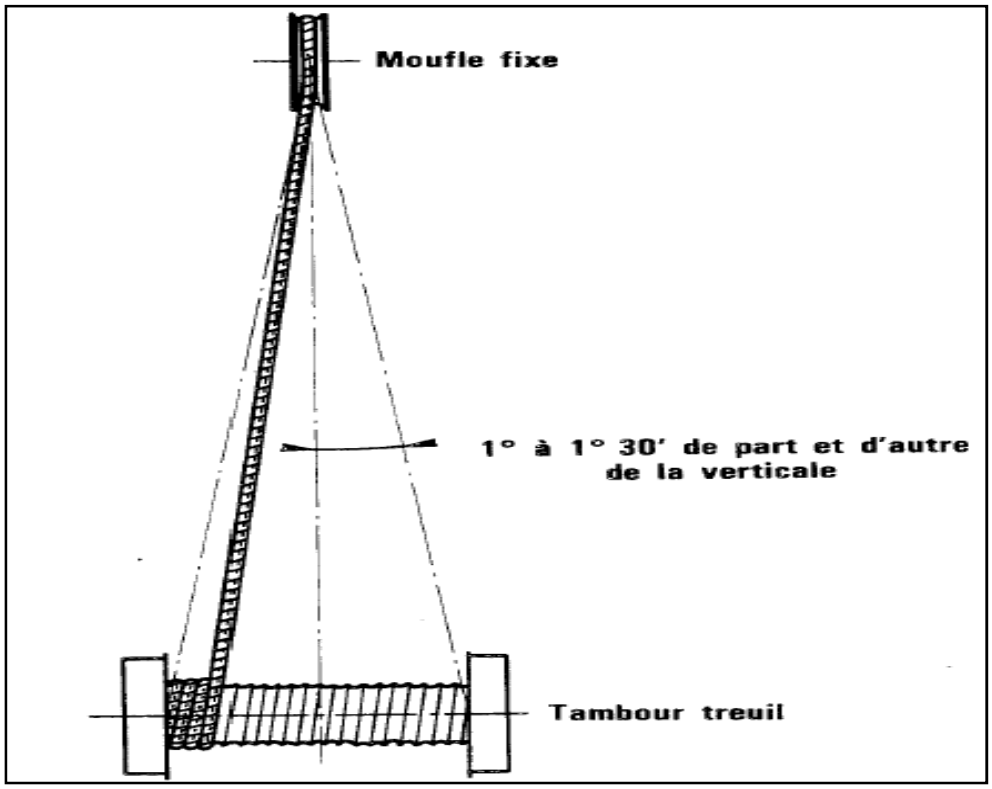


Figure III.4. Angle de déflection maximal permis [23].

III.3.3. Système de freinage [23]

Le treuil de forage **ENTP-OILWELL 840E** est équipé d'un frein mécanique à bandes et un frein auxiliaire électromagnétique installé au bout de l'arbre tambour. Le frein auxiliaire absorbe la plus grande partie de l'énergie quant au frein mécanique à friction il sert uniquement pour arrêter complètement la charge.

1-Frein principal (frein â bandes de friction) :

Le frein mécanique à bandes (figure III.5) contrôle l'avancement de l'outil pendant le forage et stoppe complètement le treuil pendant la descente de la garniture.

Ce frein est constitué de deux bandes métalliques équipées de garnitures intérieures fixées par des boulons en Cuivre ou en Aluminium à tête noyée. Ces bandes sont reliées par une barre d'équilibrage qui répartit également la force de freinage entre les deux bandes et réduit ainsi l'usure des patins.

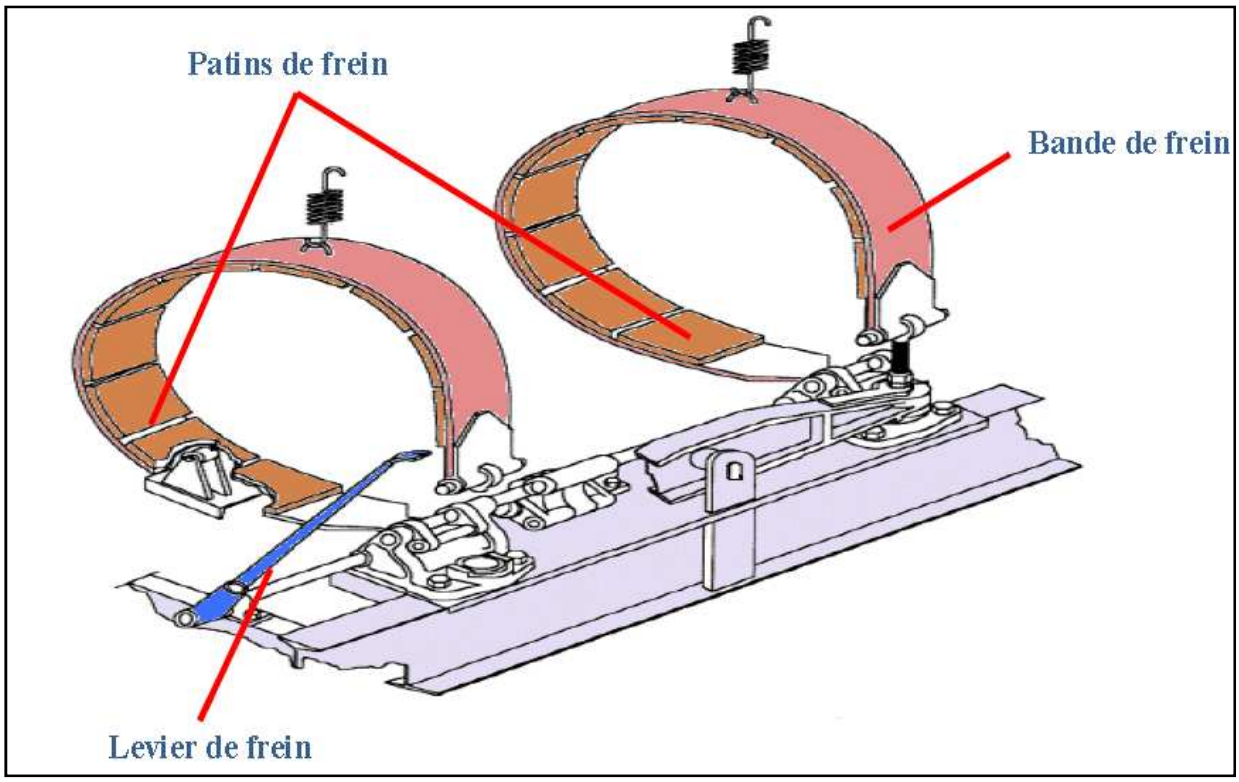


Figure III.5. Frein à bandes de friction [23].

Chaque bande enveloppe une jante solidaire du tambour. Une extrémité de chaque bande est fixe alors que l'autre est reliée par l'intermédiaire d'un jeu de cames et de biellettes à un levier articulé (appelé frein) qui permet de démultiplier l'effort que l'on exerce sur son extrémité.

Afin d'évacuer la forte quantité de chaleur provoquée par le freinage, les jantes sont creuses et équipées d'un système de refroidissement à eau à circulation perdue ou à circulation sous pression en circuit fermé.

Lors du freinage, les jantes fixées au tambour en tournant, appliquent une traction sur chaque garniture de la bande de frein, traction qui s'ajoute à la tension donnée à la bande lorsqu'une force est appliquée au levier de frein. Ainsi l'extrémité de la bande côté point fixe est soumise à une tension supérieure à l'extrémité côté levier de frein.

2-Frein auxiliaire (Frein électromagnétique) :

Le plus courant est le frein Elmagco fabriqué par la société Baylor (Figure III.6). Il est constitué d'un rotor qui tourne dans un stator où règne un champ électromagnétique produit par des bobines excitatrices. La capacité du freinage, qui croît beaucoup plus vite que celle d'un frein hydraulique, est contrôlée par le réglage de l'intensité du courant d'excitation.

Dans le dessin technique de frein électromagnétique on peut avoir :

- La fixation de frein électromagnétique sur le châssis du treuil.
- L'accouplement entre le frein électromagnétique et l'arbre de tambour.

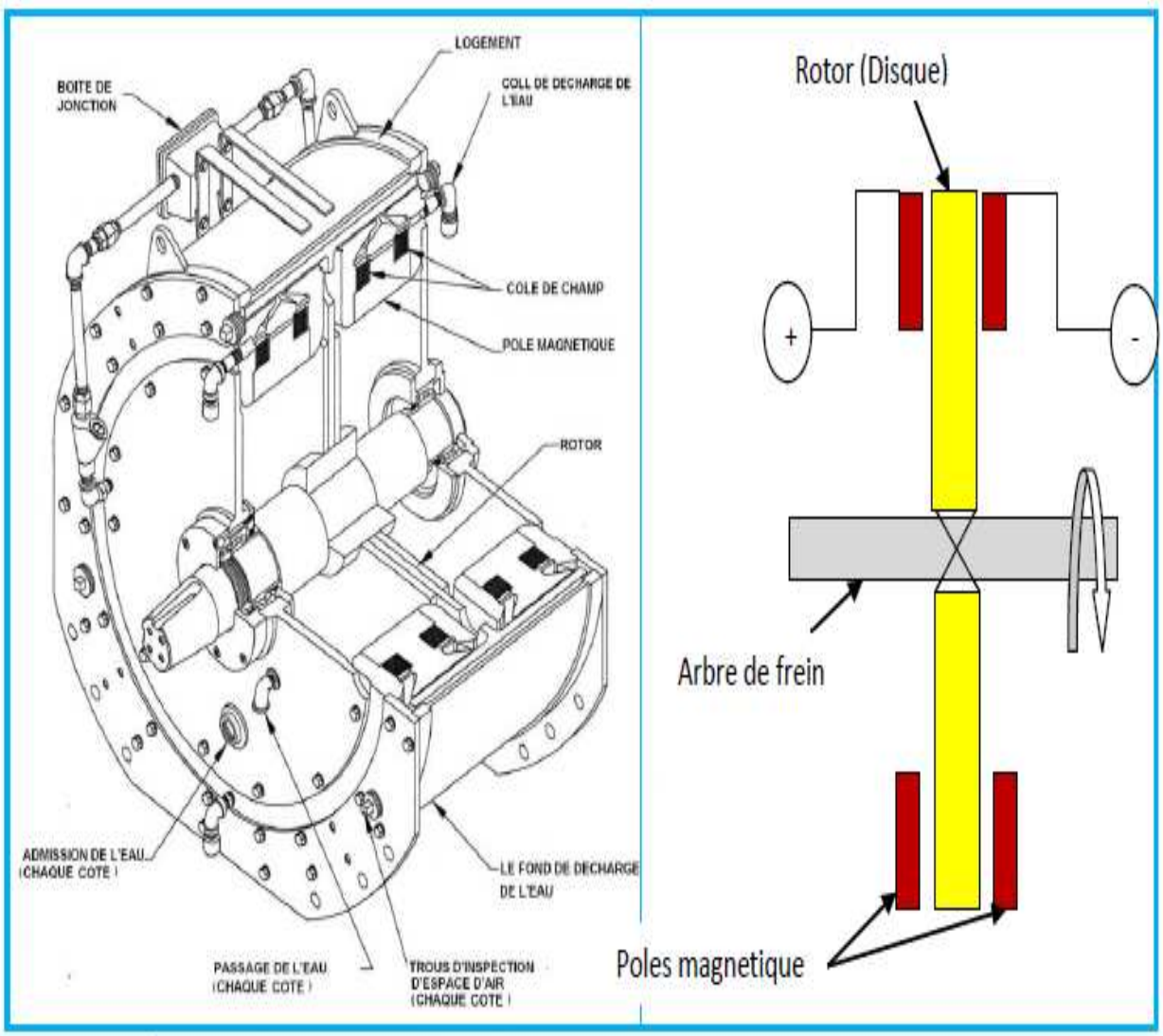


Figure III.6. Frein électromagnétique [23].

III.3.4. Système de transmission de mouvement [24] ,[25],[6]

Le système de transmission du treuil ENTP-840E est constitué de plusieurs organes en mouvement :

III.3.4.1. Les arbres [6]

Les 4 arbres du treuil sont montés sur la structure avec des paliers à roulements à rouleaux :

1-L'arbre d'entrée (input shaft) relié aux moteurs par une chaîne duale à 3 rangs, tourne avec une vitesse constante 602 tr/min. un frein d'inertie monté à l'extrémité de l'arbre permet d'arrêter la rotation lors du changement de vitesse.

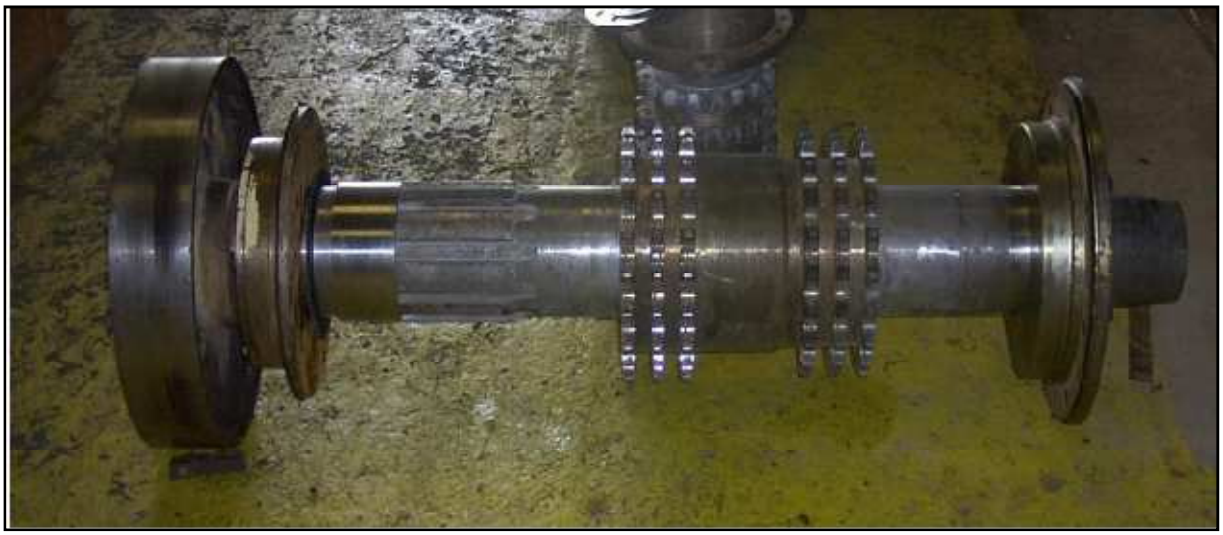


Figure III.7. L'arbre d'entrée [6]

2-L'arbre de sortie (output shaft) relié à l'arbre d'entrée avec 2 chaînes â 3 rangs, sa gamme de vitesse : HI457 tr/min et LOW 285 tr/min.

Figure III.8. L'arbre de sortie [6].

L'arbre d'entré et l'arbre de sortie forme la boite de vitesse du treuil.

3-L'arbre tambour (drum shaft) relié à la boite de vitesse avec 2 chaînes à 3 rangs transmettant un mouvement de rotation de 4 vitesses.

4-L'arbre secondaire (cathead shaft) relié à l'arbre tambour par une chaîne a 1 seul rang, avec deux vitesses de rotation LO 102, HI 195 tr/min.

III.3.4.2. Les chaînes de transmission

Toutes les chaînes transmettant la puissance à l'arbre tambour sont des chaînes triples de pas 2'', les chaînes du treuil sont classées dans une catégorie spéciale dite « Oïl Field ». En effet, l'effort dû à la force centrifuge qui est proportionnelle au carré de la vitesse linéaire de la chaîne, représente, au de-là d'une certain vitesse, une partie importante des efforts.

Arbre menant	**Arbre mené**	**Entraxe**	**Pas**	**Pignon**		**Roue denté**		**Lm**
				Z1	**D1**	**Z2**	**D2**	
moteurs	L'arbre d'entré	52.59	1'' ½ -3	28	13,39	51	24,36	**110**
L'arbre d'entré	l'arbre de sortie HI	23,930	2'' -3	19	12,15	25	15,95	**46**
L'arbre d'entré	l'arbre de sortie LO	23,93	2'' -3	20	12,78	42	26,76	**56**
l'arbre de sortie	l'arbre tambour HI	41,95	2'' –3	37	23,58	43	27,39	**82**
l'arbre de sortie	l'arbre tambour LO	41,95	2'' -3	19	12,15	83	52,85	**98**
l'arbre tambour	L'arbre secondaire	51,68	2'' -1	39	24,85	21	13,41	**82**

Lm : nombre de maillons de chaîne,
Z : nombre des dents des roues dentées,
Valeurs en pouce.

Tableau III.3. Dimensions des arbres de transmission [24]

La conception d'une transmission est basée sur la transmission des charges par les chaînes et la vitesse de rotation du pignon.

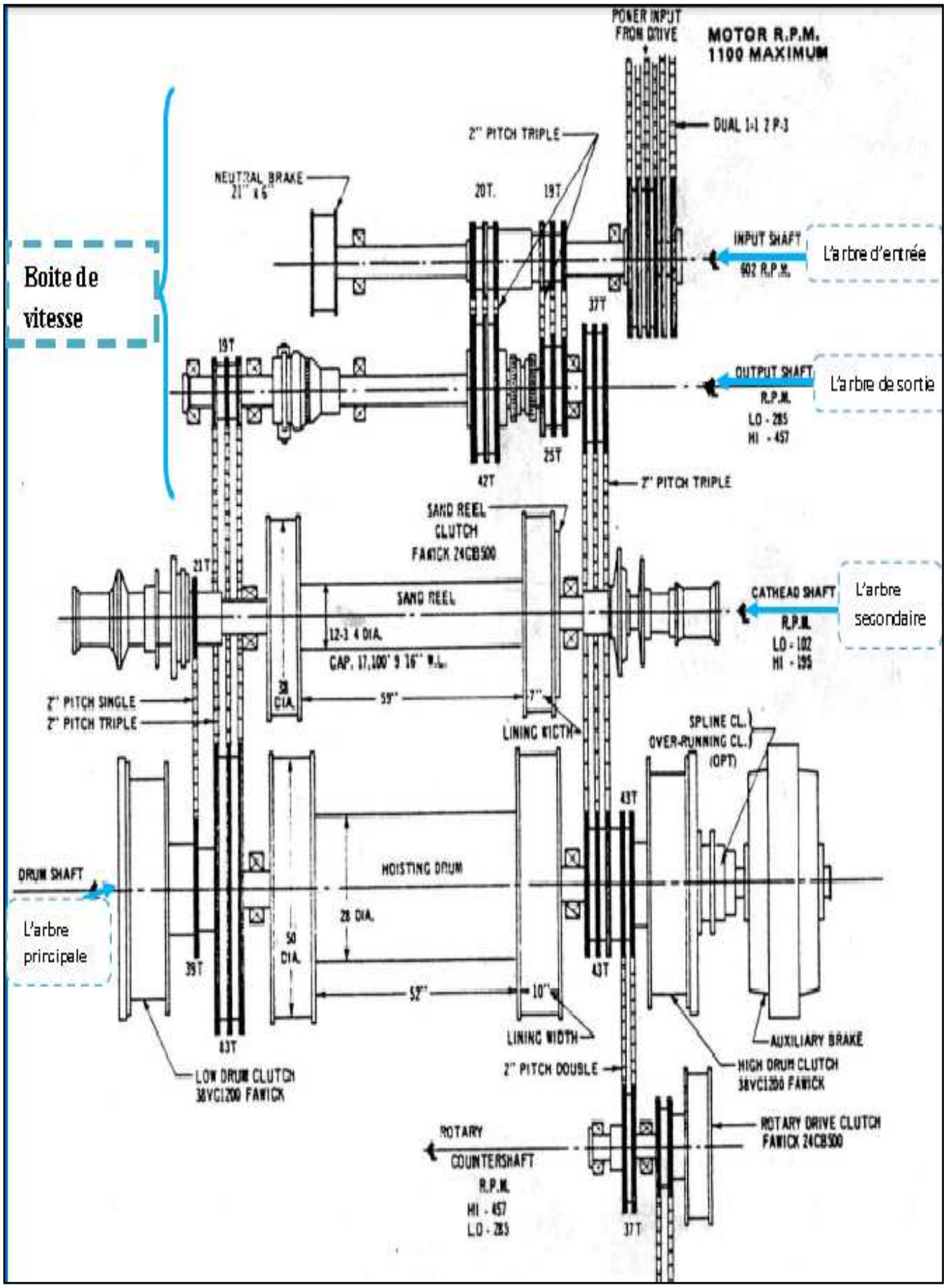


Figure III.9. Les chaines de transmission [24].

III.3.4.3. Les embrayages [24],[25]

Dans le treuil **ENTP-OILWELL 840E,** on distingue 3 types d'embrayage :

1- Embrayage pneumatique à sabot,
2- pneumatique à disque,
3- mécanique à clabot.

Les 2 embrayages pneumatiques à sabot (grande vitesse et petit vitesse) sont placés sur les cotés de l'arbre tambour ils permettent l'accouplement entre l'arbre tambour et la roue dentée pendant la rotation de celle-ci. Ils sont de type « airflex 38VC1200 » dans ce type d'embrayage l'accouplement est assuré grâce à des patins de friction et une chambre à air annulaire (Figure III.10) [24].

Des boulons de sécurité sont utilisés dans tous les embrayages de friction pour l'opération de secours.

Les 2 embrayages pneumatiques à disque sont placés sur l'arbre secondaire pour entraîner les poupées de vissage et dévissage des tiges de forage.
Les 2 embrayages pneumatiques à disque (pour l'entraînement de la table de rotation et de tambour de curage) sont du type « airflex 24CB500 » [25].

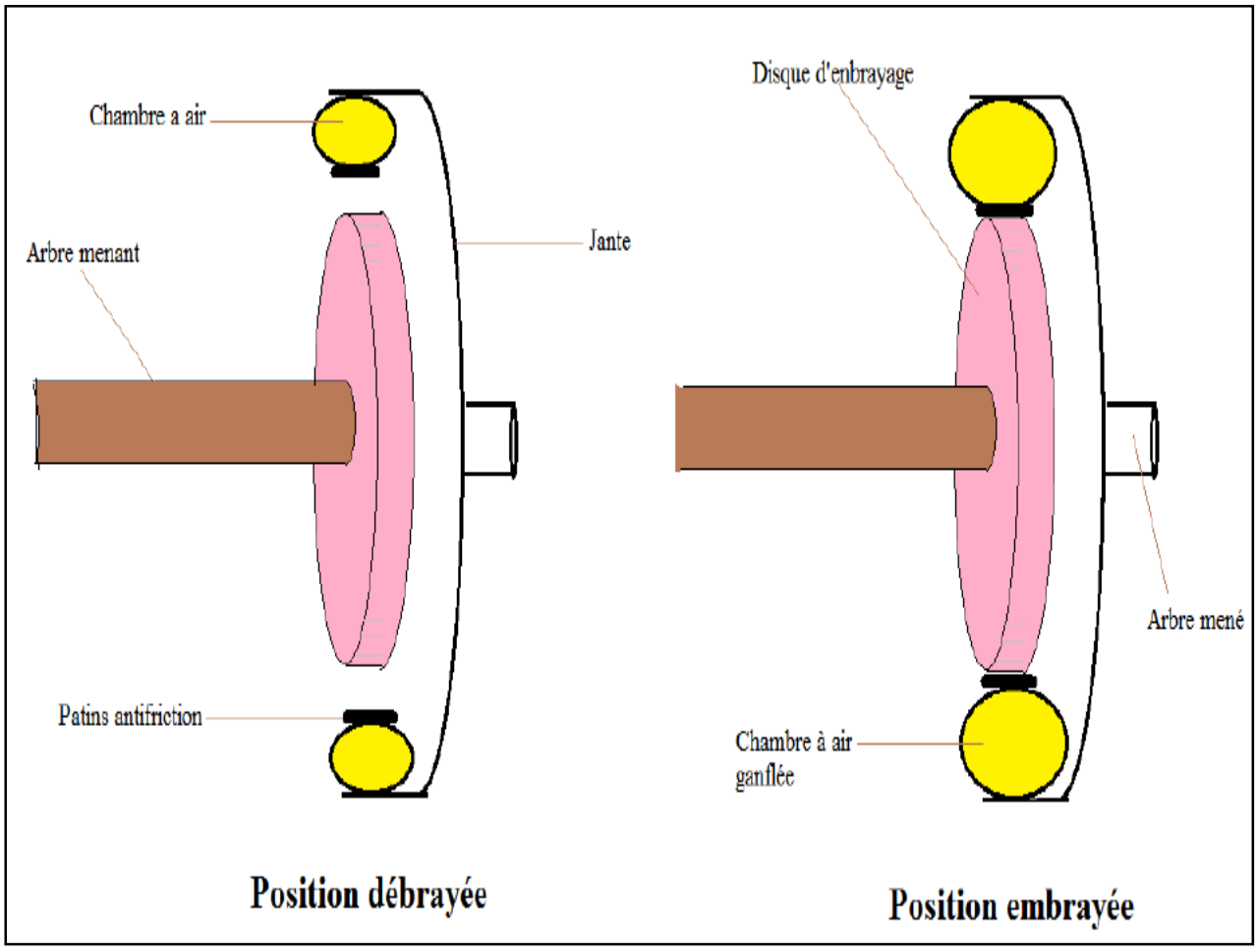


Figure III.10. Embrayage pneumatique [24].

Les embrayages mécaniques à clabots ou à denture permettent l'accouplement, seulement lorsque les arbres sont à l'arrêt, à une vitesse très faible ou identique. Ils sont robustes, économiques et ne demandent pratiquement aucun entretien ni protection.

La tenue en service des embrayages dépend de la correction dans l'alignement, et de la vitesse d'alimentation en air. La pression normale de service est comprise entre 5.5 et 8.5 kg/cm², dans cette gamme de pression la capacité peut être considérée comme directement proportionnelle à la pression d'air [25].

III.3.5. Les cabestans [7],[25]

Les cabestans ont deux fonctions :

1- le vissage et le dévissage de la garniture de forage à l'aide des clés.
2- la manutention des charges sur le plancher.

Le treuil **ENTP-OILWELL 840E** est équipé de deux cabestans à commande pneumatique. Ils sont installés sur un arbre situé dans la partie supérieure du treuil, l'un à gauche pour le dévissage et l'autre à droite pour le vissage.

Un cabestan est constitué d'un tambour coulissant et d'une poupée clavetée sur l'arbre. La traction sur la clé de vissage, ou de dévissage est assurée par le tambour sur lequel est monté à demeure un câble métallique (Figure III.11).

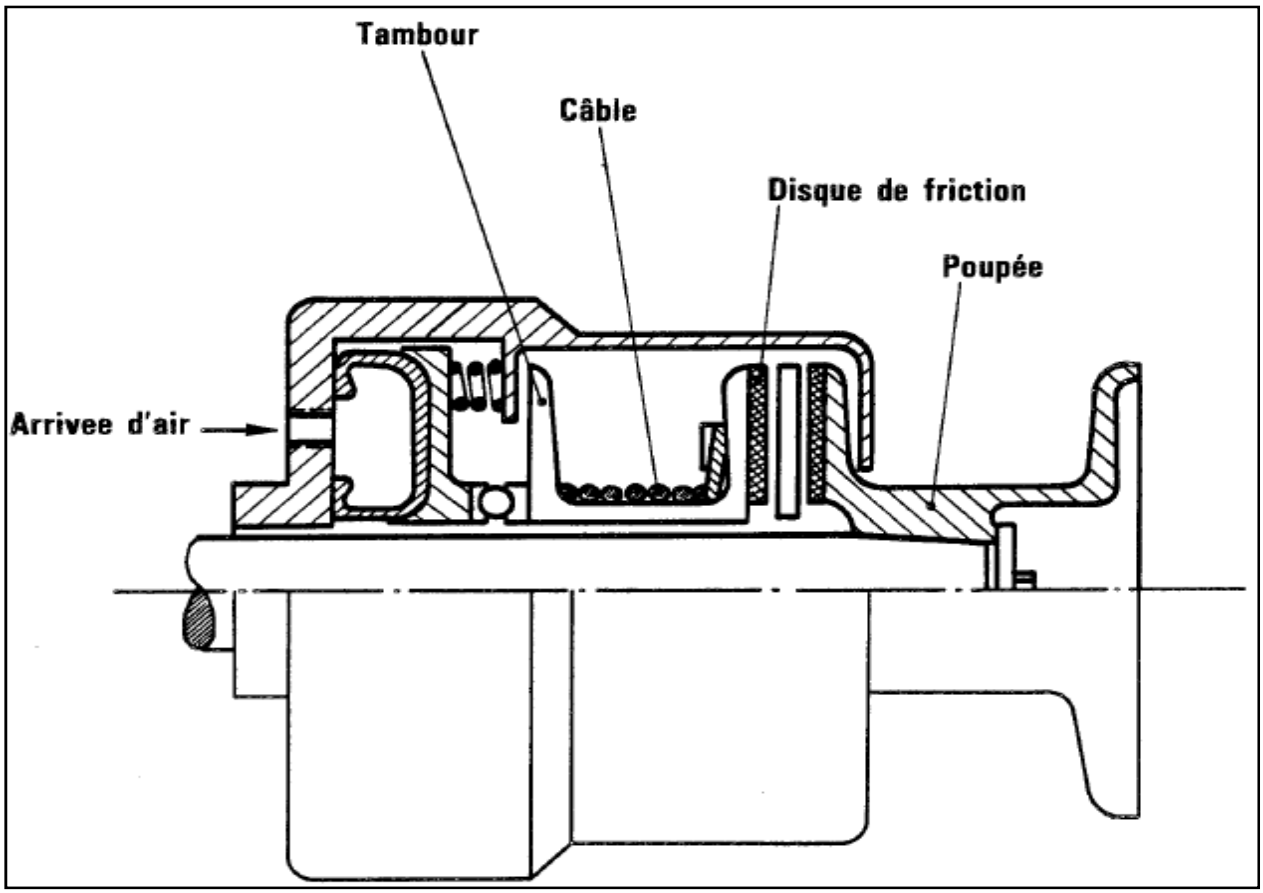


Figure III.11. Cabestans à commande pneumatique [25].

La rotation du tambour est obtenue par l'intermédiaire d'un embrayage à air qui plaque le tambour sur un disque de friction. La vanne de commande doit permettre un embrayage très doux et progressif, ce qui facilite les opérations de vissage, surtout quand elles sont faites à l'aide d'une chaîne. La force de traction d'un cabestan doit permettre d'obtenir largement les couples de serrage nécessaire au blocage et au déblocage de la garniture de forage.

Le réglage du cabestan est facile et commode. Quant à la poupée, elle ne sert qu'à effectuer les manœuvres au moyen d'une corde, celle-ci n'y est pas fixée à demeure, on l'enroule de quelques tours suivant l'effort à exercer et elle est entraînée quand on tire sur son extrémité libre.

III.3.6. Le tambour de curage [25]

Le tambour de curage 59'' x 12'' ¾ (longueur x diamètre) est monté sur l'arbre du cabestan (Cathead shaft), c'est-à-dire au dessus de tambour de manœuvre. Sa conception et sa fabrication sont sensiblement identiques au tambour de manœuvre.

Le freinage est assuré par un frein mécanique à bandes dont la commande se fait à partir du poste de commande du treuil.

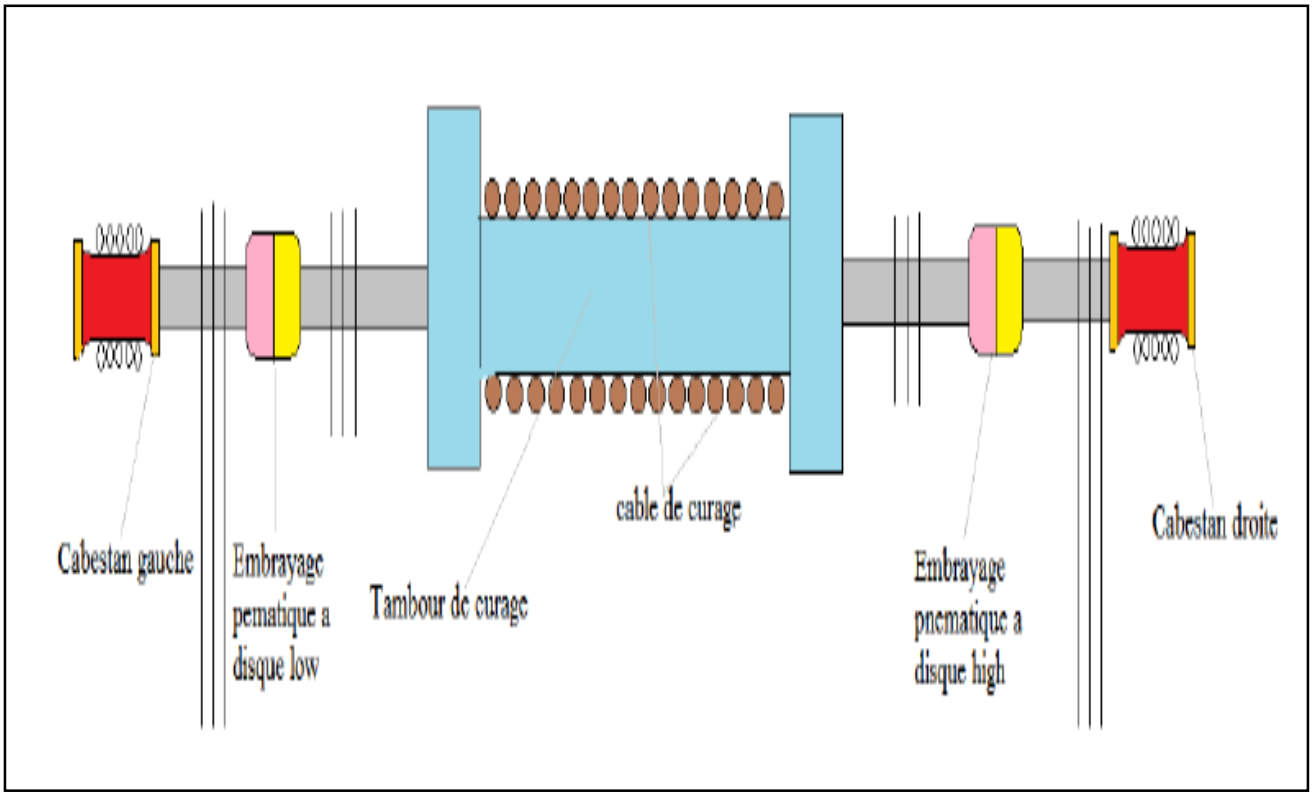


Figure III.12. Arbre cabestan (secondaire) [25].

III.3.7. Circuit pneumatique [25]

Les organes du treuil **ENTP-OILWELL 840E** sont liés à un système de conduite les reliant a un réservoir d'air qui alimente le système d'air avec un débit de 1 à 1,5 m^3/min d'air comprimé à une pression minimum de 7 bar au maximum de 12 bar [25].

Le circuit pneumatique est constitué de :

1-Le tableau de commande :

Un tableau de commande est généralement positionné à l'avant du treuil pour permettre au maître sondeur d'avoir une vue dégagée du plancher de travail.

Toutes les commandes (embrayages, treuil, moteurs, pompes, accélérateurs et arrêt des moteurs de transmission et éventuellement du groupe indépendant….), et autres accessoires sont réunis dans un ou deux pupitres. Les circuits ne comportent pas de conduites de retour, l'air s'échappe directement dans l'atmosphère, ce qui simplifie l'installation. L'air comprimé est fourni par un ou deux compresseurs entraînés par la transmission.

2-Le circuit d'air :

Le réservoir d'air est muni de deux valves, la première valve alimente les embrayages de l'arbre tambour et les transmissions (75psi), la deuxième alimente les autres embrayages et le reste des organes du treuil (110psi).le circuit d'air alimente toutes les parties du treuil par des conduites de 1'' ½.

Plusieurs types de valves permettent de commander l'admission et le vidange de l'air dans les organes pneumatiques du treuil :

- ***Relay valve :*** Cette valve a pour rôle de monter la manette des embrayages et couper l'alimentation des embrayages LOW et HI.

- ***Relay valve type « S » :*** Cette valve a 3 voies comporte un orifice « IN » un orifice « OUT » et « SXT » la valve reçoit des signaux a partir de la mannette de commande elle renvoie cette pression en plus grande capacité d'écoulement vers les embrayages.

Grâce à cette valve le temps de remplissage de la chambre à air est minimal pour permettre un embrayage rapide et une adhérence parfaite.

3-Système de sécurité :

Système Twin Stop

Le Twin Stop est conçu pour protéger à la fois les moufles et le plancher relatif, en engageant automatiquement le frein à bande du treuil de forage à des points préréglés dans un sens ou dans l'autre.

Le Twin Stop est mené par chaîne à partir de l'arbre d'entraînement du tambour principal. Au fur et à mesure que le pignon de Twin Stop se trouve tourner par le mouvement de

tambour, l'arbre de sortie du réducteur de vitesses 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 actionne un embrayage faisant 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-ci actionne à son tour, la soupape pilote, déclenchant ainsi la soupape de commande à quatre voies qui dirige la pression vers le cylindre pneumatique sur le vérin du frein de treuil arrêtant ainsi le moufle mobile. Lorsque le tambour tourne en sens inverse, la came se trouve tourné dans l'autre sens jusqu'à ce que l'épaulement de la came actionne à nouveau le bras de la soupape pilote [7].

Le réglage des points de butée supérieur et inférieur du Twin Stop s'effectue rapidement et aisément en desserrent deux vis et en repoussant les butées de came.

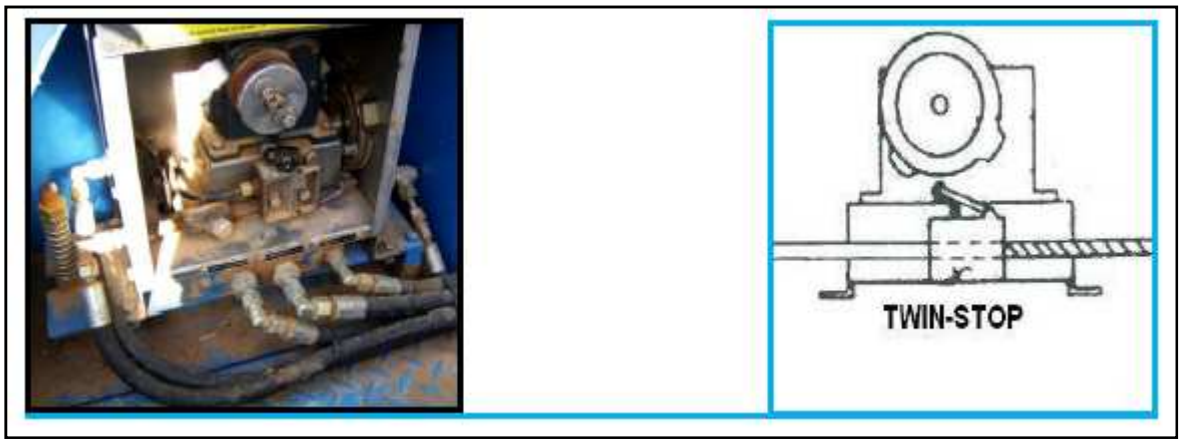


Figure III.13. Twin Stop [24]

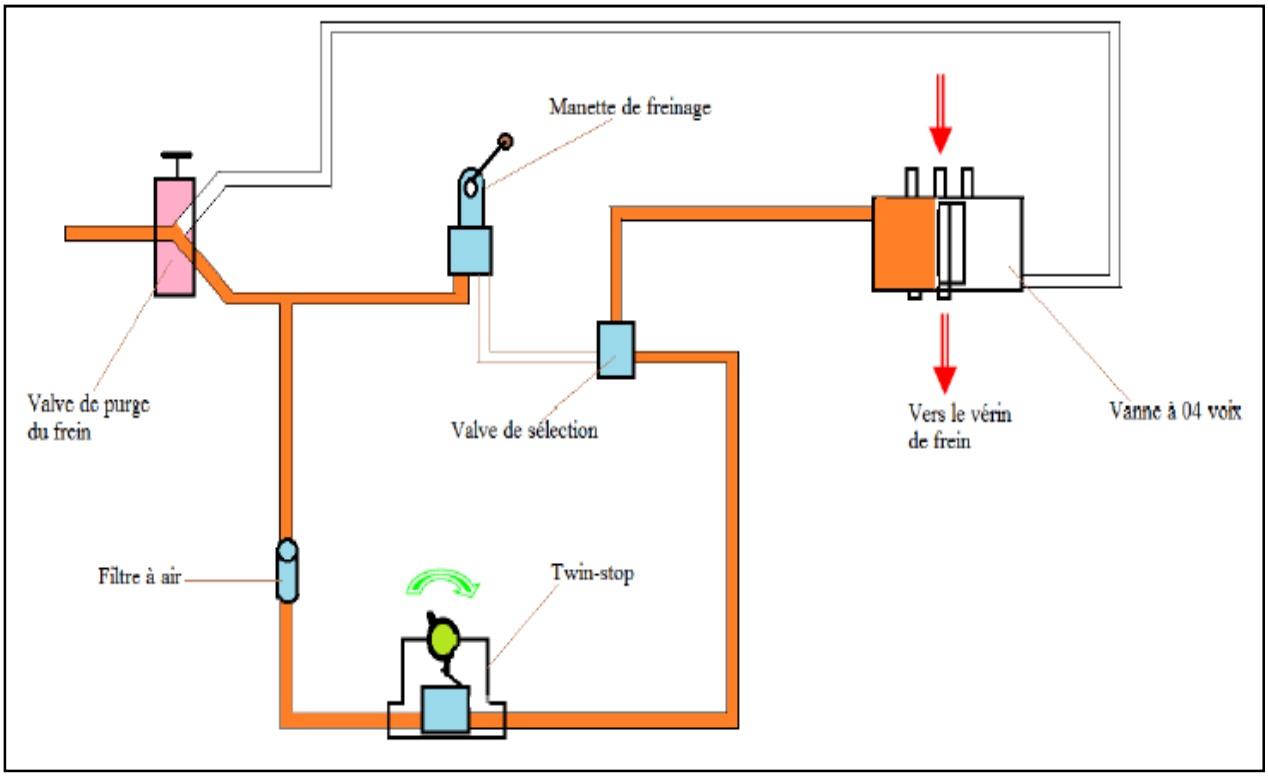


Figure III.14. Circuit d'air de Twin-stop [7].

III.3.8. Circuit de refroidissement

Il est important d'avoir une réserve d'eau pour le refroidissement du frein à bande et le frein électromagnétique, la pompe doit refouler un débit d'eau 100 GPM (378 litres par minute) à 50-75psi pendant un travail normal à cause du diamètre réduit des conduites [16].

III.3.8.1. Refroidissement de jante de frein à bande [16]

Un débit d'eau de 50 GPM (189 litres par minute) à environ 45 psi est requis pour refroidir les jantes du frein mécanique.

Un stufing box est prévu à l'extrémité de l'arbre- tambour pour permettre l'admission de l'eau de refroidissement à l'intérieur de l'arbre, l'eau traverse l'arbre jusqu'à l'intérieur de la jante du coté HI dans une conduite de diamètre 1'' ½, ainsi la première jante est refroidie, l'eau ressort dans une autre conduite identique en passant a l'intérieur du tambour vers la deuxième jante. Apres que les 2 jantes se sont refroidies l'eau sort dans une conduite enveloppant la conduite d'entrée vers le stufing box puis au réservoir.

III.3.8.2. Refroidissement du frein auxiliaire [16],[7]

Dans le frein électromagnétique, l'eau sert uniquement à dissiper la chaleur dégagée, les conduites d'arrivées et de sorties d'eau doivent être suffisantes avec un diamètre de 3'', la température inférieure à 100 degrés et un réservoir d'une dizaine de mètres cubes est nécessaire. Le niveau du réservoir de circulation doit être au dessous du niveau inférieur du frein, le débit d'eau nécessaire est de 100 à 200 l/minute.

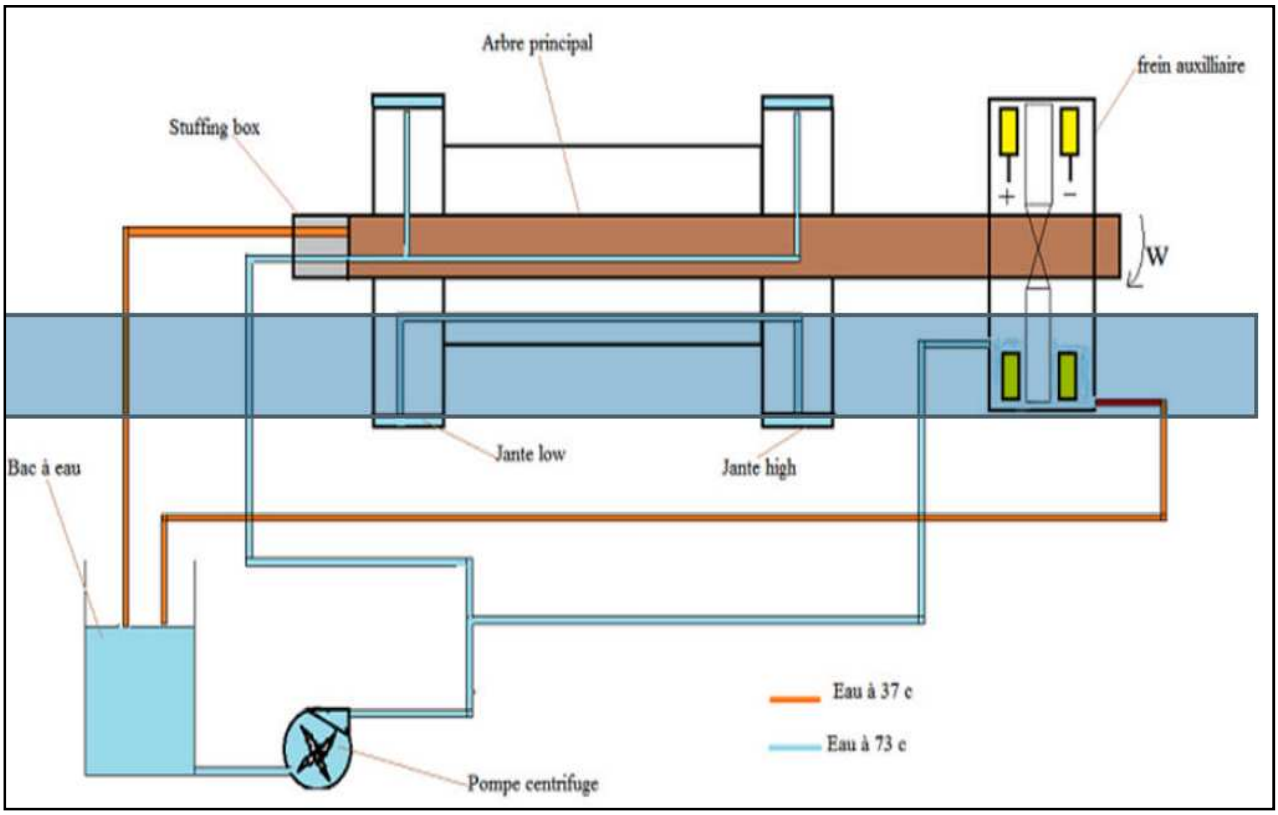


Figure III.15. Circuit de refroidissement [7]

III.4. Fonctionnement du treuil ENTP-OILWELL 840E [24]

Les deux moteurs électriques (Moteur de traction EMD model D79 MB) développent une puissance 1400HP à la boite de vitesse du treuil, par l'intermédiaire de chaînes le mouvement est transmis à l'arbre tambour, les embrayages transmets le mouvement au tambour à des vitesses soit HI ou LOW.

La procédure de sélection de vitesses du treuil ENTP-OILWELL 840 E [24]:

La sélection des vitesses dépend de la charge au crochet.

- ***1ere vitesse : LO-LO :***

Arrêter les moteurs électriques, freiner l'arbre d'entré avec le frein d'inertie, enclencher le clabot dans le grand pignon de l'arbre de sortie, remettre les moteurs électriques en marche puis à l'aide de la mannette de commande pneumatique alimenter l'embrayage LOW.
Cette vitesse est utilisée pour les grandes charges.

- **2eme vitesse : LO-HI :**

Le clabot est toujours enclenché dans le grand pignon de l'arbre de sortie, puis à l'aide de manette de commande on alimente l'embrayage HI du tambour.

- **3eme vitesse : HI-LO :**

Arrêter les moteurs électriques, freiner l'arbre d'entré avec le frein d'inertie, enclencher le clabot dans le petit pignon de l'arbre de sortie, remettre les moteurs électriques en marche puis à l'aide de la mannette de commande pneumatique alimenter l'embrayage LOW.

- **4eme vitesse : HI-HI :**

Le clabot est toujours enclenché dans le petit pignon de l'arbre de sortie, puis à l'aide de manette de commande on alimente l'embrayage HI du tambour.

CHAPITRE IV

Analyse de la fiabilité et maintenance des machines industrielles.

« Finalement, nous arrivons au paradis des mathématiciens :
Ce sont les problèmes qui, à force de réflexion, ont engendré
des idées nouvelles qui, souvent, dépassent de façon
incommensurable le problème qui leur à donner
naissance. »
Jean Dieudonné

IV.1. Introduction

La fiabilité caractérise l'aptitude d'un système ou d'un matériel à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant un intervalle de temps donné.

La fiabilité a sans doute pris son développement depuis la dernière guerre mondiale. Elle est vite devenue une science à part entière dans les applications appartenant à de nombreux domaines. Elle a pour fondements mathématiques la statistique et le calcul des probabilités qui sont nécessaires à la compréhension et à l'analyse des données de fiabilité.

La défaillance (la non fiabilité) augmente les coûts d'après-vente (application des garanties, frais judiciaires,…etc.).

Construire plus fiable augmente les coûts de conception et de production, en pratique, le coût total d'un produit prend en compte ces deux tendances.

La maintenance industrielle, qui a pour vocation d'assurer le bon fonctionnement des outils de production, est une fonction stratégique dans les entreprises. Intimement liée à l'incessant développement technologique, à l'apparition de nouveaux modes de gestion, à la nécessité de réduire les coûts de production, elle est en constante évolution. Elle n'a plus aujourd'hui comme seul objectif de réparer l'outil de travail mais aussi de prévoir et éviter les dysfonctionnements [8], [19].

IV.2. Notions fondamentales sur la théorie de fiabilité

Nous distinguons deux grandes approches aux études de fiabilité [12]:

1. **Techniques de simulation**: Elles permettent de simuler le fonctionnement réel du système et présentent l'avantage de prendre en considération un nombre élevé de paramètres ainsi que les interactions entre les différents composants du système et les principaux facteurs qui conditionnent son évolution. L'inconvénient de ces techniques est, qu'elles sont onéreuses (en effort de calcul au temps machine).

2. **Méthodes analytiques:** Moins coûteuses, elles sont basées sur la modélisation du système à l'aide de méthodes mathématiques diverses. Leurs avantages sont la généralité pour peu qu'elles soient bien validées, la simplicité notamment pour la programmation.

Dans ce mémoire, nous avons opté pour la seconde approche et ce pour les raisons évoquées ci-dessus. Les techniques que nous présentons sont basées sur la théorie de fiabilité, la modélisation stochastique des systèmes et les techniques d'optimisation, nous adopterons pour la suite les notions suivantes nécessaires à notre étude.

IV.2.1. La fiabilité [8], [12]

Définition :

La fiabilité caractérise l'aptitude d'un système ou d'un matériel à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant un intervalle de temps donné. C'est donc une

grandeur comprise entre 0 et 1. Nous la désignons, dans ce qui suit par R(t). La désignation R provient du fait que l'expression anglo-saxonne correspondant à fiabilité est "Reliability".

Objectifs et intérêts de la fiabilité en mécanique :

L'analyse de la fiabilité constitue une phase indispensable dans toute étude de sûreté de fonctionnement. A l'origine, la fiabilité concernait les systèmes à haute technologie (centrales nucléaires, aérospatial). Aujourd'hui, la fiabilité est devenue un paramètre clé de la qualité et d'aide à la décision, dans l'étude de la plupart des composants, produits et processus "grand public": Transport, énergie, bâtiments, composants électroniques, composants mécaniques....
De nombreux industriels travaillent à l'évaluation et l'amélioration de la fiabilité de leurs produits au cours de leur cycle de développement, de la conception à la mise en service (conception, fabrication et exploitation) afin de développer leurs connaissances sur le rapport Coût/Fiabilité et maîtriser les sources de défaillance [12].

L'analyse de la fiabilité dans le domaine de la mécanique est un outil très important pour caractériser le comportement du produit dans les différentes phases de vie, mesurer l'impact des modifications de conception sur l'intégrité du produit, qualifier un nouveau produit et améliorer ses performances tout au long de sa mission [12].

Fonction de fiabilité : R(t) = P {durée de vie du système T > t}

On l'exprime par la fonction du temps suivante :
R(t) est une fonction non croissante du temps t car la probabilité de bon fonctionnement est d'autant plus faible que t est plus grand où t désigne la durée de la mission.

Rappelons que la durée de vie d'un système est une mesure de la quantité de service rendu. Selon le système étudié, elle s'exprime en termes de temps, de kilomètres, d'heures de fonctionnement ou autre.

Evolution des coûts en fonction de la fiabilité [12]:

Le non fiabilité augmente les coûts d'après vente (garanties, frais judiciaires). Construire plus fiable, augmente les coûts de conception et de production. Le coût total prend en compte ces deux contraintes.

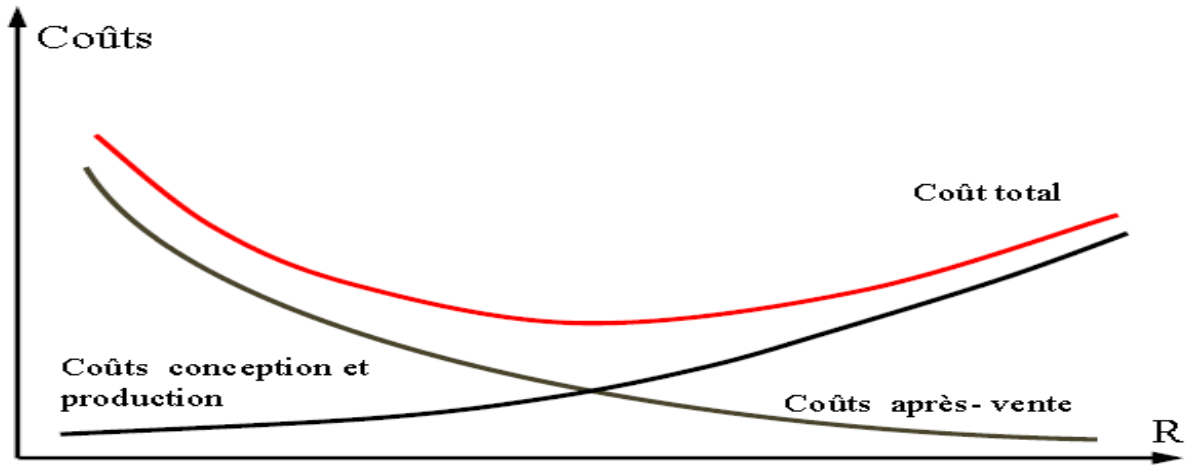


Figure IV.1. Courbes d'évolution des coûts en fonction de la fiabilité [12].

IV.2.2. La défaillance

Définition [12]:

La défaillance désigne l'apparition d'un défaut correspondant à un non-fonctionnement total du dispositif considéré. Il existe plusieurs classifications des défaillances; on en retiendra deux :
La première est fondée sur la rapidité d'apparition de la défaillance :

- Défaillance progressive ou par dérive lorsqu'il existe des signes avant-coureurs, détectés ou non.
- Défaillance catalectique lorsque l'apparition est brutale (l'éclatement d'un pneu résultant d'une usure correspond à la première, celui dû à une crevaison correspond à la seconde).

Remarque :

À la fiabilité, probabilité de bon fonctionnement, s'oppose la probabilité de défaillance, la somme de ces deux probabilités pour un même dispositif étant égale à l'unité si l'on admet que le dispositif ne possède que deux états : bon et mauvais. Étudier le bon fonctionnement revient bien souvent à étudier les pannes et leurs causes ; c'est en cela que la fiabilité a pu être appelée la science des défaillances [1].

Dans ce qui suit, nous la désignons par F(t) où :

$$\mathbf{F(t) = 1 - R(t)}$$

Elle représente la probabilité que la défaillance du système se produise avant l'instant t, ou probabilité de défaillance.

Pour la cohérence avec les considérations physiques, on pose :

$$\mathbf{F(t) = 0 \text{ pour } t < 0 \text{ et } f(0) = \lim_{t \to 0} F(t) = 0} \quad \textbf{(f représente la fonction de densité)}$$

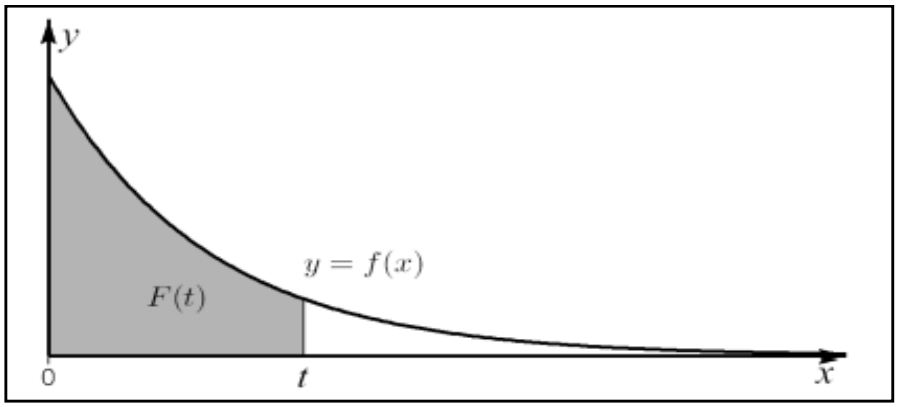


Figure IV.2. Fonction de défaillance [1]

Taux de défaillance instantané [1] :

La défaillance d'un équipement peut être caractérisée par un taux appelé taux de défaillance instantané λ(t). Ce taux est aussi appelé taux de panne, taux de hasard ou taux de mortalité. Il est défini comme étant la probabilité conditionnelle que l'équipement tombe en panne entre l'instant t et t + Δt sachant qu'il a survécu jusqu'à l'instant t d'où :

$$\boldsymbol{\lambda(t) = f(t) / F(t)}$$

Il peut aussi être défini comme la proportion de composants ayant survécu jusqu'à l'instant t. Il représente également la vitesse d'arrivée de la panne d'où :

$$\boldsymbol{\lambda(t) = \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N(t)\,\Delta t}}$$

Avec :

N(t) : Nombre de composants ayant survécu jusqu'à l'instant t.
N(t+Δt) : Nombre de composants ayant survécu jusqu'à l'instant t+ Δt.
Si nous représentons le taux de panne en fonction du temps, nous obtenons une courbe appelée « en baignoire » qui est divisée en trois parties (Figure IV.3) :

1. la première est appelée période de mortalité infantile ou le taux de panne est en décroissance ce qui correspond aussi au rodage.
2. la deuxième partie n'est autre que la durée de vie utile : c'est la zone ou le taux de panne est constant.
3. la dernière partie est appelée le vieillissement ou l'usure : en atteignant cet âge, le composant commence à vieillir et le taux de panne augmente en fonction du temps.

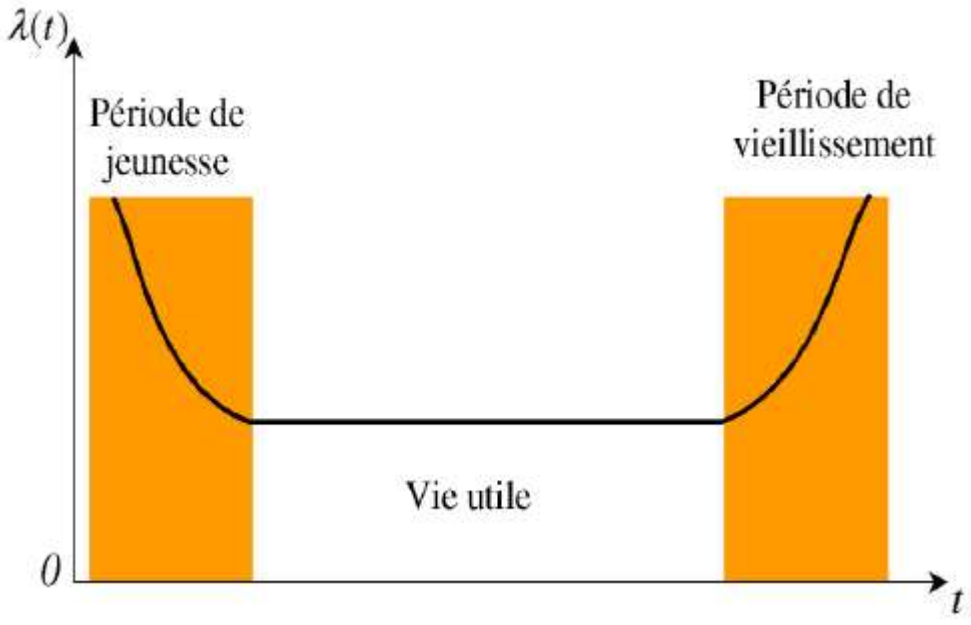


Figure IV.3 Courbe en baignoire [1]

Cette courbe représentant les variations du taux de défaillance en fonction du temps de fonctionnement.

Les défaillances qui surviennent pendant la durée de la vie utile sont généralement catalectiques. Les défaillances progressives apparaissent surtout au cours de la période d'usure. Pour les équipements purement mécaniques, la durée de vie utile est presque toujours plus brève que celle des équipements et des composants électroniques.

IV.2.3. La disponibilité

Définition [1]: C'est l'aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une mission dans des conditions données à un instant donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs soit assurée:

A(t) = P {entité non défaillante à l'instant t}.

L'aptitude contraire est appelée "indisponibilité" noté $\overline{A(t)}$ et est définie par :

$$\overline{A(t)} = 1 - A(t)$$

Remarque [1]:

Si l'entité n'est pas réparable alors : A(t) = R(t)

Taux de disponibilité [1]:

Le taux de disponibilité est le rapport du temps effectif de disponibilité/temps requis.
Ou encore le rapport du temps de fonctionnement / (temps de fonctionnement + temps propre d'indisponibilité).

IV.2.4. Indice de fiabilité " MTBF" [4]

MTBF désigne le temps moyen entre défaillances consécutives.

MTBF = Somme des temps de bon fonctionnement / nombre de défaillances

La somme des temps de bon fonctionnement inclut les temps d'arrêt hors défaillance et les temps de micro arrêts. La MTBF peut s'exprimer en unités plus parlantes pour les opérationnels, par exemple : nombre de pannes pour 100 heures de production.

IV.2.5. Indice de maintenabilité " MTTR"[4]

Dans des conditions données, la maintenabilité est l'aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits.

Approche Mathématique de la maintenabilité M (t) [4] :

La maintenabilité peut se caractériser par sa MTTR (Mean Time To Repair) ou encore Moyenne des Temps Techniques de Réparation.

MTTR = temps d'arrêt total / nombre d'arrêts

La figure ci-dessous schématise les états successifs que peut prendre un système réparable :

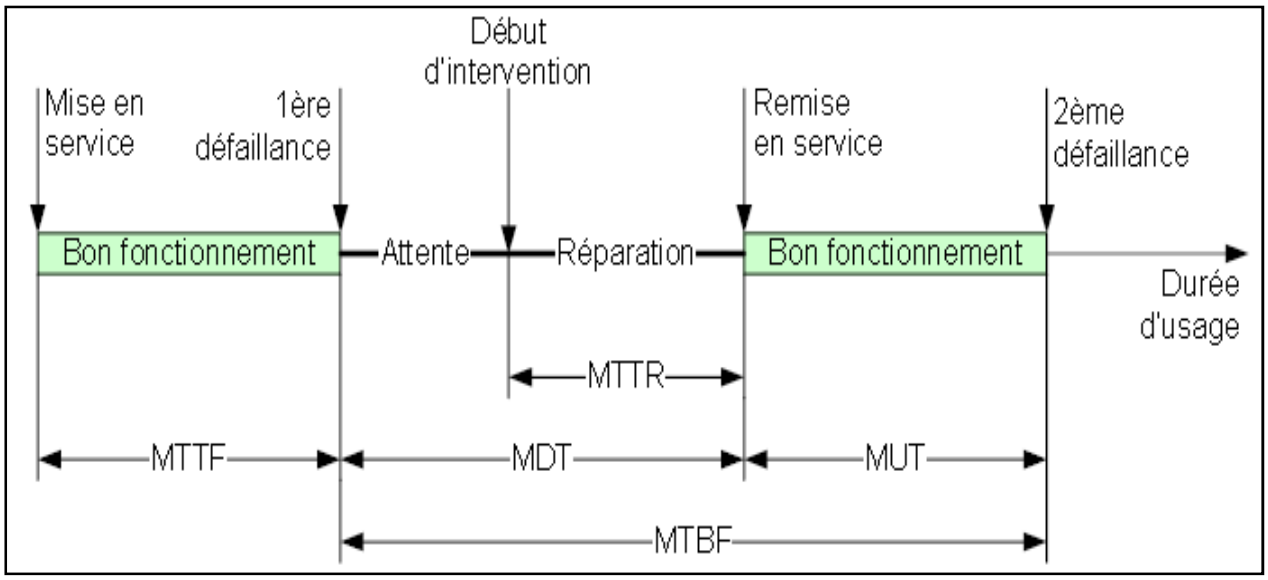


Figure IV.4. Plan des états successifs que peut prendre un système réparable [4]

IV.3. Présentation du modèle de Weibull [1],[4]

IV.3.1. Domaine d'utilisation

Le modèle de Weibull est très utilisé en fiabilité, en particulier dans le domaine de la mécanique. Ce modèle à trois paramètres α, β et δ a l'avantage d'être très souple et de pouvoir ajuster correctement aux plusieurs sortes de résultats expérimentaux et opérationnels.
Contrairement aux modèles exponentiels la loi de Weibull couvre les cas où le taux de défaillance λ est variable et permet donc de s'ajuster aux périodes de jeunesse et aux différentes formes de vieillissement **[1]**. Son utilisation implique des résultats d'essai sur échantillons ou la saisie des résultats en fonctionnement (TBF intervalle entre défaillances).
Ces résultats permettent d'estimer la fonction de répartition F(t) correspondant à chaque instant. La connaissance du paramètre β est un outil de diagnostique du mode de défaillance.

IV.3.2. Expressions mathématiques

Soit la variable aléatoire continue t, distribuée suivant une loi de Weibull.

- **Densité de probabilité [4]:**

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}}, \qquad \text{avec} \quad t \geq \gamma$$

β : est appelé paramètre de forme avec β > 0 (sans unités),
η : est appelé paramètre d'échelle avec η > 0 (unité de temps),
γ : est appelé paramètre de position -∞ < γ < +∞ (unité de temps).

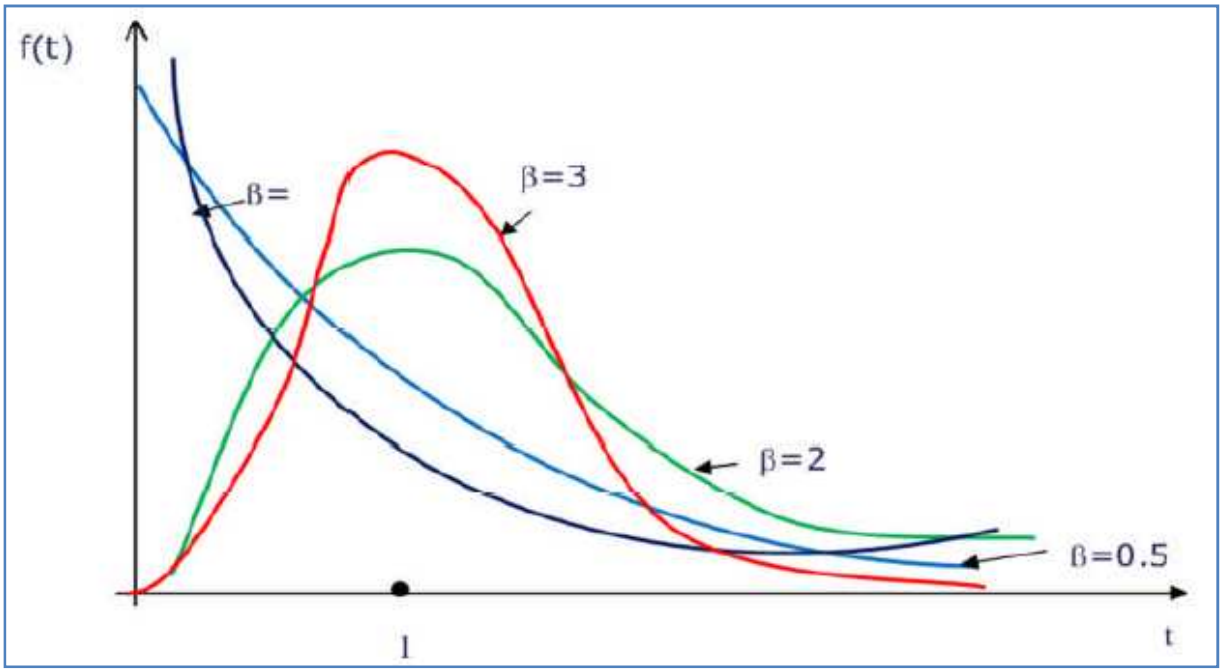


Figure IV.5. Répartition de la fonction de densité pour diverses valeurs de β [4].

- **Fonction de répartition [4]:**

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

La fiabilité correspondante est donc :

$$\mathbf{R(t) = l - F(t)}$$

D'où:

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

- **Taux de défaillance instantané [4]:**

Dans le cas de Weibull le taux de défaillance instantané λ(t) est donné par :

$$\lambda(t) = f(t) / R(t)$$

D'où :

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

- **Espérance mathématique [4]:**

L'espérance de la durée de vie T joue un grand rôle en fiabilité, c'est le temps moyen entre deux pannes successives noté MTTF (Mean Time To Failure).

Dans le cas de Weibull l'espérance mathématique MTTF est donné par :

$\int_{-\infty}^{+\infty} tF(t)dx = \gamma + \eta\,\Gamma\left(1+\frac{1}{\beta}\right)$ (Γ: est la fonction Gamma)

IV.3.3. Signification des paramètres de Weibull [1],[4]

• **Paramètre de forme** β **:**

β est un nombre sans dimension, il définit l'allure de la distribution de Weibull. Il permet d'adapter la forme des courbes λ(t) aux différentes phases de vie d'un système (Figure IV.6), il peut également servir d'indicateur pour un diagnostique. Les valeurs de β étant caractéristiques d'un mode de défaillance.

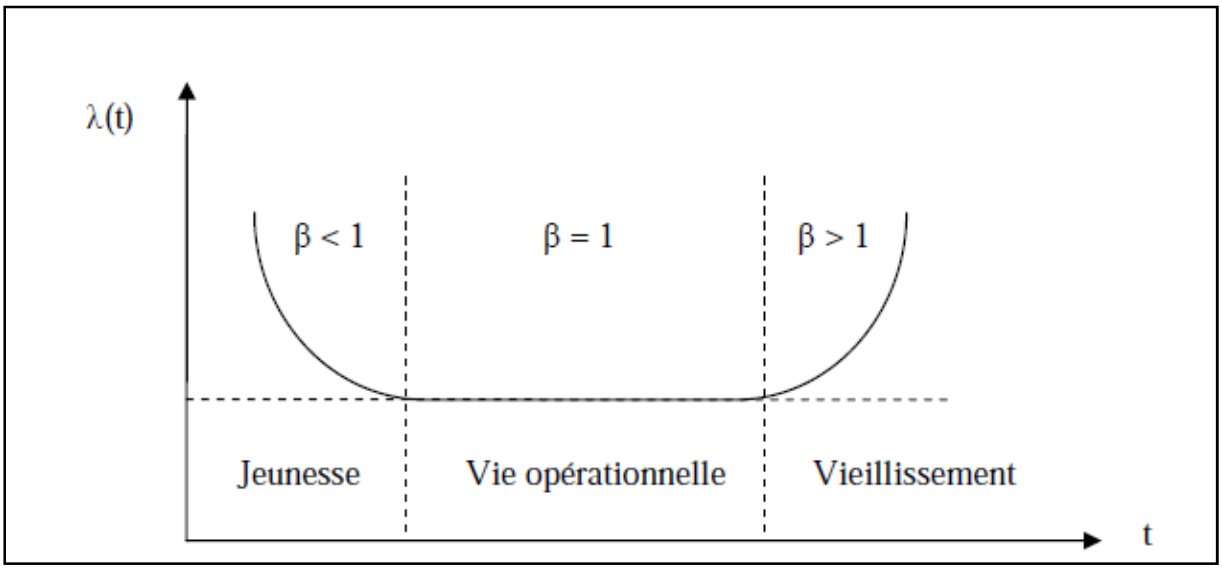


Figure IV.6 : Allure d'un taux de défaillance [1].

1. Si β < 1 alors λ(t) décroit: période de jeunesse (rodage).
2. Si β = 1 alors λ(t) est constant: dépendance du processus et du temps, on retrouve la loi exponentielle.
3. Si β > 1 alors λ(t) croit : phase d'obsolescence que l'on peut analyser plus finement pour orienter un diagnostique.
Le diagnostique du matériel varie du phénomène de fatigue, au phénomène d'usure et de corrosion avec la variation de β de 1 à 3.

• **Paramètre de position γ :**

Il est appelé aussi paramètre de décalage ou de localisation, γ indique la date de début des défaillances.
1. Si γ > 0 : il y a survie totale entre t = 0 et t = γ.
2. Si γ = 0 : les défaillances débutent à l'origine du temps.
3. Si γ < 0 : les défaillances ont débutées avant l'origine du temps.
Ce paramètre est souvent pris nul.

• **Paramètre d'échelle η :**

En faisant le changement de variable X = t - γ, il existe des tables donnant les valeurs de f(t) et F(t) pour β = 1, à partir desquelles on peut trouver les valeurs de f(t) et de F(t) quel que soit β.

Cas particulier :

-Pour γ = 0 et β = 1, on trouve la loi exponentielle; en effet :

$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^1} = e^{-\left(\frac{1}{\eta}\right)^t}$ (Loi exponentielle de paramètre $\lambda = \frac{1}{\eta}$).

-Pour β ≥ 3, On se rapproche d'une loi normale et ceci est d'autant plus vrai que β est grand.

Remarque [1]: Les différentes étapes d'analyse de fiabilité peuvent être représenté dans le schéma suivant :

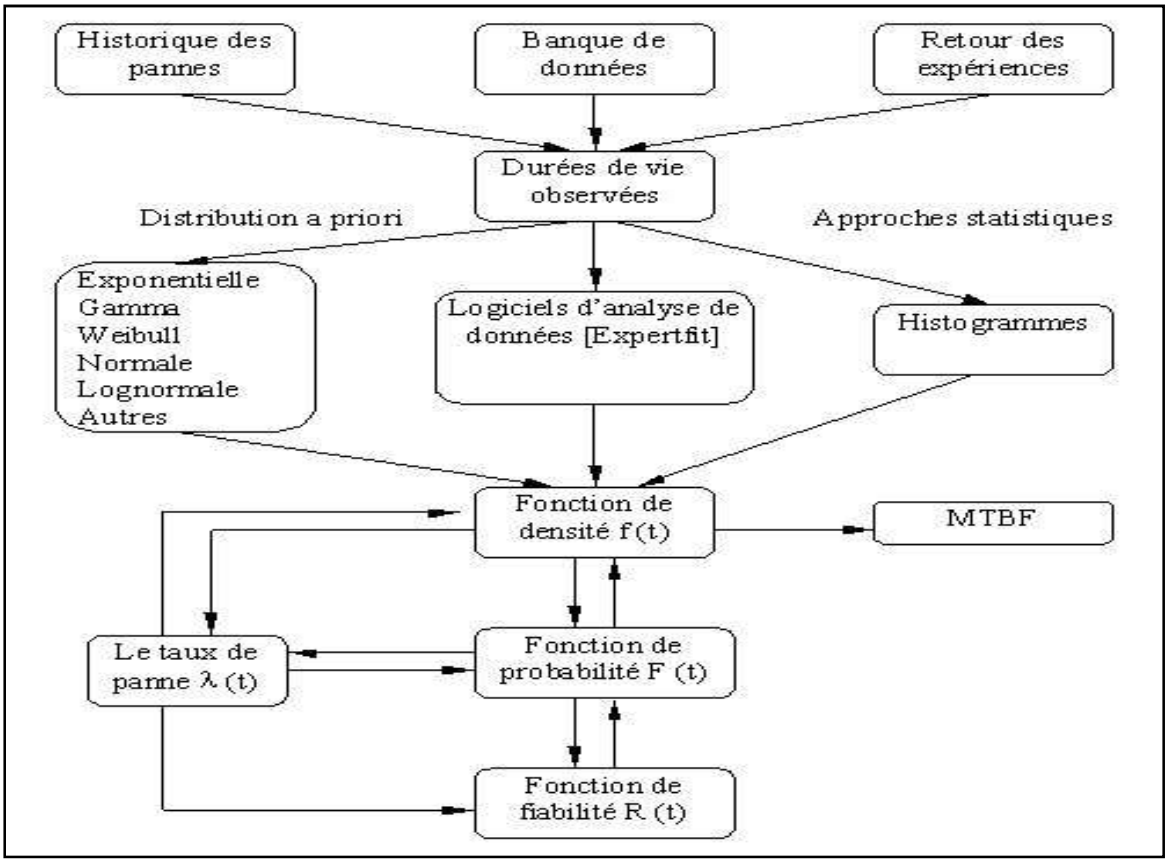


Figure IV.7 : Analyse de fiabilité [1]

IV.4. Analyse des modes de défaillances de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) [9], [12]:

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 [12].

IV.4.1. 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 en œuvre.
- 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 la méthode.
- 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.4.2. Mise au point de la fiche AMDEC :

La fiche AMDEC réparties en quatre grandes familles:

1. Analyse fonctionnelle,
2. Analyse de défaillance potentielle,
3. Estimation de la criticité,
4. Mesures à appliquer.

Prenons un exemple standard de feuille AMDEC [12].

Analyse fonctionnelle			**Analyse de la défaillance**				**Estimation de criticité**				**Mesures**
Composant		Fonction	Mode de défaillance	Cause	Effet local	Effet système	gravité	Occurr-ence	Non détection	criticité	Mesures envisagées
Nom	Rep										

Tableau IV.1. Exemple de type AMDEC – moyen de production [12].

IV.4.2.1 Analyse fonctionnelle :

Les composants :

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

Les fonctions :

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

IV.4.2.2. Analyse de défaillance :

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.

Modes de défaillance :

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. Une analyse fine de la situation est indispensable.

Causes de défaillance :

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 [9].

Le diagramme Ishikawa permet aux responsables de la maintenance de bien-cerner le problème de la dégradation des équipements (figure IV.8).

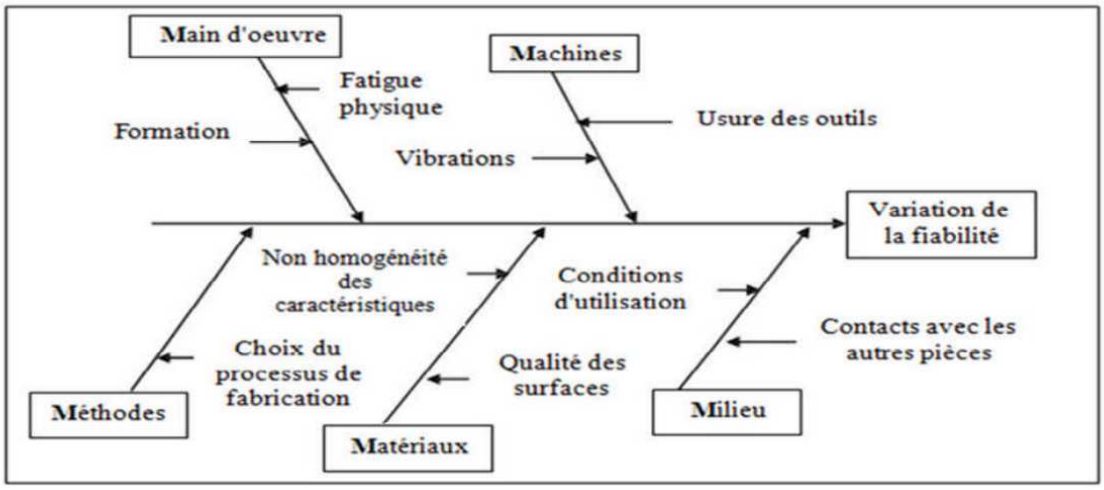


Figure IV.8. Diagramme d'Ishikawa [9]

Effets de défaillance :

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 plut tôt.

IV.4.2.3. 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 même plus.

1. **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 IV.2) [12].

Niveau	Définition
1	Mineure : défaillance ne provoquant pas l'arrêt de production supérieur à 5 minutes. Aucune dégradation ni production défectueuse
2	Moyenne : défaillance provoquant pas l'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 IV.2. Critères de gravité [12].

2. Critère O (occurrence) :

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 IV.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 IV.3. Critères d'occurrence.

3. Critère D (non détection) :

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) [12].

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 menée par un technicien de maintenance
4	Délicate : défaillance difficilement détectable et nécessite le démontage et un technicien spécialisé

Tableau IV.4. Critères de non détection [12].

4. Critère C (criticité) :

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 pour défaillance potentielle chacun des composants d'un système.

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 [12].

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
S=4	Dangereuse : révision de la politique de maintenance et / ou modification du système. (arrêt si sécurité est menacée)

Tableau IV.5. Critères de criticité [12].

IV.4.2.4. Mesures

Elle est souvent décomposée suivant les rubriques possibles :

- Modifications de conception.
- Moyens de détection ou consignes de surveillance ou inspections périodiques.
- Dispositif de remplacement, reconfiguration, repli.
- Observations, recommandations.

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 [12].

IV.4.3. Modes des défaillances [9]

Selon la norme AFNOR (X 60510), le tableau suivant donne les modes de défaillances [9].

1	Défaillance structurelle (rupture)	19	Ne s'arrête pas
2	Blocage physique ou coincement	20	Ne démarre pas
3	Vibrations	21	Ne commute pas
4	Ne reste pas en position	22	Fonctionnement prématuré
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	Fuite externe	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	Fonctionnement intempestif (inopportun)	31	Court-ouvert (électrique)
14	Fonctionnement intermittent (discontinu)	32	Fuite (électrique)
15	Fonctionnement irrégulier	33	Autres conditions de défaillance exceptionnelles suivant les caractéristiques du système, les conditions de fonctionnement et les contraintes opérationnelles.
16	Indication erronée		
17	Ecoulement réduit		
18	Mise en marche erronée		

Tableau IV.6. Modes de défaillance [9].

IV.4.4.Découpage de l'entreprise [19]

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 IV.9.

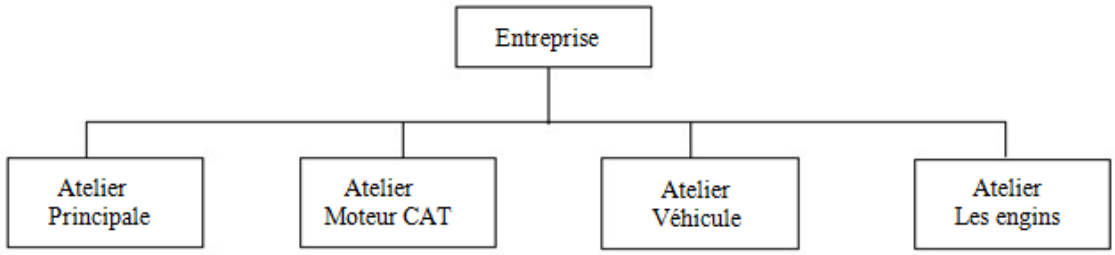


Figure IV.9. Découpage de l'entreprise [19].

Ce premier découpage sera suivi par un second qui permet d'étudier fonctionnellement l'atelier prioritaire au niveau d'un chantier de forage.

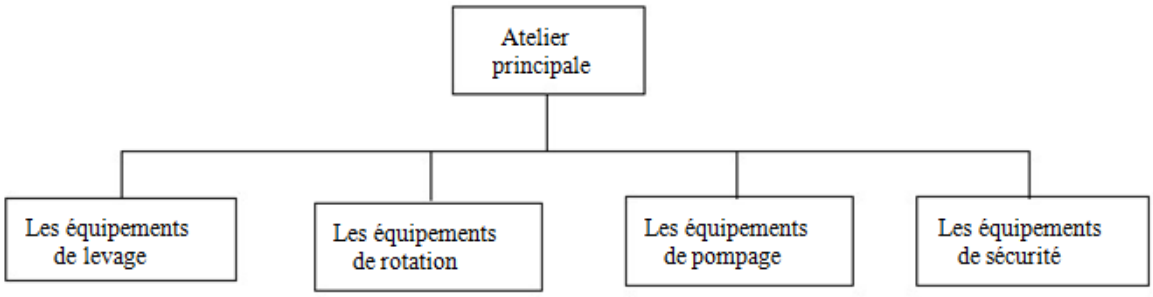


Figure IV.10. Découpage des équipements [19].

Ce découpage nous permet, suite aux recommandations de l'entreprise concernée d'appliquer la méthode AMDEC pour l'équipement de levage au niveau d'un chantier de forage (Figure IV.11).

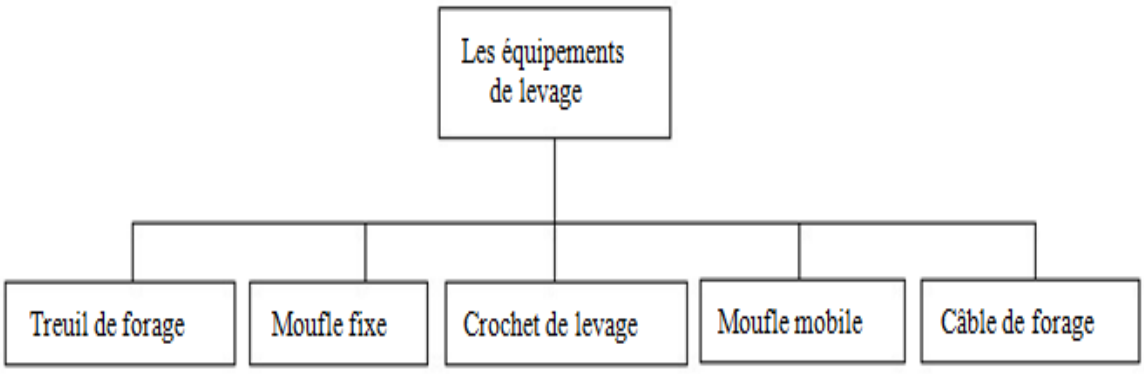


Figure IV.11. Découpage de l'atelier des équipements de levage [19].

IV.5. Maintenance des machines industrielles

IV.5.1. Définition [9]

La maintenance est définie comme étant « l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ».

Maintenir c'est donc effectuer des opérations (Dépannage, graissage, visite,. réparation, amélioration, etc.) qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de la production. Bien maintenir, c'est assurer ces opérations au coût global optimum.

Il est à noter que la définition de la maintenance n'est pas limitée aux deux définitions précédentes qui lui donnent l'aspect d'entretien.

Nous pouvons définir la maintenance comme étant un état d'esprit, une manière de penser, ensuite une discipline nouvelle.

IV.5.2. Présentation du besoin [14], [15]

Quelle que soit la complexité d'un produit ou d'un système, qu'il s'agisse par exemple d'une automobile ou d'une centrale nucléaire ou d'un camion, la connaissance des caractéristiques de fiabilité est essentielle : elle conditionne la maintenance et décrit les durées de vie. L'usure, la présence inévitable de défauts et les impératifs de renouvellement des équipements engendrent des coûts.

Parmi les questions sur lesquelles nous sommes à même d'intervenir :

1. Comment établir une maintenance optimale pour les systèmes à longue durée de vie ? Comment améliorer la maintenance existante ? Si on sait que telle pièce va normalement tomber en panne au bout d'un an, alors que l'appareil tout entier est supposé durer trois ans, on prévoit un remplacement systématique. Cette maintenance préventive est couramment réalisée dans les secteurs du Nucléaire et de l'Aéronautique.

2. Comment planifier ces remplacements pour qu'ils coûtent le moins cher possible ? Si l'on remplace certaines pièces, il peut être avantageux d'en remplacer d'autres en même temps, plutôt que de tout redémontrer (en immobilisant à nouveau la machine) quelques mois plus tard.

3. Est-il possible de prolonger le fonctionnement d'une installation au delà de sa durée nominale ? Une idée se fait jour petit à petit : mettre en place des « indicateurs dynamiques » qui viendraient montrer que le système commence à donner des signes d'usure, de fatigue : sans attendre la panne, ces indicateurs préviendraient qu'une maintenance va devenir nécessaire. C'est ce que font les indicateurs d'usure dont les pneus sont munis.

4. Comment fixer les garanties pour les équipements à grand volume de diffusion, afin d'améliorer l'impact commercial et de réduire le risque lié au coût d'appel de la garantie ?.

Les machines et les équipements nécessaires vont naturellement tomber en panne, ce que l'utilisateur aimerait éviter. Jusqu'à présent, on se contentait d'une période de garantie, et, dans les cas les plus critiques, on prenait un contrat d'assistance, de maintenance, de dépannage.

Mais maintenant chacun, que ce soit le fabricant ou l'utilisateur, souhaite connaître la durée de vie des appareils. Le fabricant ne veut pas assurer pour trois ans la garantie d'un appareil dont la qualité ne permet qu'un an de bon fonctionnement. A l'inverse, l'utilisateur ne désire pas payer un supplément de garantie (par exemple pour trois ans) pour un appareil qui a peu de chances de tomber en panne **[15]**.

IV.5.3. Les grands principes de la maintenance [8],[16]

Pour un objet vieilli, la maintenance est l'art de le garder en état de marche. Si on savait comment l'objet vieillit, on pourrait évidemment améliorer les maintenances : on saurait quelles pièces doivent être remplacées, avec quel délai. On voit donc immédiatement l'impact que peut avoir une amélioration des connaissances fondamentales sur le vieillissement, car les maintenances sont nécessaires au quotidien, que ce soit pour les appareils ménagers, les réseaux domestiques, l'énergie, etc. Une maintenance pose en vérité deux problèmes, assez distincts :

1- **Un problème scientifique :** quelles pièces doivent être remplacées, et pourquoi ?
2- **Un problème d'organisation,** lié au coût : lorsqu'on démonte pour remplacer une pièce, ne faut-il pas mieux remplacer aussi la pièce voisine ? Comment planifier ces maintenances, pour réduire le coût et réduire l'immobilisation ou l'indisponibilité de l'objet ?

Ces actions diffèrent selon les techniques mises en œuvre, à savoir :

- La maintenance corrective (palliative ou curative).
- La maintenance préventive (systématique. Conditionnelle ou préventive)

Une maintenance consiste à mettre en œuvre, pour chaque ensemble; voir chaque sous ensemble, voir chaque élément, la technique la mieux adaptée et la technique optimale.
Ce choix se fera en fonction des critères suivant:

- Comportement du matériel ;
- Historique ;
- Pannes totalement aléatoires.

De l'analyse de ces critères et de leur confrontation à la réalité, on est amené à choisir une technique de maintenance **[16]**.

IV.5.4. But de la maintenance [16]

La maintenance a pour but de :

- ✓ Empêcher et surveiller avant l'apparition de la défaillance ce que l'on appelle la maintenance préventive.
- ✓ Réparer la défaillance ce qui est la maintenance corrective (ou curative).

Maintenir, c'est donc effectuer des opérations permettant de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de la production.

La préoccupation principale de l'entreprise doit donc viser à réduire le coût de production en minimisant le temps d'immobilisation du matériel roulant.

L'existence d'une organisation de la maintenance se justifie par la nécessité d'assurer la disponibilité permanente des équipements pour que les services puissent remplir leur fonction en obtenant un rendement maximum **[16]**.

IV.5.5. Les différents Types de maintenance

Dans les ateliers de maintenance où le fonctionnement est quasi continu, les responsables souhaitent des taux de disponibilité très élevés, et le dépannage en maintenance corrective doit être limité le plus possible à cause des conséquences fâcheuses et imprévisibles qu'il peut y avoir **[8]**. Les prochains paragraphes décrivent donc les différents types de maintenance, ainsi que leurs applications (Figure IV.12).

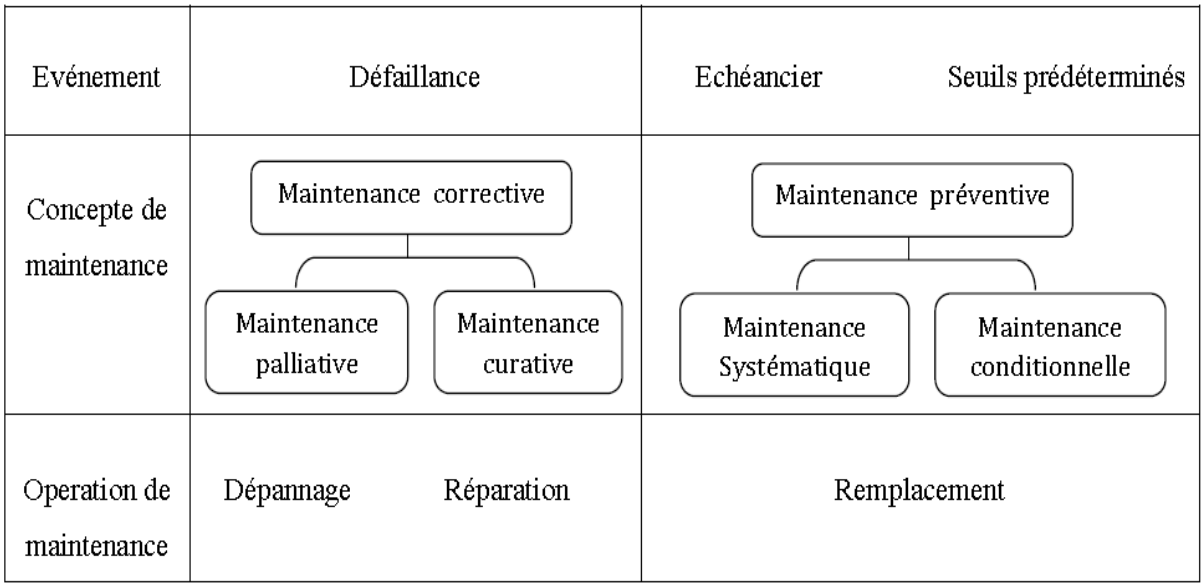


Figure IV.12. Les différents Types de maintenance [8].

IV.5.5.1. La Maintenance Corrective [14]

Elle s'effectue après défaillance et la caractéristique aléatoire de cette dernière fait qu'il n'est pas possible de planifier les interventions. La qualité du remède est directement liée à la qualité du diagnostique.

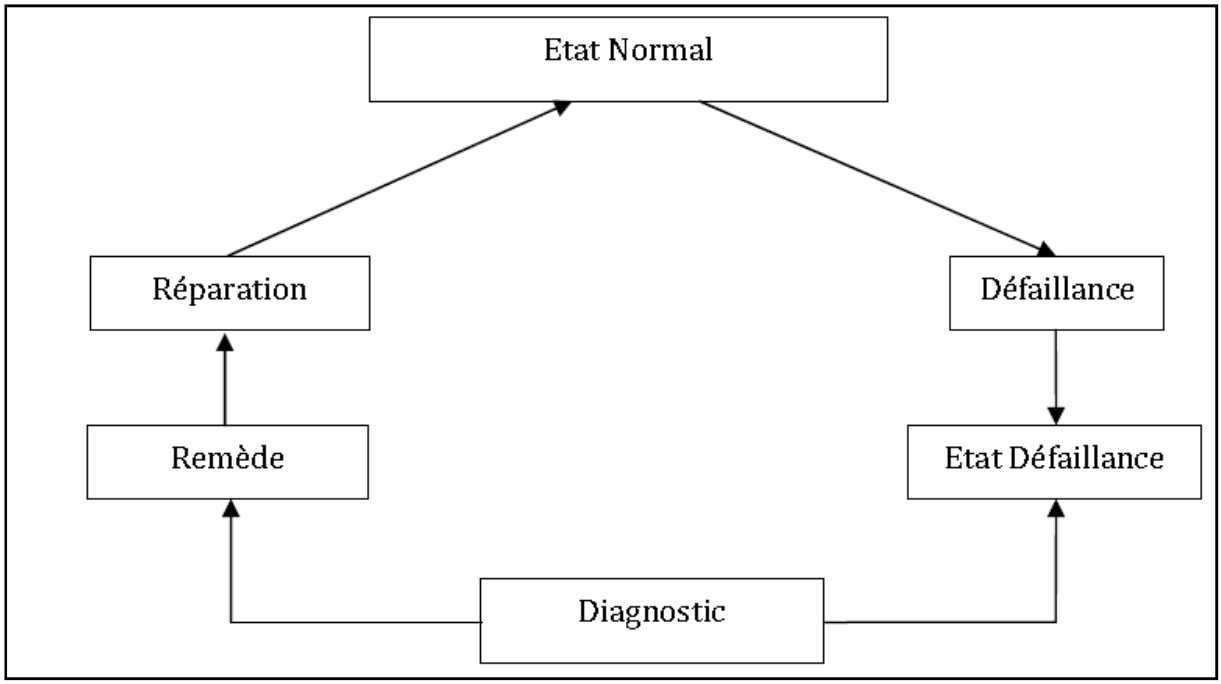


Figure IV.13. Diagramme d'une maintenance corrective [14]

IV.5.5.2. La Maintenance Préventive [14]

Définition :

C'est une maintenance effectuée selon des critères prédéterminés dans l'intention de réduire la probabilité de la défaillance d'un bien.

Elle s'adresse aux éléments provoquant une perte de production ou des coûts d'arrêts imprévisibles classés comme importants pour l'entreprise **[14]**.

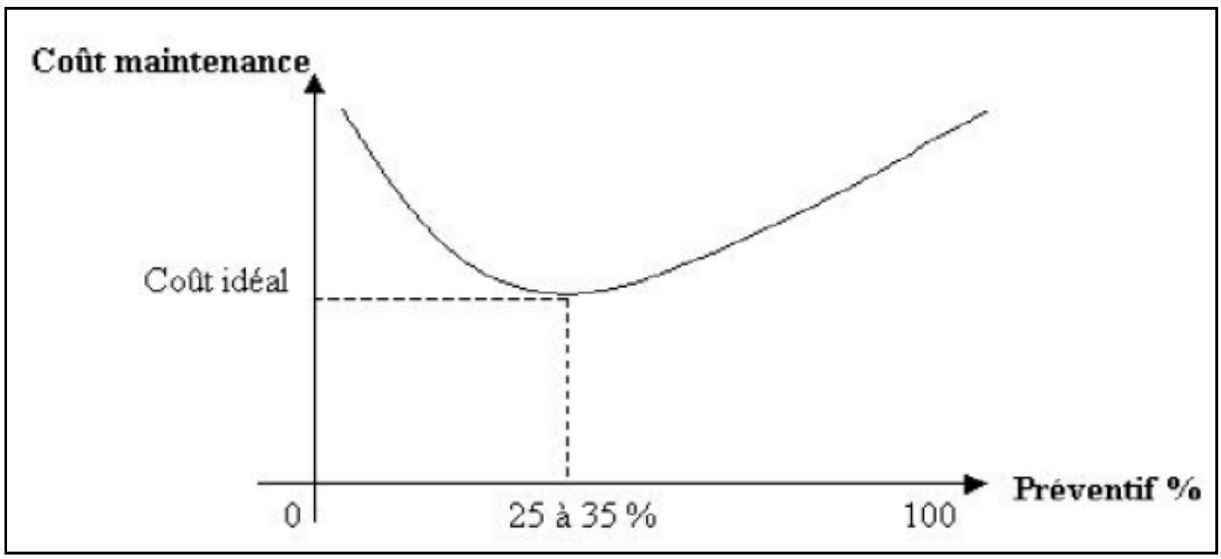


Figure IV.14. Evaluation de coût de la maintenance [14].

La maintenance préventive systématique [14] :

C'est une maintenance effectuée selon un échéancier établi en fonction du temps et du nombre d'unités. Elle est effectuée en fonction de conditions qui reflètent l'état d'évolution d'une défaillance. L'intervention peut être programmée juste à temps. L'analyse du processus de défaillance peut faire évoluer ce type de maintenance vers une maintenance préventive. Elle vise à minimiser les arrêts par des opérations planifiées de remplacement, de réglage et de contrôle avant l'apparition d'une panne. Les étapes de cette politique de maintenance sont schématisées dans la figure IV.15.

Elle demande d'avoir une connaissance fine des lois de dégradations et s'adresse à des systèmes qui ont un coût induit par une panne élevée.

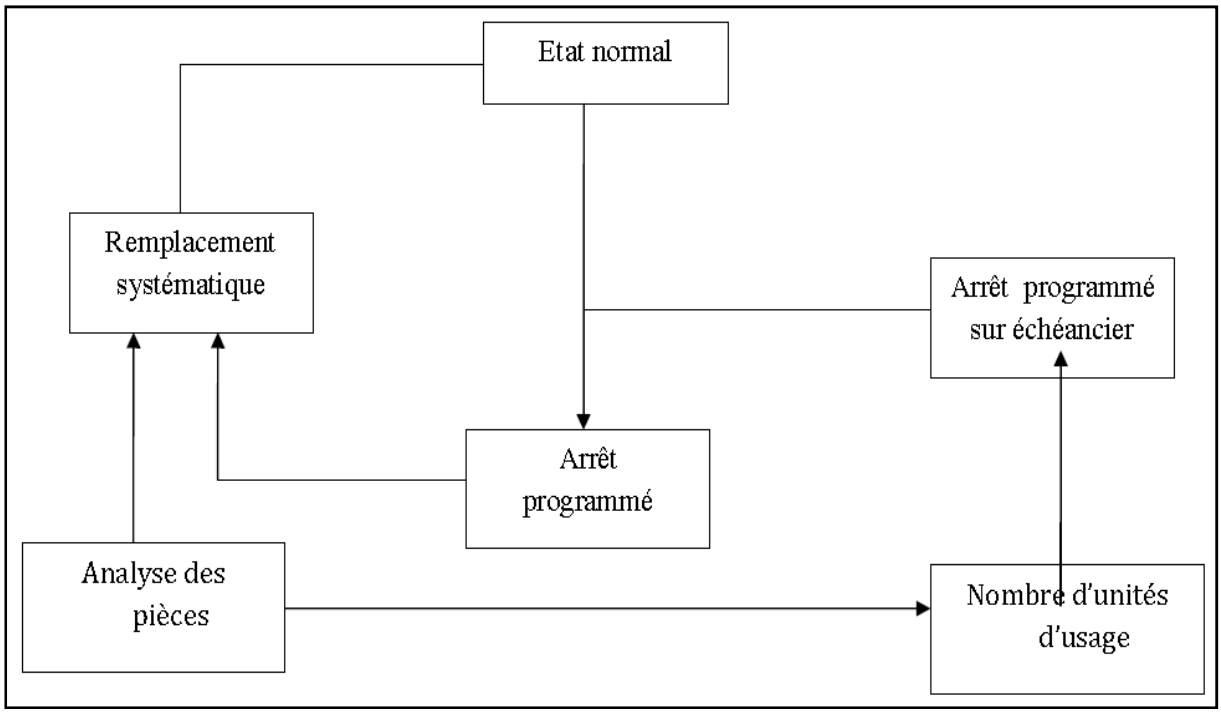


Figure IV.15. Diagramme d'une maintenance préventive systématique [14].

La maintenance préventive conditionnelle :

C'est une maintenance subordonnée à un type d'événement prédéterminé (demande des autodiagnostics d'information, capteur de mesure etc.). Elle consiste à faire un diagnostic avant de remplacer l'élément concerné par la visite.

Elles s'appliquent pour des grandes machines tournantes qui nécessitent une gamme de démontage **[15]**.

Les étapes de cette politique de maintenance sont schématisées dans la figure IV.16.

Elle s'adresse à des défaillances arrivant par dérive et détectable et nécessite l'installation de mesure.

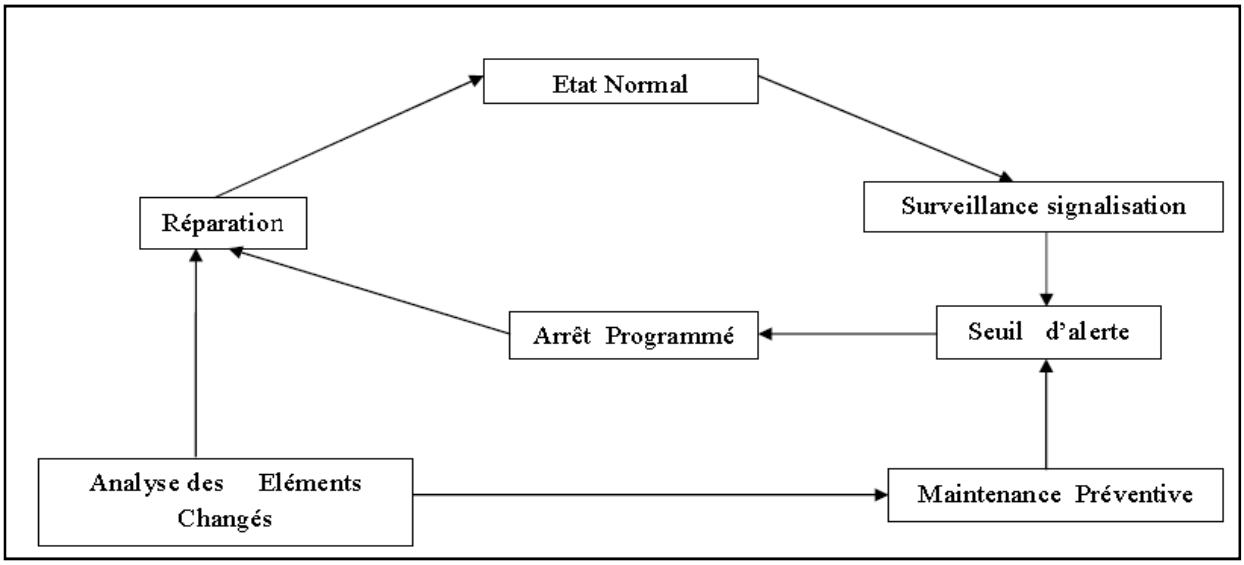


Figure IV.16. Diagramme d'une maintenance préventive conditionnelle [14].

IV.5.5.3. La Maintenance Préservative (ou Immunitaire)

Effectuée après une défaillance, elle a pour objet d'éviter le renouvellement de celle-ci par une action sur sa cause déterminante, effectuée avant que la défaillance ne devienne intolérable, ou même qu'elle ne se manifeste; la maintenance préservative constitue la démarche la plus évaluée de la maintenance. Elle consiste à éviter les pannes et les défaillances ou tout au moins celles qui sont considérées comme prohibitives par une action sur les causes possibles, y compris celles d'origine humaine. Les étapes de cette politique de maintenance sont schématisées par le diagramme suivant :

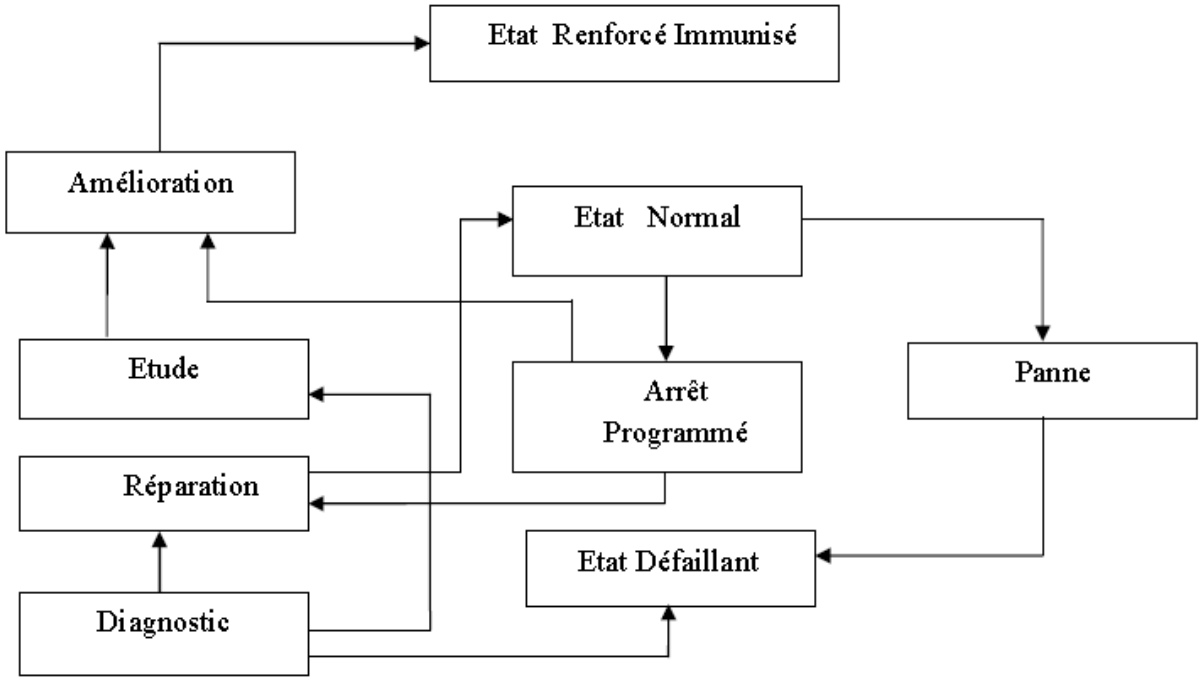


Figure IV.17. Diagramme d'une maintenance préservative [14].

Elle s'adresse à des systèmes où la panne coûte cher et où l'on a la volonté de réduire le risque de panne à néant. C'est vraiment tirer parti de l a défaillance pour améliorer la technologie.

L'amélioration se fait dés l'étude prévisionnelle de fiabilité sans attendre la panne.

IV.5.6. Concept de choisir une technique [15]

Maintenir en état de bon fonctionnement les moyens de production et de transport est bien entendu l e souci premier de tout service de maintenance, mais ceci pas à n'importe quel prix. L'homme de maintenance est obligé de décider dans un univers technico-économique et choisir une politique adaptée.

L'introduction de la maintenance préventive semble être une solution intéressante. Il n'en demeure pas moins que cette introduction systématique, suppose une étude sérieuse.
En effet, si les éléments technique et scientifique de l'approche du préventif ne sont pas connus à savoir :

- Lois de vieillissement non modélisées ;
- Etude sur les défaillances non établies ;
- Coûts entrainés par les défaillances en services non connues ;
- Pannes tout à fait aléatoires ;
- Absence de phénomène d'usure.

La mise en place du préventif ne sera pas optimisée. Les dépenses dues au changement des éléments maintenables seront trop élevées ou inefficaces.

Le choix du type de maintenance le mieux adapté à chaque cas dépend :

- ✓ Du type de défaillance : cycle ou aléatoire.
- ✓ De l'aptitude du personnel de maintenance, des services après-vente ou la sous-traitance.
- ✓ D'une bonne connaissance des coûts de maintenance (coût directs, coûts indirects, investissement).

Choix de la politique de maintenance [15] :

L'optimisation de la maintenance nécessite de disposer des données suivantes : la chronologie des défaillances et des dégradations et l'historique de la maintenance.

L'analyse de Weibull permet de situer le matériel ou le composant dans la courbe en baignoire **[15]**.

1. Si ß < 1, le taux de défaillance est décroissant, le matériel s'améliore, il y'a pas lieu de prévoir les défaillances, la maintenance est corrective.
2. Si ß est sensiblement égal à1, le taux de défaillance est constant, les défaillances sont aléatoires, la maintenance est corrective, on peut néanmoins surveiller le matériel.
3. Si ß > 1, le taux de défaillance est croissant, les modes et cause de défaillance peuvent être étudiés à partir de l'historique de maintenance, on choisit une politique de maintenance préventive.

IV.5. 7. Organisation des opérations de maintenance [15],[16]

Dans un service entretien, les taches sont nombreuses et les équipes parfois réduites, de plus, les technologies les plus évoluées en matière de maintenance coûtent chers, et ne doivent pas être appliquées sans discernement, il convient par conséquent, de s'organiser de façon efficace et rationnelle. L'analyse ABC ou de «PARETO » permet d'y remédier.

IV.5.7.1. 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.

Description de l'analyse :

- Recensement des pannes à partir de la date de mise en place du dossier historique.
- Classement des nombres de pannes par ordre décroissant.
- Calcul du cumul de ces valeurs à partir du plus haut.
- Calcul pour chaque valeur cumulée la valeur en %.
- Le rang relatif % des différentes pannes.
- Tracer la courbe correspondante aux couples de points ci dessous sur un graphique à deux dimensions, abscisses et ordonnées en pourcentage (%) à la même échelle.
- 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 trois zones.

On obtient le classement en trois catégories :

A : les plus défaillants
B : les moyennement défaillants
C : les moins défaillants

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

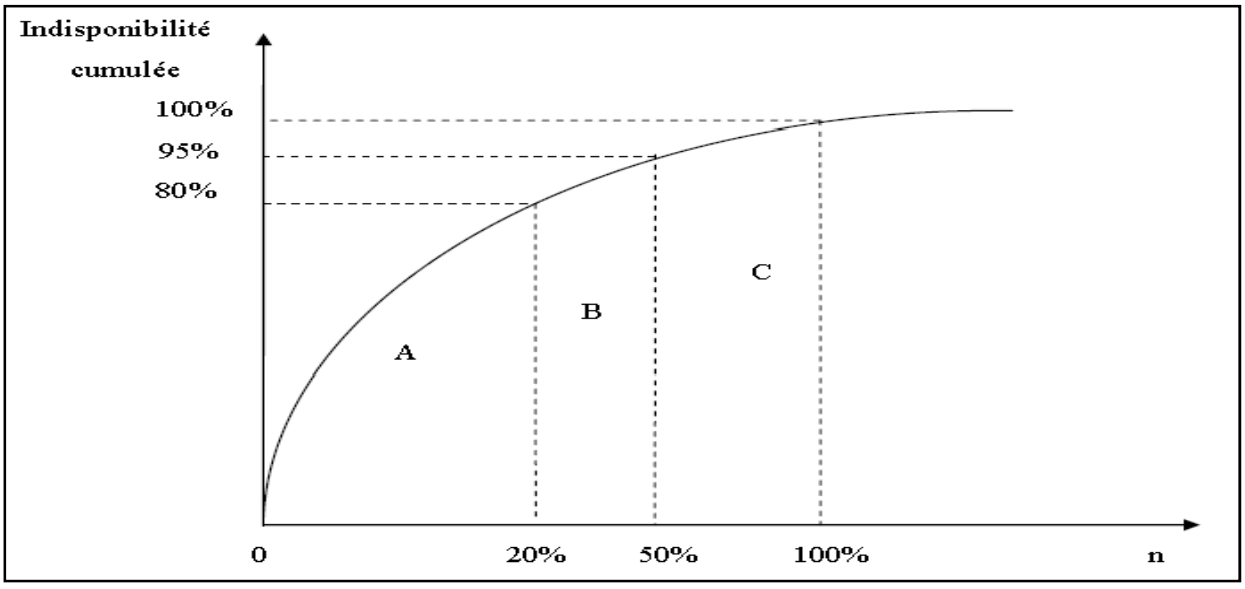


Figure IV.18. Courbe de PARETO [15].

Analyse et discussion :

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

Zone B: Dans cette tranche, les 30 % de pannes suivantes ne contiennent que 15 % supplémentaires.

Zone C: Enfin, dans cette tranche, les 50 % de pannes restantes ne reviennent qu'à 5% des coûts.

Les résultats obtenus permettent de prendre des décisions en matière de maintenance.

On se préoccupe d'avantage des éléments de la catégorie A. C'est par ceux ci, que l'on organise une politique de maintenance préventive systématique ou conditionnelle avec une surveillance permanente des points clefs.

On améliore la fiabilité de ces équipements et on prévoit des stocks de pièces de rechange avec une plus grande attention.

Pour les éléments de la catégorie B, on sera moins exigeants sur les méthodes de prévention.

Enfin ceux de la catégorie C n'exigeront pas ou peu de maintenance préventive.

La méthode ABC ou de Pareto est un outil d'analyse, à la disposition du technicien responsable de l'organisation du travail, les résultats obtenu permettent de prendre des décisions en matière de maintenance **[16]**.

CHAPITRE V

Etablissement de la fiabilité et de la maintenance

Cas : Treuil de forage et une pompe à boue au niveau de la station ENTP-TP127.

« La maison peut nous avertir de ce qu'il faut éviter ;
L'intuition seule dit ce qu'il faut faire. »
Joubert, Joseph

V. 1. Application de la fiabilité

V.1.1. 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 ENTP-OILWELL 840 E au niveau de la station de forage ENTP-TP127.

Dans cette application 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 à jour depuis 2013.

V.1.2. Collecte des données

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 (2013-2017) au niveau de la station ENTP-127 (Tableau V.1).

Les équipements levage	**Nombre des pannes**					**Somme**
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 V.1. Récapitulatif des défaillances des équipements levage [23].

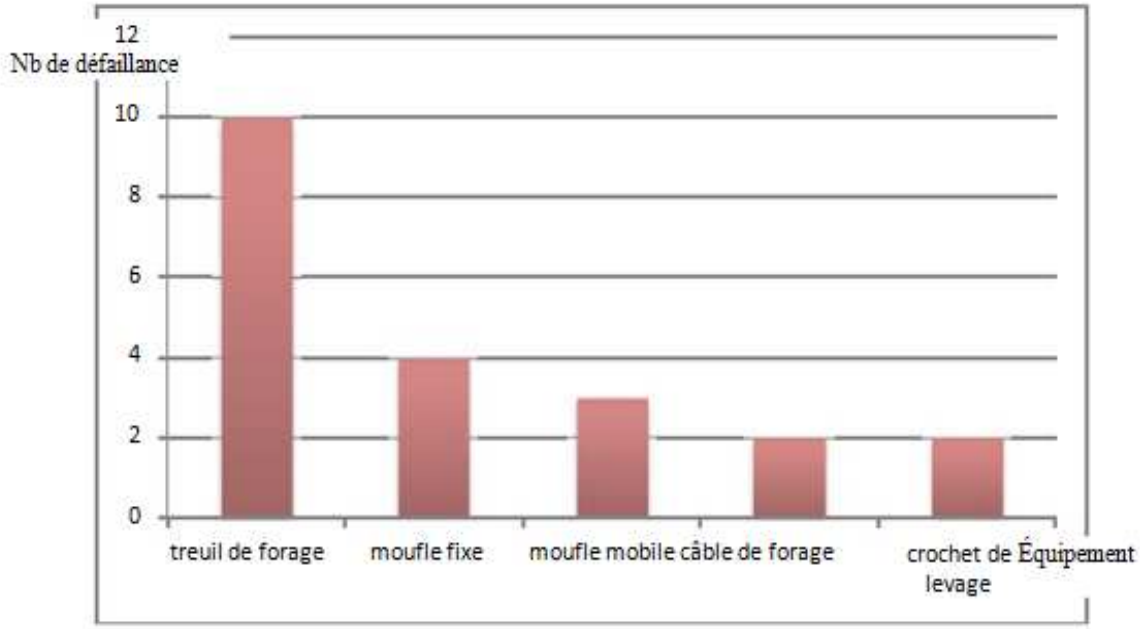


Figure V.1. Histogramme de défaillances des équipements levage

On conclut d'après l'analyse fais 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.

V.1.3. Analyse des données :

Les données sont relevées à partir de dossier historique d'équipement de treuil de forage, selon le classement suivant et durant les années (2013/2017).

- Le système de freinage : 10 défaillances
- Les organes de transmission : 07 défaillances
- L'embrayage : 05 défaillances
- Système de pompage : 04 défaillances
- Arbre principal : 02 défaillances
- Arbre de curage : 02 défaillances
- Système cabestan : 01 défaillance

V.1.4. Sélection de l'équipement :

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

Dans notre cas le nombre d'équipement est égal à 7 (Tableau V.2).

Désignation	N° d'ordre	Fréquence	% du Cumul
freinage	1	10	32
Les organes de transmission	2	07	54
L'embrayage	3	05	71
Pompage	4	04	84
Arbre principal	5	02	90
Arbre de curage	6	02	97
Cabestan	7	01	100

Tableau V.2. Classement des équipements.

V.1.5. Tracé de la courbe ABC

La courbe ABC permet de classer les équipements par ordre de priorité (voir figure V.2).

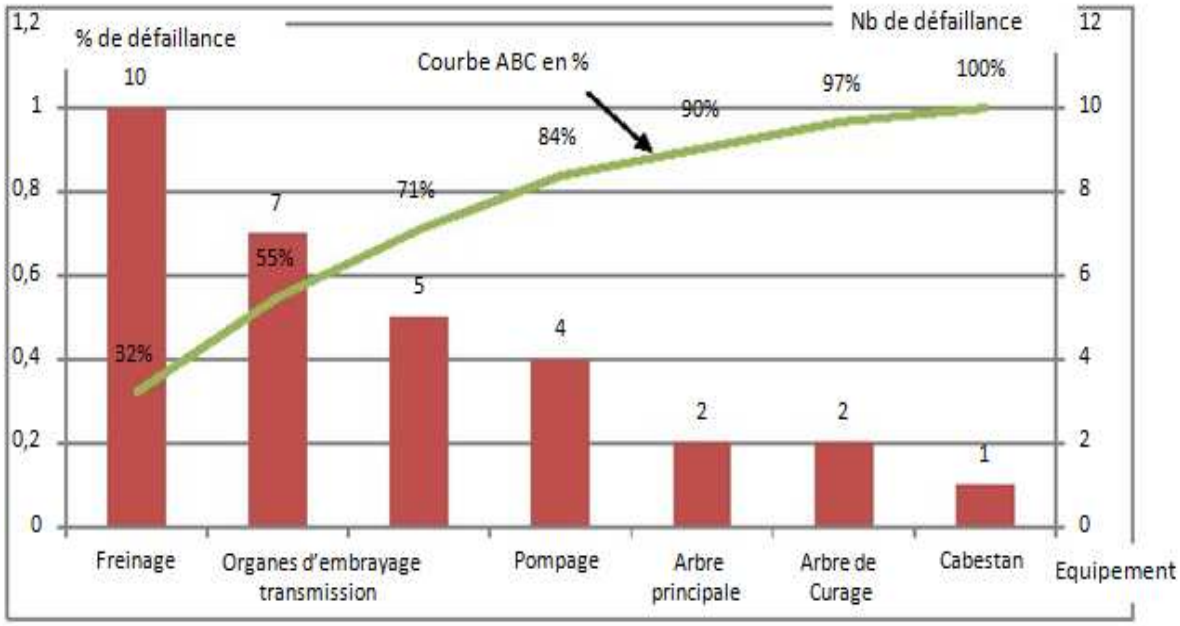


Figure V.2. Histogramme fiabilité et courbe ABC.

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 des classes «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% des nombres de défaillance. Ils sont donc à étudier en priorité pour treuil de forage.
- Zone B: 50% des équipements, représentent 25% des nombres de défaillance.
- Zone C: 25% des équipements, représentent 5 à 10% des nombres de défaillance.

V.1.6. Diagnostic par la méthode AMDEC

V.1.6.1. Analyse du système

Pour cela on utilise la méthode "AMDEC" [9] 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 V.3).

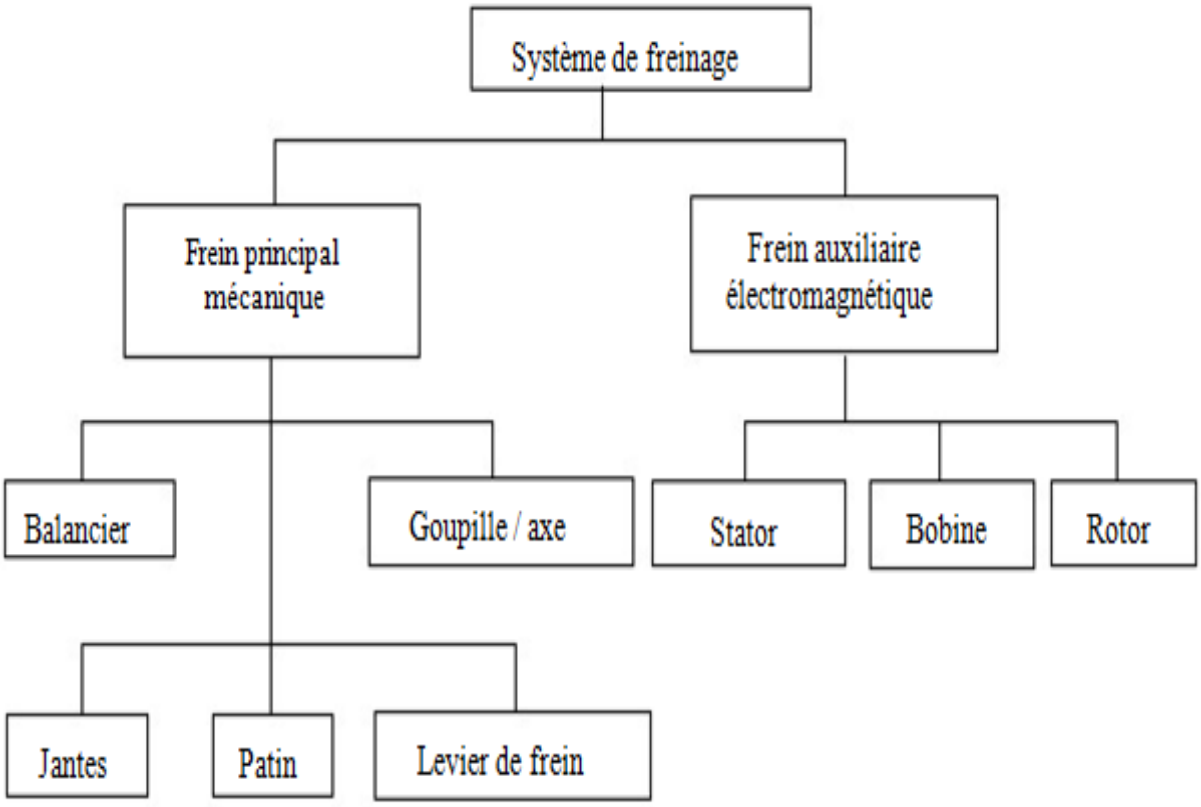


Figure V.3. Découpage fonctionnel de l'appareil de freinage

V.1.6.2. Tableau de cotation

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 V.3).

Niveau ou cotation	**1**	**2**	**3**	**4**
Indice de fréquence	Moins d'une fois par année	Moins d'une fois par mois	Moins d'une fois par semaine	Plus d'une fois par semaine
Indice de gravite	Durée d'intervention D≤1	Durée d'intervention 1h ≤ D ≤ 3h	Durée d'intervention 3h≤ D ≤ 5h	Durée d'intervention D > 5h
Indice de détection	Signe avant Défaillance	La défaillance, sa cause est évidente	La défaillance se produit mais sa cause est décelable	Défaillance non décelable

Tableau V.3. Grille de cotation

V.1.6.3. Analyse du freinage au niveau du treuil de forage

L'analyse « AMDEC » de l'appareil de freinage de treuil de forage permet de déterminer l'élément critique de l'équipement (Tableau V.4).

Système : treuil **Sous système : freinage frein principale mécanique, frein auxiliaire**									
Organe	**Fonction d'état**	**Mode de Défail.**	**Cause**	**Effet sur le système**	**Criticité**				**Action à engager**
					FR	Gr	D	IPR	
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	3	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	Echauff-ement	-mauvaise circulation d'eau de refroidissement -endommagement de la conduite qui assure le lien entre les deux jantes ; -patins non réglés (contacte avec la jante)	- usure de Patins ; -mauvais freinage	1	3	3	9	Contrôle d'usure
Balanci-er	Le maintient des bandes de frein en position égale	-usure mauvais position -nement	-surcharge - surcharge - faute de construction	- délogement de l'axe - délogement de goupille -vibration des pièces maintenue	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 position de l'axe	-Usure ; -rupture	-surcharge - surcharge - faute de construction	-délogement de l'axe -délogement de goupille -vibration des pièces maintenue	1	1	3	3	Visuel
Rotor	Assurer la procédure de freinage par frein auxiliaire	-Usure	- faute de construction -Variation du jeu entre le rotor bobine et stator (calcaire causé par l'eau de refroidissement)	-mauvais Freinage ; - usure de stator	3	3	1	9	Visuel
Bobine	Crée le champ magnétique	échauffe ment	- mauvais refroidissement -Variation de jeu entre le rotor, bobine et stator -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

Tableau V.4. AMDEC du système de freinage .

La (figure V.4) présente les résultats de la criticité des organes :

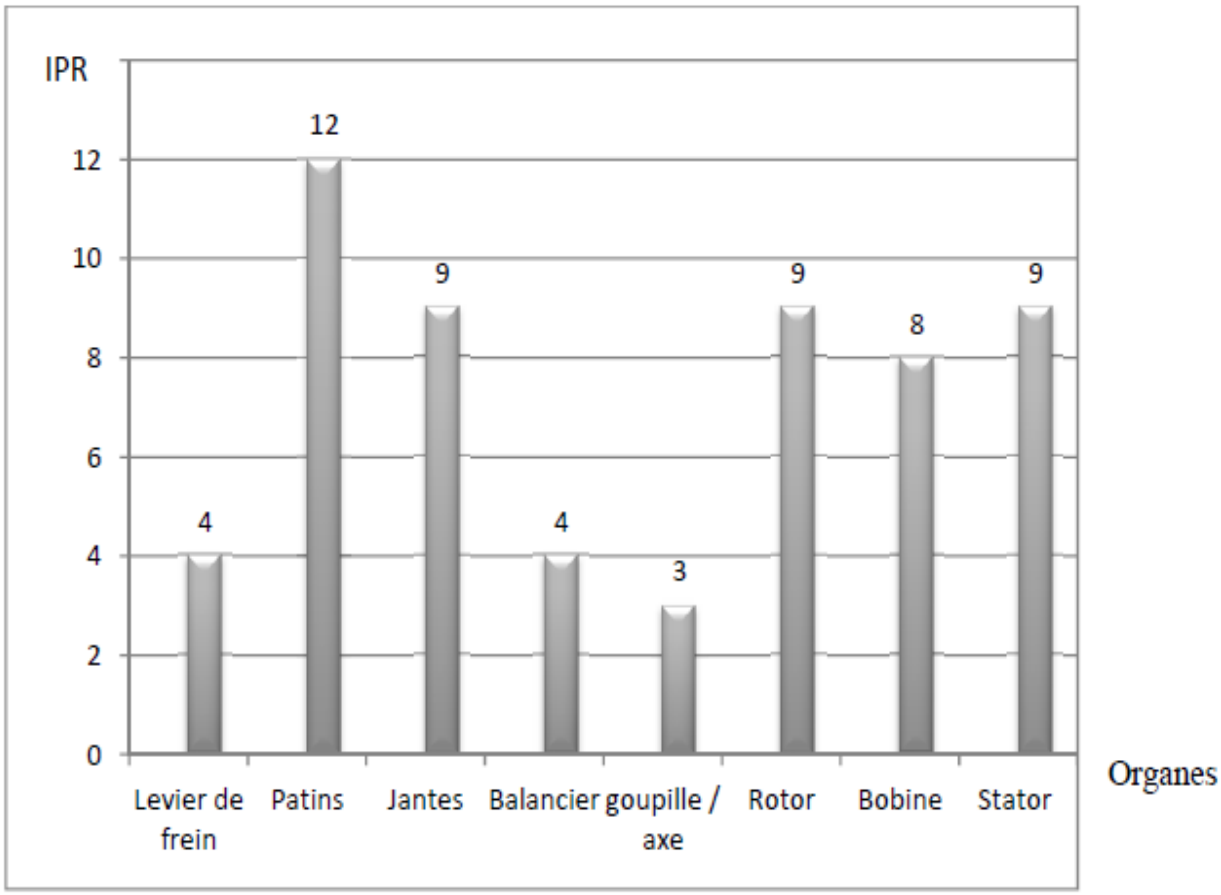


Figure V.4. Histogramme de criticité.

Remarque :

On constate d'après la figure ci dessus que l'organe le plus critique est le frein à patin.

V.1. 7. Détermination des paramètres de fiabilité

Cas des freins du treuil de forage :

Le calcul des paramètres de fiabilité dépend en premier lieu de la fonction de répartition estimée définie par la fonction de répartition.

Calcule des fonctions (F estimée) et (R estimée) par la formule des range médians (Tableau V.5).

N°	TTR (jours)	TBF (jours)	F estimée	R estimée
1	3	7	0,06	0,94
2	1	10	0,16	0,84
3	1	18	0,26	0,74
4	4	23	0,35	0,65
5	2	29	0,45	0,55
6	2	37	0,54	0,46
7	2	47	0,64	0,36
8	4	57	0,74	0,26
9	2	70	0,84	0,16
10	3	99	0,94	0,06

Tableau V.5. Préparation des données du frein à patin

Tracé de la droite de fiabilité :

Le traçage des données est représenté sur le papier de" WEIBULL" ou "ALLEN PLAIT », afin de déterminer les paramètres de la fiabilité. Le tracé graphique est confirmé par la droite de Weibull déterminée par le code de calcul (voir Figure V.5).

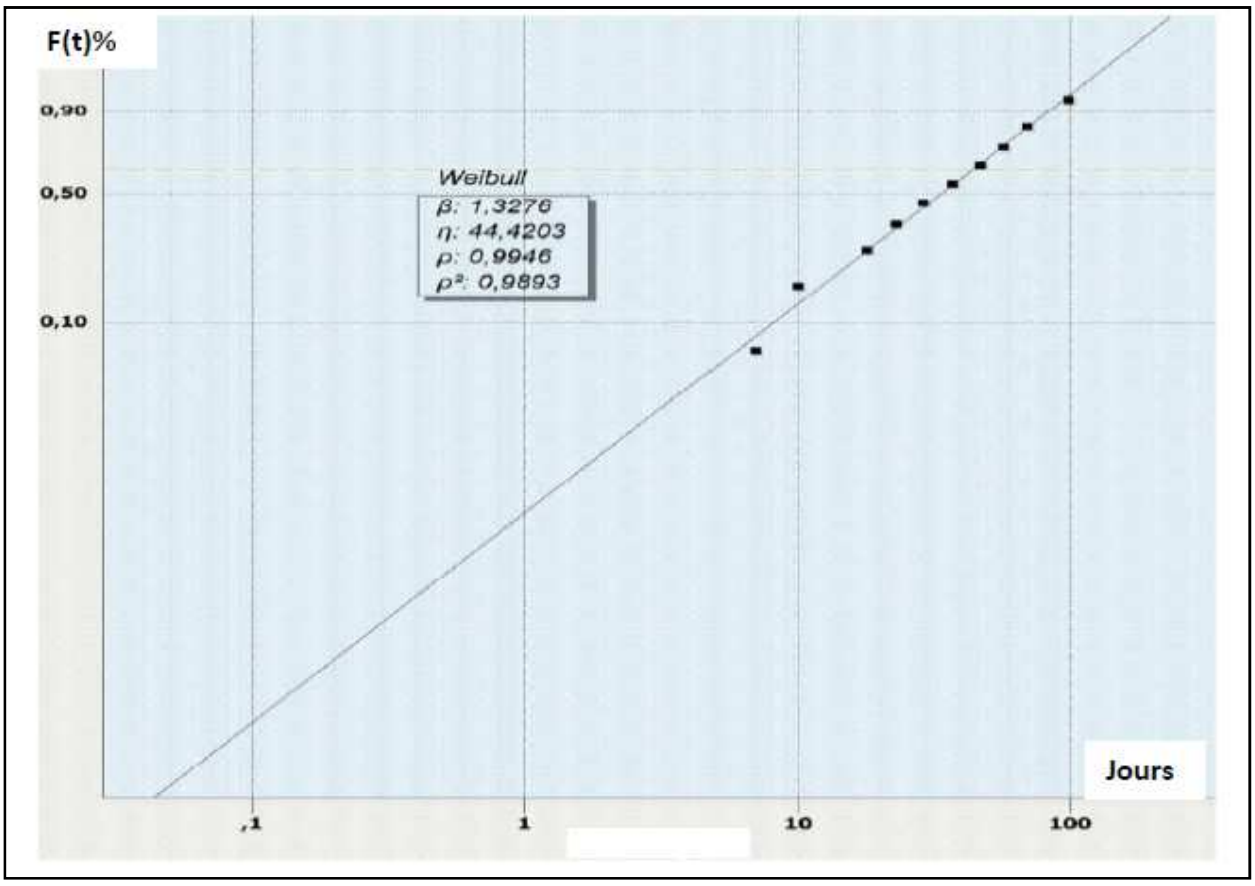


Figure V.5. Droite de Weibull (code de calcull).

La détermination graphique des paramètres de fiabilité permet de trouver les indices critiques de défaillance de l'équipement analysé.

$\beta = 1{,}25 \quad ; \eta = 45 jours$

Le calcul de la valeur MTBF et de l'écart type sont déterminées par la modèle de Weibull

MTBF= 41,9 jours (V.1)

$\sigma = 33{,}75\ jours$ (V.2)

V.1.8. Analyse des résultats théoriques

Ci-joint le tableau récapitulatif et comparatif des résultats déterminés par calcul à l'aide de la loi de fiabilité.

- Calcul de la fonction de la fiabilité théorique

$$R_{th} = e^{-(\frac{t}{\eta})^{\beta}} \quad \text{(V.3)}$$

- Calcul Taux de défaillance $\lambda(t)$

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta}(\frac{t-\gamma}{\eta})^{\beta-1} \quad \text{(V.4)}$$

- Calcul de la densité de probabilité :

$$f(t) = \lambda e^{(-\lambda t)} \quad \text{(V.5)}$$

N°	TBF (jours)	R Théorique	F Théorique	Taux de défaillance $\lambda(t).10^{-2}$	$f(t)$ 10^{-2}
1	7	0,90	0,10	1,74	1,54
2	10	0,86	0,14	1,90	1,57
3	18	0,73	0,27	2.21	1,48
4	23	0,65	0,35	2,34	1,36
5	29	0,56	0,44	2,48	1,20
6	37	0,45	0,54	2,64	0,99
7	47	0,35	0,65	2,81	0,75
8	57	0,26	0,74	2,94	0,55
9	70	0,17	0,83	3,10	0,35
10	99	0,07	0,93	3,38	0,12

Tableau V.6. Tableau des résultats

Courbes des fiabilités estimées et théoriques :

La Figure V.6 présente les résultats la fiabilité estimée et théorique du frein à patin :

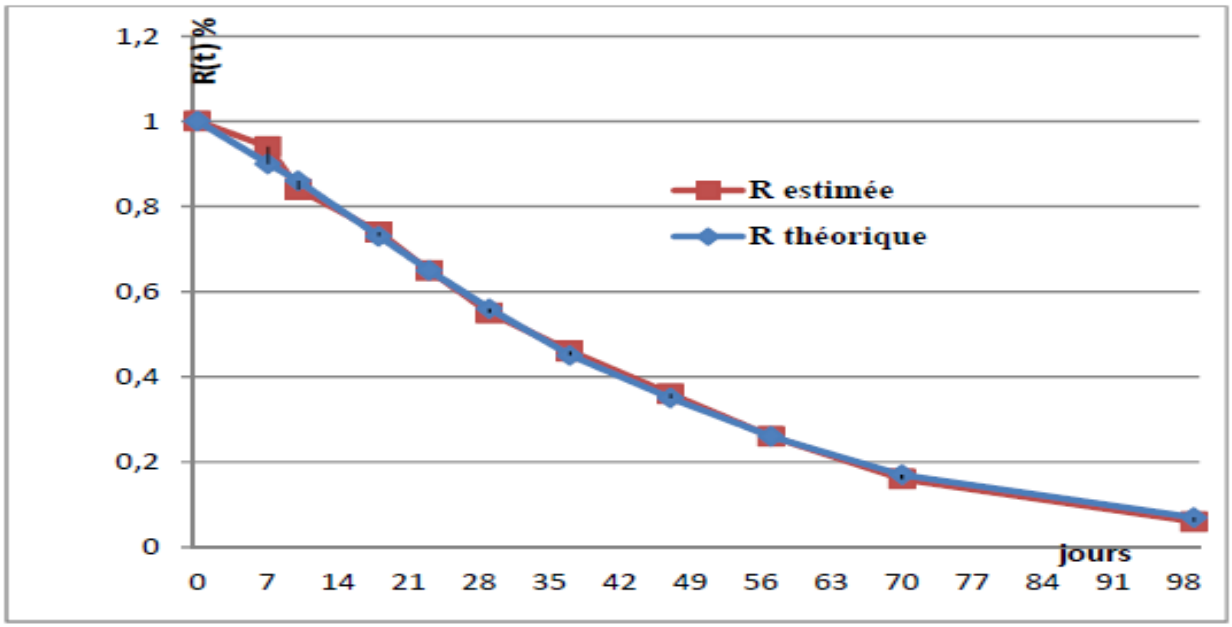


Figure V.6. Courbes des fiabilités estimées et théoriques du frein à patin

Interprétation : On remarque sur la figure V.6, que les courbes de (Rest et Rth) sont très proches l'une de l'autre et donnent une bonne corrélation avec les courbes déterminées par le code de calcul Weibull (figure V.7). Ceci nous a permis de valider notre travail de diagnostic et d'expertise sur l'élément le plus défaillant afin d'optimiser la maintenance sur cet équipement.

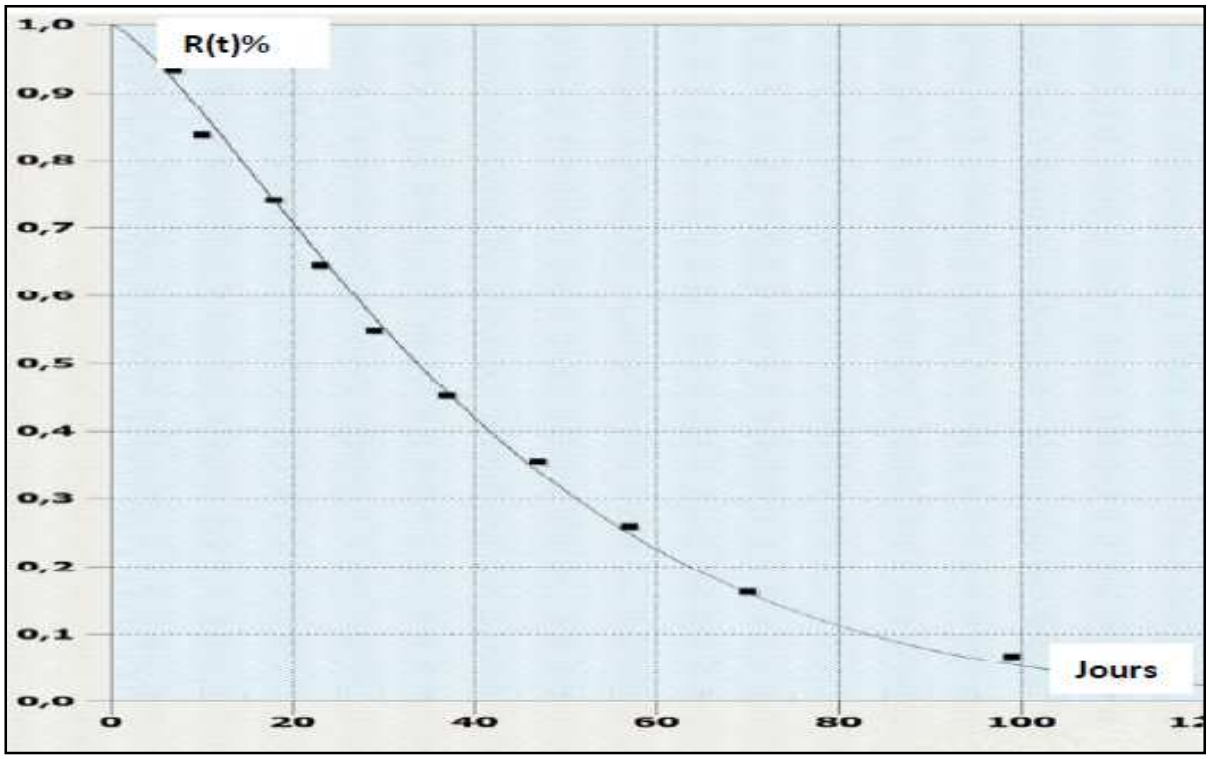


Figure V.7. Courbe de fiabilité «code de calcul».

Courbes cumulatives estimée et théorique :

La figure ci-dessous présente les résultats de la fonction cumulative estimée et théorique du frein à patin.

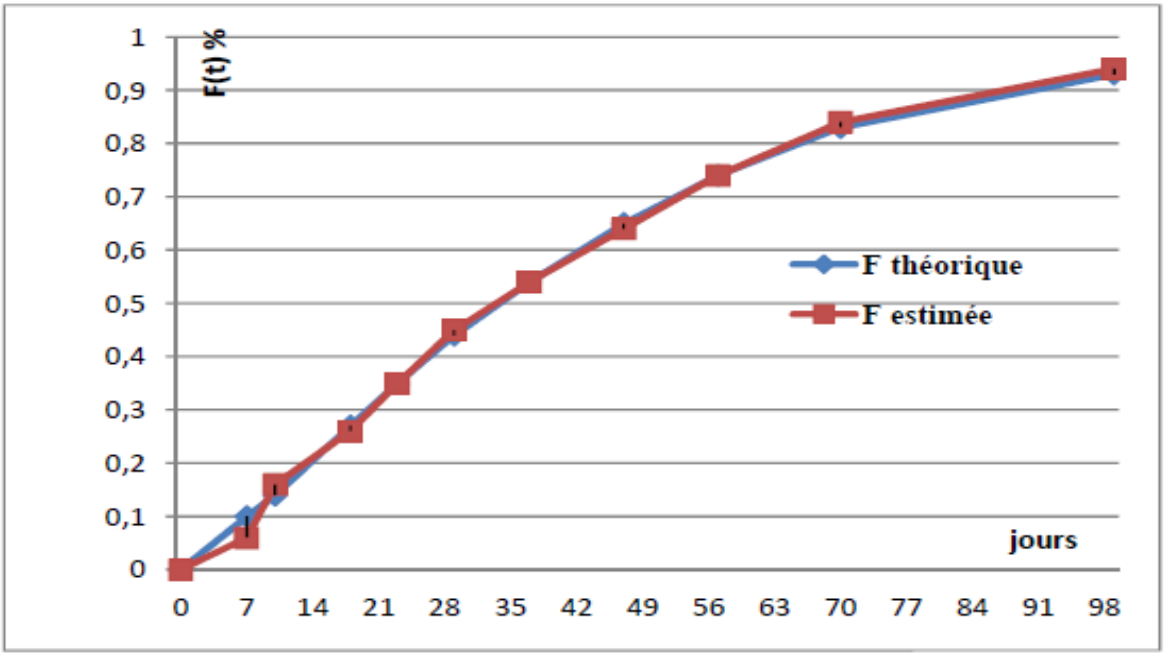


Figure V.8. Courbes cumulatives estimée et théorique du frein à patin

Interprétation : On remarque sur la figure V.8, que les courbes de (Fest et Fth) sont très proches l'une de l'autre et sont en très bonne corrélation avec les résultats du code de calcul, voir figure V.9.

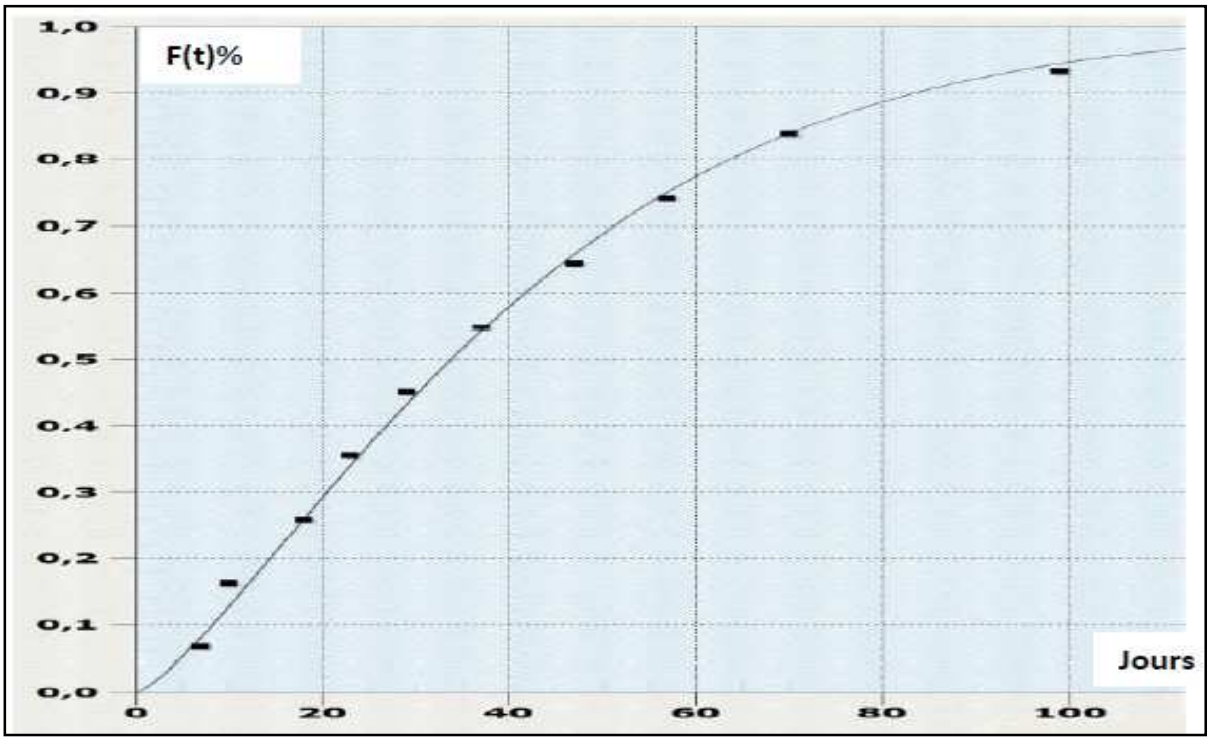


Figure V.9. Fonction cumulative «code de calcul».

Taux de défaillance du frein à patin :

La figure ci-dessous présente les résultats du taux de défaillance du frein à patin.

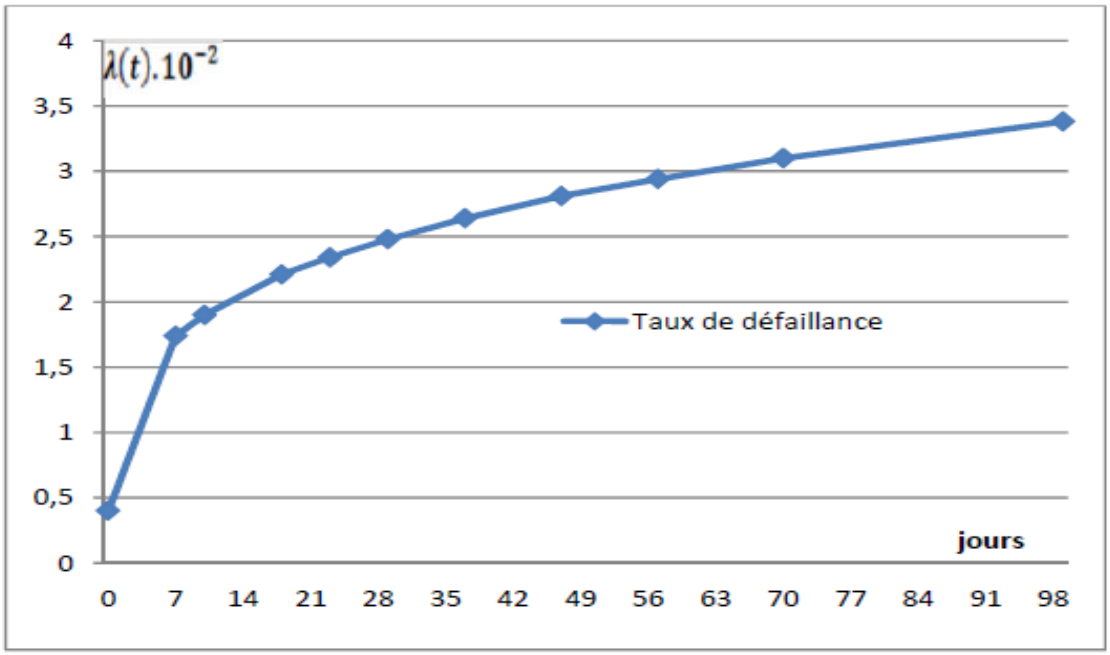


Figure V.10. Taux de défaillance du frein à patin

Interprétation : Le taux de défaillance est bien représenté par un tronçon distinct sur les figures (V.10) et (V.11), montrent bien que l'organe étudié subit une défaillance, ce qui est confirmé par le paramètre de forme (β=1.25), ce qui nécessite au service de maintenance de prévoir un plan préventif pour d'améliorer la production au niveau de l'atelier de préparation de tissage qui fonctionne actuellement en difficulté.

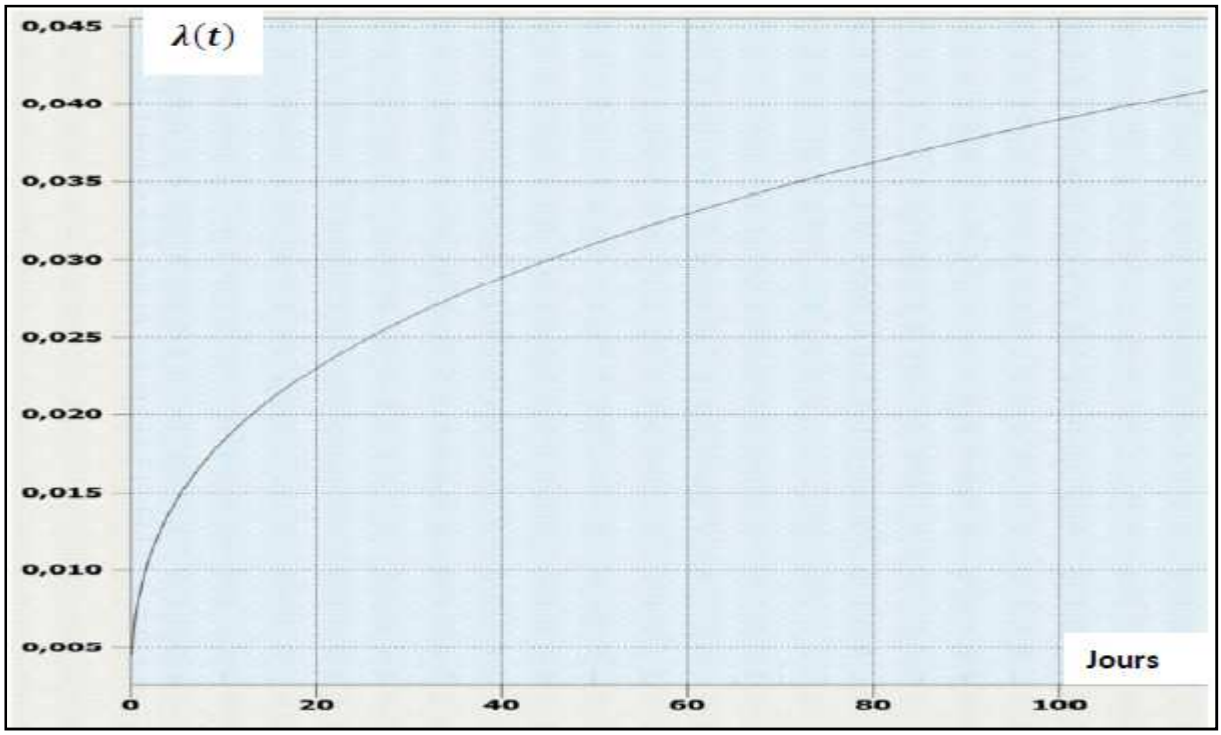


Figure V.11. Taux de défaillance «code de calcul»

Densité de probabilité du frein à patin :

Les figures (V.12 et V.13) présentent les résultats de densité de probabilité du frein à patin

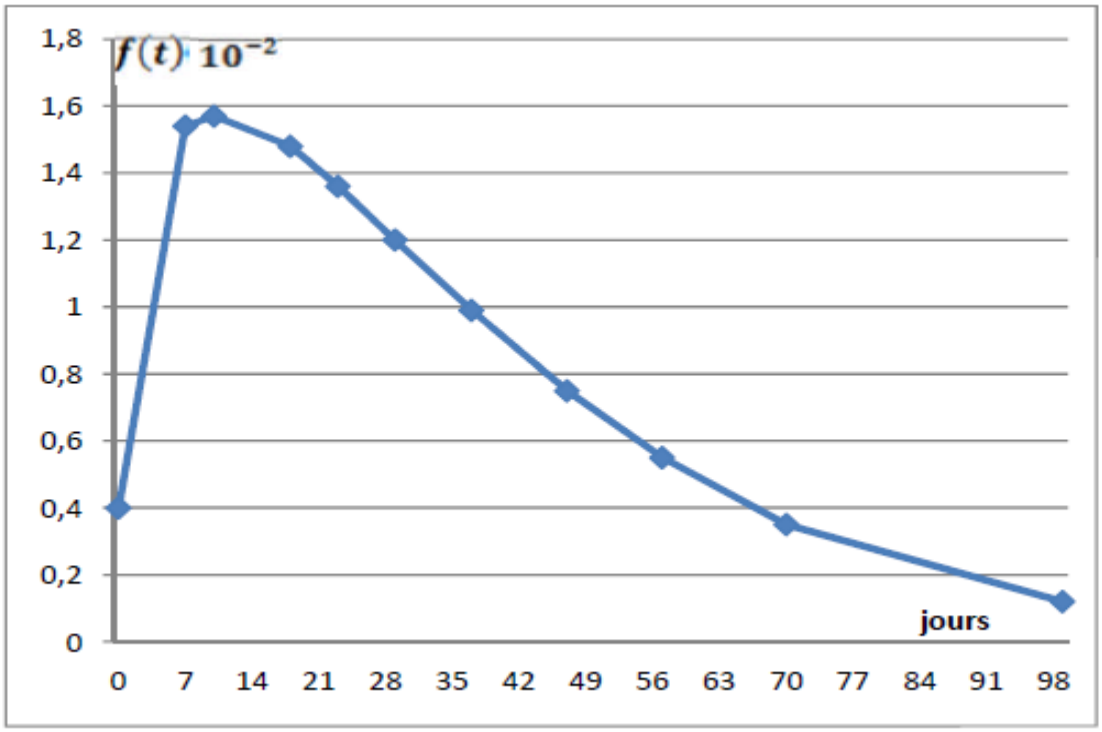


Figure V.12. Densité de probabilité du frein à patin.

Figure V.13. Densité de probabilité «code de calcul».

V.1.9. Analyse des résultats trouvés

Le diagnostic de cet organe sélectionné, par les méthodes « ABC » et « AMDEC » finalisé par la méthode de Weibull ; nous a permis de déterminer les paramètres de dégradation (β, η, λ) et 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.

Au cours de notre étude nous avons constaté que :

- ✓ $\beta > 1$, donc les phénomènes de dégradation se centrent autour de la durée de vie la située dans la zone de vieillissement. C'est un cas plus intéressant pour appliquer si nécessaire une politique de la maintenance préventive afin de suive la dégradation de cet équipement durant sa phase de vieillesse.

V.2. Maintenance de la pompe au niveau de la station ENTP-127

V.2.1. Maintenance préventive

Dans le chantier ENTP-127 on utilise deux pompes en parallèles, pour assurer la sécurité et la continuité de production et pour vaincre la pression et le débit nécessaire pour le forage d'un puits, la maintenance préventive systématique ou conditionnelle n'est pas utilisée pendant l'exploitation de la pompe, cependant périodiquement on assure les inspections suivantes :

- ✓ Contrôle de la qualité et le niveau d'huile dans le carter et le changer lorsqu'il est nécessaire ;
- ✓ Contrôle de la température de refroidissement de l'eau ;
- ✓ Contrôle de la pression de refoulement, du débit refoulé et de la vitesse de rotation par le chef de poste ;
- ✓ Contrôle de la pression d'huile de lubrification ;
- ✓ Nettoyage de la pompe ;
- ✓ Voir les fiches de contrôle.

V.2.2. Maintenance corrective

Elle consiste en un dépannage qui est une remise en état de fonctionnement effectuée sur site, le dépannage se fait après panne.

Le dépannage de la pompe ENTP-127 consiste au changement des pièces d'usure (pistons, clapets, chemises, joints, rallonge de tige, système d'étanchéité, sièges, changement de tige de piston).

V.2.2.1. Entretien au niveau du chantier

Avant de travailler sur une pompe et pour éviter tout accident du personnel, il faut s'assurer que :

- La pompe est bien isolée du circuit haute pression est en forage et que l'on utilise l'autre pompe ;
- Les vannes à l'aspiration sont fermées, sinon risque de perte importante de boue ;
- La pression du circuit de refoulement a bien été purgée ;
- La pompe ne peut être embrayée accidentellement (couper ou verrouiller le système
- d'embrayage), placer un petit panneau ou un "autocollant" sur la commande au tableau de commande ;
- Tout le matériel nécessaire se trouve sur place (palan, clé pneumatique ou à frapper, masse, etc.).
- Avant de sortir une porte de fond de cylindre, il faut dévisser le dispositif de blocage
- des chemises ainsi que le dispositif de serrage des joints.
- Lors du changement de chemise, il faut nettoyer à fond l'intérieur du corps de pompe,
- surtout la partie inférieure où il y a toujours un dépôt de sables et de baryte :
- Vérifier que l'alésage se trouvant en face de l'anneau lanterne de chemise n'est pas bouché ;
- Graisser tout l'ensemble, chemise et joints, avant l'introduction dans le corps de pompe ;
- Le montage des tiges et pistons doit se faire à sec après dégraissage des portées coniques ;
- Les corps de piston ont une gorge dite "d'usure". Selon la profondeur de cette gorge, le piston doit être changé, etc.

V.2.2.2. Pannes de la pompe à boue et leurs remèdes :

INCIDENTS	CAUSE	REMEDE
a) Baisse de pression de refoulement	1) Usure de l'ensemble du clapet 2) Clapet totalement couvert 3) Mauvais remplissage 4) Fuite de fluide 5) Manomètre défectueux	✓ Remplacer celui-ci ✓ Eliminer le corps qui provoque l'ouverture de la conduite ✓ Déboucher la conduite d'aspiration ✓ Le remplacé ✓ Augmenter le niveau dans le bac d'aspiration ✓ Diminuer la vitesse de la pompe. ✓ Amorcer les chambres hydrauliques ✓ Remplacer les pistons et les chemises.

b) Baisse de pression d'aspiration	1) Bas niveau d'aspiration 2) Capacité insuffisante de la pompe de suralimentation 3) Ecoulement lent de fluide de forage 4) Manomètre défectueux	✓ Augmenter le niveau dans le bac d'aspiration ✓ Eliminer les anomalies éventuelles de la pompe de suralimentation ✓ Eliminer les restrictions dans la conduite d'aspiration ✓ Le remplacé.
c) Chocs hydraulique	**1)** Aspiration défectueuse (existence d'air dans la conduite d'aspiration) **2)** Présence d'air ou des gaz dans la boue.	✓ Eliminer l'air de la conduite ✓ Ajuster l'amortisseur d'aspiration.
d) Vibration de la conduite de refoulement	**1)** Anomalie au niveau de l'amortisseur de pulsation **2)** Boulons desserrés **3)** Manque de support sous la conduite.	✓ Réparer ou recharger ou le remplacer ✓ Il faut resserrer les boulons ✓ La munir d'un support.
e) Cognement dans la partie mécanique	**1)** Rotation incorrecte de la pompe à boue. **2)** Piston-tige desserré. **3)** Rallonge de crosse desserrée. **4)** Roulements principaux usés. **5)** Axe de crosse usé.	✓ Vérifier le fonctionnement du mécanisme ✓ Vérifier et serrer ✓ Il faut les resserrer ✓ Changer. ✓ Régler les guides ou les remplacer.
f) haute température d'huile	**1)** Mauvais réglage de la crosse. **2)** Roulement mal ajusté. **3)** Diminution de la pression de refoulement de la pompe à l'huile.	✓ Vérifier et ajuster les jeux. ✓ Ajuster bien les bagues de roulement ; ✓ Réparer la pompe ou la remplacer.
g) Basse pression d'huile	**1)** Diminution de niveau d'huile. **2)** Lubrification contaminée. **3)** Fuite dans le circuit d'huile. **4)** Pompe à huile défectueuse **5)** Crépine d'aspiration colmatée. **6)** Manomètre défectueux.	✓ Vérifier et ajouter l'huile si nécessaire ; ✓ Changer l'huile ; ✓ Eliminer toutes les fuites ✓ réparer ou remplacer celle-ci ; ✓ Le nettoyer et changer l'huile ; ✓ remplacer.
h) Haute pression d'huile	**1)** Huile contaminé ; **2)** Colmatage des conduites ; **3)** Manomètre défectueux ; **4)** Filtres à l'huile bouchés.	✓ Changer l'huile ; ✓ Changer le cartouche d'huile ; ✓ Le remplacé ; ✓ Les nettoyé.

i) Chemises et garniture de pistons rayés	**1)** Excès de sable ou de matériaux étrangers dans la boue ; **2)** Course de piston déréglé.	✓ Dessabler, vérifier souvent ; ✓ Régler la course ; ✓ Réparer le système d'arrosage.
j) Chemise piquée	**1)** Corrosion excessive.	✓ Les nettoyé.
k) Usure décentrée de la chemise ou du piston	**1)** Manque d'alignement.	✓ Vérifier l'usure de la crosse, le blocage de la tige de piston.
l) Rayure de l'alésage d'une chemise	**1)** Piston usé ou abîmé ; **2)** Des pistons endommagés peuvent provoquer de telles rayures.	✓ Monter un nouveau piston et une chemise neuve.
m) Portée de chemise coupée ou faussée	**1)** Matériaux étrangers dans la boue ; **2)** Montage de vieux matériel sur du neuf.	✓ Vérifier l'usure de toutes les pièces ; ✓ Remplacer toutes les pièces usées.
n) Portée de clapet «sifflée»	**1)** présence de sable ou de rouille derrière le siège.	✓ Vérifier que la portée du clapet n'est pas percée ; ✓ Vérifier que le siège et la portée conique n'ont pas percées.

Tableau V.7. Pannes de la pompe à boue et leurs remèdes [23]

V.2.3. Opération de réparation des pompes à boue :

La réparation est un ensemble d'opérations ayant pour but le rétablissement du bon état, de l'aptitude au travail et ressources de l'équipement.

Elle comprend :

1. Les réparations menues ;
2. Les réparations moyennes ;
3. Les réparations complètes.

Réparation apportée à la pompe à boue

En fonction de la durée de vie et l'utilisation des mécanismes et pièces de la pompe d'une part, et le volume des travaux à réaliser par la pompe d'autre part ; ainsi que, selon la planification et l'organisation des opérations de réparations, on effectue sur les pompes à boue les travaux de réparation suivants :

1. **Réparation menue :**

Ces réparations sont effectuées sur le chantier de forage elles consistent à remplacer les pièces de courtes durées de vie telles que :

Joints d'étanchéité, filtres, chemises, pistons, serrage des écrous, etc.

Ces opérations doivent être effectuées en dehors du fonctionnement de la pompe à boue, c'est à- dire au moment du repos de la pompe.

2. **Réparation moyenne :**

Son volume moyen de travail est supérieur à celui de la réparation menue, se caractérisant par la dépose des organes défaillants de la pompe (bielle –manivelle, roulements, etc.….).

Le remplacement des pièces d'usure ou d'ensembles entières (unité de montage) dont la durée de service est égale à une période entre eux, réparations moyennes. Elle s'effectue à l'atelier.

3. **Réparation générale (Complète) :**

Se caractérisant par la dépose de tous les groupes et organes de la pompe, le remplacement ou la réparation des groupes défaillants ; la pompe est ensuite remontée, rodée et essayée. Elle se réalise dans un atelier de réparation centralisé.

V.3. Maintenance du treuil ENTP-OILWELL840E

V.3.1. La maintenance préventive quotidienne

Ce type de préventif 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.

La maintenance préventive quotidienne du treuil de forage ENTP-OILWELL 841E au niveau de la station TP127 :

1. Contrôle visuel et auditif.
2. Contrôle de l'alignement des bandes.
3. Contrôle de l'état des patins.
4. Contrôle de tout le système de freinage.
5. Contrôle du niveau d'huile des chaînes.
6. Contrôle du serrage des vis des patins.
7. Graissage général de tout le treuil.
8. Contrôle du système de maintien circonférentiel des bandes de frein.
9. Contrôle des fuites d'huile et de l'étanchéité des carters.
10. Contrôle du refroidissement du treuil par vérification du retour d'eau.
11. Contrôle des valves de décharge des embrayages.
12. Contrôle d'état des cabestans, fuites d'air ou d'huile, l'enroulement du câble sur le tambour et l'état de freinage.
13. Contrôle d'état de la clé automatique, tous les éléments tournants, l'état des pignons et des mâchoires et graissage général.

V.3.2. 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.

V.3.3. Maintenance préventive systématique

La maintenance préventive systématique consiste à intervenir à des périodes fixes (Selon un échéancier), ou sur une base d'unité d'usage du matériel pour détecter les anomalies, ou les usures prématurées et remédier avant qu'une panne se produise.

Maintenance préventive systématique de treuil de forage ENTP-OILWELL-840E

Périodicité des interventions	Opérations
Journalier	- Contrôle niveau d'huile. -Graissage des roulements (Manifold). -Graissage (water stuffing). -Graissage des pignons baladeur. -Contrôle gicleurs d'huile. -Graissage roulements poupées. -Vérification du niveau d'huile. -Graissage roulements palier principale. -Graissage roulements palier latéral. -Vérification pression d'huile.
Hebdomadaire	-Graissage roulement contreshaft. -Graissage des rouleaux guide-câble. -Graissage des roulements treuil de curage. -Graissage embrayage contreshaft. -Graissage des roulements pignons High&Low. -Graissage de clabot de frein auxiliaire. -Vérification pression d'air. -Vérification rotor seal.
Manœuvre	-Contrôle du réglage de l'equalizer.
Mensuel	-Vérification relais valves. -Vérification de la tension des chaines de transmission.
Déménagement	-Contrôle et réglage des alignements. -Vidange et nettoyage crépines d'aspiration. -Vérification de l'état de l'embrayage pneumatique à disque. -Contrôle de l'usure de la jante.
Trimestriel	-Vérification de la tension chaine de graissage. -Contrôle de la tension des chaines.
Semestriel	Vérification de la tension chaine de graissage. -Nettoyage crépine d'aspiration. -Vidange et rinçage carter d'huile. -Alimentation des cylindres a air. -Vérification de la pompe de graissage.
Annuel	-Démontage et nettoyage (air valve). -Contrôle l'usure des patins de frein. -Contrôle l'usure des patins d'embrayage. -Contrôle l'usure de tambour. -Contrôle des jeux de roulements. -Contrôle de l'usure des jantes. -Vérification l'état de la denture du pignon d'entrainement.

Tableau V.8.Maintenance préventive systématique de treuil

V.3.4. Maintenance conditionnelle

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

- ✓ Mesure des vibrations et des bruits.
- ✓ Les mesures de température.
- ✓ Mesure de pression dans les différents organes.
- ✓ Analyse des vibrations : Il se fait généralement dans les ateliers de réparation située à la base industrielle.
- ✓ Analyse des huiles.

V.4. Réparation et révision du treuil de forage ENTP-OILWELL840E

V.4.1. La technologie de réparation

Lorsqu'un équipement a été utilisé pendant une longue durée correspondant également 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 travail d'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 et instruction.
- ➢ Si l'on pouvait disposer de moyens de levage indispensable.
- ➢ Si les pièces de rechange sont en magasin, ou si elles peuvent être obtenues à temps.

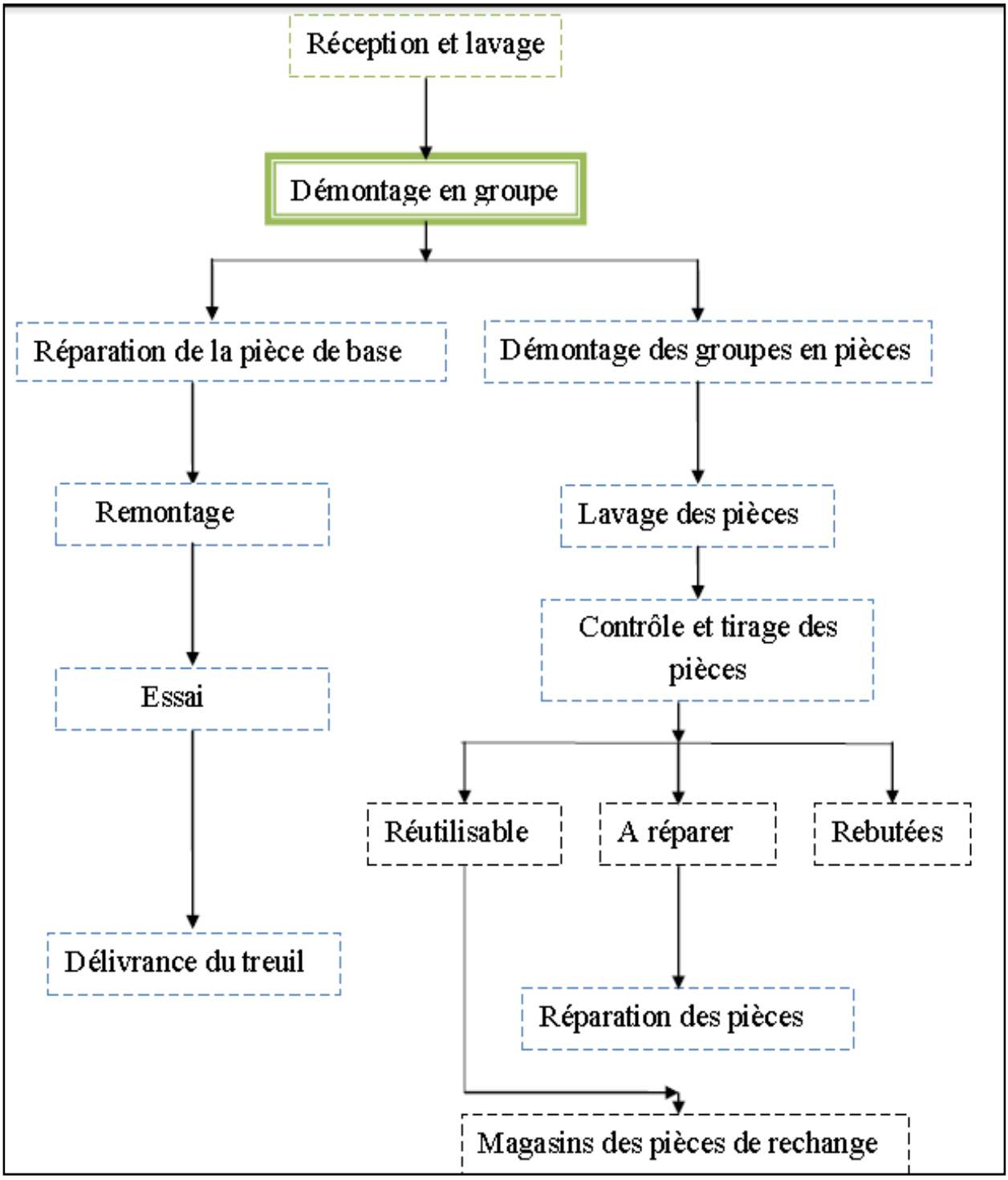


Figure V.14 : Schéma technologique de réparation d'un treuil.

V.4.2. Entretien général des freins

Les freins mécaniques exigent des vérifications périodiques quant à l'usure des garnitures et des jantes de frein. On peut procéder très facilement à une inspection visuelle en enlevant le couvercle avant du treuil. Une vérification et une bonne estimation de l'usure peuvent être effectuées.

Dans les conditions normales du treuil, une garniture de bonne qualité et bien installée, doit pouvoir assurer pendant le forage de cinq ou six puits de profondeur moyenne, un service de freinage correct et des jantes de frein entretenues doivent durer pendant une année de service ou plus.

Le remplacement des garnitures des freins et la vérification minutieuse de l'usure des jantes de freins sont habituellement réalisés pendant les temps d'arrêt est inévitable.
Pour cette opération, le carter avant du treuil est dégagé, et les axes du palonnier ou des attaches de bandes des freins sont sortis ainsi que ceux des extrémités opposées, et les bandes sont soulevées à la main. L'utilisation du cabestan où de tout autre moyen peuvent gauchir ou ovaliser les bandes de frein. Tandis que la nouvelle garniture remplace l'ancienne, on vérifie l'état d'usure des jantes de frein et on mesure la profondeur des gorges les plus profondes ; l'usure maximale tolérée au point de vue sécurité, sur les treuils modernes est d'environ 6mm (5/8″) ; et si l'usure est plus importante, l'ensemble doit être envoyé à l'atelier pour que de nouvelles jantes soient installées et que les anciennes soit rechargées.

Après que de nouvelles jantes et de nouvelles garnitures aient été installées, et les freins remontés, on doit procéder au réglage, en commençant par une faible tension sur les bandes de frein. Avant de manœuvrer à pleine charge, le moufle est descendu plusieurs fois à vide. En pressant sur le levier de frein et par effet de brûlage on adapte la nouvelle garniture aux nouvelles bandes. On vérifie à nouveau l'espace libre entre garniture et jante, levier relevé et réglé au serrage désiré.

L'usure, d'une jante augmente d'autant plus que son épaisseur diminuera et dissipera plus difficilement la chaleur.

Pour obtenir un refroidissement maximum des jantes de frein, on doit utiliser une pompe à eau indépendante. Lorsque les jantes de frein sont mises en circulation par des pompes différentes, on augmente la durée d'utilisation des jantes de frein.

Ces pompes à eau entraînée à partir du compound ne fournissent pas un bon refroidissement car elles tournent à faible régime lors de la descente des tiges dans le trou, soit à l'instant où les freins dégagent une grande quantité de chaleur.

La vie des jantes peut également être allongée par un bon entretien et une bonne lubrification de la timonerie des freins, des axes, du palonnier, des arrêts de sécurité et des rouleaux de bandes de frein ou des ressorts. Une bande de frein bien réglée maintiendra la garniture libre et tout contact ave la jante de frein lorsque le levier sera en position haute.

Dans les régions où l'eau de refroidissement contient une grande quantité de sels en solution, ceux-ci vont se déposer sur la surface inférieure de la jante de frein et diminuer considérablement l'évacuation de la chaleur, ce qui fait croître l'usure rapidement.
Lorsqu'on appuie sur le levier de frein, l'extrémité de la bande de frein reliée au palonnier touche normalement d'abord la jante et prend la plupart de la tension dans la bande par suite de l'effet d'auto-serrage, c'est pourquoi les garnitures situées du côté du palonnier présentent toujours plus d'usure que celles du côté timonerie de frein.

V.4.3. Entretien de frein auxiliaire

Périodicité des interventions	**Description des opérations**
Journalier	-Contrôle de circuits d'eau de refroidissement. -Graissage des roulements.
Hebdomadaire	Graissage de l'embrayage a crabot.
Mensuel	Contrôle de l'état du crabot
Déménagement	Nettoyage du drain du reniflard d'eau. Contrôle de l'alignement.
Trimestriel	Vérification de l'entrefer. Contrôle de des jeux de roulements

Tableau V.9. Entretien de frein auxiliaire

V.4.4. Entretien de CABESTANS

Périodicité des interventions	**Description des opérations**
Journalier	Purge du filtre à air. Vérification du huileur. Contrôle de niveau d'huile du moteur. S'assurer du bon encrage du câble.
Mensuel	Contrôle du système de freinage. Inspection de l'état du câble. Contrôle de niveau d'huile de la boite. Contrôle de l'état d'huile.
Déménagement	Contrôle vanne de commande
Annuel	Changement de l'huile moteur et boite. Contrôle des boulons de fixation. Contrôle de l'état des poulies.
03 Années	Changement de la bonde de frein. Changement du câble si nécessaire.

Tableau V.10. Entretien de CABESTANS

V.4.5. Entretien de moteur électrique EMD D79GB

Périodicité des interventions	**Description des opérations**
Journée	Contrôle visuel de l'état extérieur.
1400heurs	Vérification de la résistance d'isolation.
2000heurs	Vérification de la tension du ressort du charbon. Contrôle des charbons et des portes charbons. Contrôle des connections des câbles.
4000heurs	Changement des charbons.

Tableau V.11. Entretien de moteur électrique EMD D79GB

V.4.6. Pannes et remèdes

PROBLEMES	**CAUSES POSSIBLES**	**REMEDES**
1- pression d'air insuffisante	- fuite d'air au niveau des conduites - présence des impuretés - le régulateur d'air n'est pas ajusté convenablement - le régulateur d'air est inopérant - le régulateur d'air est colmaté	-détecter ces fuites et les éliminer -nettoyer le filtre d'air -régler le régulateur d'air -réparer ou bien remplacer celui-ci -nettoyer le filtre
2-présence d'eau ou de tartre dans les conduites d'air	- le filtre à air n'est probablement pas entretenu - le niveau du fluide est au dessous du niveau prescrit	- nettoyer la conduite -le chargement de l'appareil
3-la transmission ne s'engage pas ou ne se débraye pas	- fuites au niveau du cylindre de commande de transmission -clapet de retenu ne fonctionne pas - le régulateur d'air de transmission n'est pas réglée - le régulateur de la transmission ne fonctionne pas - la commande d'air ne fonctionne pas	-réparation du cylindre ou le remplacer; - remplacement du clapet -réglage du régulateur d'air - réparation ou remplacement du régulateur de la transmission - réparation ou remplacement de la conduite d'air

4- l'embrayage de treuil ne s'engage pas	- insuffisance de pression d'alimentation pour l'embrayage -fuite au niveau de chambre gonflable - les patins de friction de l'embrayage est usé -valve de commande d'air ne fonctionne pas	-voir remède du problème «1» -Remplacement de la chambre -remplacement des patins -réparation ou remplacement de la valve
5- l'embrayage ne se débraye pas	-fuite au diaphragme de la soupape à échappement rapide - la valve de commande d'air ne fonctionne pas	- réparation ou remplacement de soupape - réparation ou remplacement de la valve
6- le frein du tambour est serré (frein à bande)	- mauvais réglage de la bande de freinage - ressort de rappel brisé	- réglage de la bande -remplacement du ressort
7- le frein principal patine	- mauvais réglage du frein - usure excessive des jantes de frein - existence de la graisse sur les jantes de frein	- réglage du frein - remplacement des jantes - nettoyage des surfaces de frein
8- surchauffe du Frein électromagnétique	- insuffisance d'eau de refroidissement - conduite d'eau colmatée	- assurer le débit et la pression prédéterminés purger ou nettoyer la conduite
9- basse pression d'huile	- crépine d'aspiration d'huile encrassée - filtre à l'huile colmaté - la chaîne d'entraînement de la pompe à l'huile est détendue ou défectueuse - bas niveau d'huile - indicateur de pression d'huile défectueuse	- nettoyage de la crépine - nettoyage ou bien remplacement de filtre à l'huile - remplacement de la chaîne - ajouter de l'huile en mettant le treuil en arrêt - réparation ou remplacement de l'indicateur
10- huile de transmission Contaminée (présence d'eau ou impureté)	- couvercle mal installé	- vidange, rincé puis remplir le carter avec l'huile neuve

Tableau V.12. Pannes et remèdes

V.5. Calcule de vérification

V.5.1. Critère de choix d'un appareil de forage

Le choix d'un appareil de forage est basé sur les valeurs des capacités et puissances requises par le programme de forage.

Un appareil trop lourd entraîne un surcoût en consommations et en frais de location journalière, tandis qu'un appareil sous – dimensionner conduit à accroître les risques et à limiter les possibilités de traction.

Chaque appareil de forage est donc conçu pour forer dans une gamme de Profondeurs donnée. Il s'agit alors de définir en fonction des valeurs calculées les capacités et les puissances requises des principaux équipements en tenant compte de coefficients de sécurité et des marges de traction préalablement choisi [21].

V.5.2. Choix du type de câble de forage

V.5.2.1. Calcul de la charge maximale au crochet [25]

A partir du programme de forage ci-dessous on détermine :

- **Pc :** Le poids de la colonne de tubage la plus lourde.
- **Pg** : Le poids de la garniture de forage la plus lourde.

On donne : Poids moufle et top drive et accessoires : 20 tonnes
Mouflage en 10 brins.

La charge à manipuler est exprimée par la formule suivante :

$$P = m.L.\cos i.ff$$

Avec:

P : Le poids de la garniture ou casing (**103daN**);
m : La masse linéaire de la garniture ou casing (**kg/m**);
L : Longueur mesurée de la garniture ou casing (**m**);
i : L'angle d'inclinaison (°);
ff : Le facteur de flottabilité (=1-D boue / D acier).

V.5.2.2. Application au chantier de forage « ENTP-puits WTP1 »

Paramètre chaque phase de puits WTP1 [20] :

PHASE PROF.	DENSITE DE LA BOUE	GARNITURE DE FORAGE	TUBAGE
phase 26" 511m	d = 1.05	- Outil dusé en 3 x 20/32e, - 33 m DC 9"1/2 x 3", - 150 m DC 8" x 3", - 60 m HWDP 5", 50 #, range 2, - 268 m DP 5, 19,50 #	18"5/8, 87.5#, K55
phase 16" 2817 m	d = 1,30	Outil dusé en 3 x 16/32e, - 33 m DC 9"1/2 x 3", - 150 m DC 8" x 3", - 60 m HWDP 5", 50 # , range 2, 2574m DP 5, 19,50 #	13"3/8, 68#, N80
phase 12"1/4 3397 m	d = 2.05,	Outil dusé en 8 x 12/32e, - 33 m DC 9"1/2 x 3", - 150 m DC 8" x 3", - 60 m HWDP 5", range 2, (Dint = 3"), - 3154 m DP 5", 19,50 # Class P	9"5/8, 47#, P110
phase 8"1/2 5325 m	d = 1.47	Outil dusé en 6 x 14/32e, - 200 m DC 6"1/2 x 2.8", - 60 m HWDP 5", range 2, (Dint = 3"), - 5065 m DP 5", 19,50# Class P	7", 29#, P110
phase 6" 5838m	d = 1.47,	Outil dusé en 8 x 12/32e, - 230 m DC 4"3/4 x 2.25", - 60 m HWDP 3"1/2, - 5548 m DP 3"1/2, 13,50 #- G105	Liner 4"1/2, 13.5#, P110

Outil dusé en 8 x 12/32e	*Outil nombre de duse (trous) 8, daimètre de dusé 12/32e*
S/DC 4"3/4 x2.25",	*Petit messetig*
DC 8"x3",	*Messetig daimeter extrérieur 8" daimètre intérieur 3"*
HWDP 3"1/2,	*Tige toured diameter extérieur 3"1/2*
DP	*Tige de forage*
50 #	*Poids linéaire du tubage*
P110	*Nuances d'acier.*

Tableau V.13. Paramètre chaque phase de puits WTP1 [20]

Résultats de Calcul de la charge maximale au crochet :

La phase	Poids garniture (tf)	Poids casing (tf)
26"	50	44
16"	110	238
12"$^{1/4}$	201	112
8"$^{1/2}$	163	171
6"	114	103

Tableau V.14. Résultats de Calcul de la charge maximale au crochet.

Interprétation des résultats :

- La garniture la plus lourde pour faire ce forage à WTP1 est celle de la phase **12"1/4**, elle pèse **201T.** Ceci nous permet d'évaluer la puissance minimale du treuil requis pour la réalisation de ce forage.
- La charge la plus lourde à manipuler lors de ce forage est celle du casing **16"**, elle pèse **238 T.** Ceci nous permet d'évaluer les capacités minimales du moufle mobile et crochet, du moufle fixe et du mât requis pour la réalisation de ce forage.

V.5.3. Choix du moufle

Pour le calcul de la capacité de moufle on retient une réserve de traction de 50 tonnes et un coefficient de sécurité compris entre 1,2 et 1,5 (1,2<S<1,5).

Choix du moufle mobile et crochet [22]:

La capacité de levage du moufle mobile est exprimée par la formule suivante :

$$C_{mm} = (F + P_0 + M_t) * S$$

Avec:

C_{mm} : Capacité de levage du moufle mobile (Tonnes)
F : Charge maximale (garniture de forage ou colonne du tubage) (Tonnes)
P_0 : Poids du moufle et accessoire ; M_t : Marge de sécurité ; S : Coefficient de sécurité.

Dans notre cas la capacité du mouflage se calcul, on prend comme charge maximale celle de la colonne de tubage 9"5/8.
On a : F=238T , P_0 =20 T , M_t=50 T , S= 1,20
Application numérique: C_{mm}= (238+20+50) * 1,20 =370 T.

Choix du moufle fixe [22] :

La capacité du moufle fixe est exprimée par la formule suivante :

$$C_{mf} = ((N+2)/N)*C_{mm}$$

Avec :

C_{mf} : Capacité du moufle fixe ; N : Nombre de brin N=10
Application numérique : C_{mf} = ((10+2)/10)*370=444 T.

V.5.4. Choix du treuil [22]:

Un treuil de forage est caractérisé essentiellement :

- Par sa gamme de vitesse.
- L'effort maximum pouvant exercer sur le brin menant du câble.

V.5.4.1. Calcul de la Puissance de levage :

La charge qui peut être soulevée au crochet, est donnée par la formule suivante :

$$P_c = (1000*F*V_c)/75$$

Avec :

Pc : Puissance au crochet (ch)
F : Poids total au crochet (T)
La charge la plus lourde cas de garniture F = 201+20=221T.
La charge la plus lourde cas de tubage F =238+20 =258T.
Vc : Vitesse de crochet (m).
Cas de garniture: V_C = 0.5 m/s.
Cas de tubage: V_C = 0.3 m/s.

- **Cas de garniture :** P_C = (1000*221*0.5)/75 = **1473 ch.**
- **Cas de tubage:** P_C = (1000*258*0.3)/75 = **1032ch.**

V.5.4.2. Puissance entrée treuil:

La puissance entrée de treuil est donnée par la formule suivante :

$$P_t = P_c/ (\eta_m * \eta_t)$$

Avec :

Pt: Puissance entrée treuil (HP), Pc: Puissance de levage (HP)
η_m : Rendement de moufle = 0,811
η_t : Rendement de treuil = $(0,97)_3$*0,98=0,8944

Application numérique : Pt =1474 / (0,811*0,8944)=**2030ch.**

Interprétation des résultats : Pour assurer le forage de ce puits il nous faut un treuil de forage 2000HP.

Le travail présenté dans ce mémoire nous a permis d'approfondir nos connaissances dans les domaines des équipements mécaniques de forage en générale et sur des organes essentiels dans ce domaine qui sont les systèmes de levage et pompage.

Les pompes et treuil OILWELL 840E de forage au niveau de la station ENTP-TP127 sont les consommateurs principaux de la puissance consommée par l'installation de forage, ils fonctionnent dans des conditions difficiles d'après l'étude que nous avons effectuée, nous pouvons retenir les conclusions suivantes :

- ✓ Au bout d'une installation de la pompe et treuil ENTP-OILWELL 840E, nous a permit de connaître les différents éléments de construction, avec leur fonctionnement, et différents circuits de graissage, refroidissement et sécurité.

- ✓ ***Pour la partie Fiabilité :***

Le travail décrit dans cette partie nous a permis de mettre en place les types d'analyses adéquates pour la bonne gestion de la station ENTP-TP 127 (Champ de Hassi Messaoud) . Le choix de notre étude s'est porté sur le treuil de type ENTP-OILWELL 840E 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, grâce à la détermination des paramètres de la dégradation des équipements sélectionnés.

Nous avons relevé quatre facteurs essentiels de la fiabilité.

- ✓ Le taux de défaillance ; le taux de défaillance est une fonction du temps dans chaque phase de la vie de l'équipement.
- ✓ 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.
- ✓ Les défaillances ont des origines particulières et différentes.
- ✓ 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 levage sont les plus sensibles et influent directement sur les coûts de la maintenance et sur la production en générale dans les stations de forage.

- ***Pour la partie Maintenance :***

Au cour de l'étude de la maintenance effectuée nous avons constaté que pour assurer une grande durée de vie des installations mécaniques il faut suivre deux voies de maintenance :

1. Maintenance préventive : qui consiste à suivre les opérations d'entretien périodiques (journalières, hebdomadaires, mensuelles, semestrielles).

2. Maintenance corrective : qui se présente comme dépannage, réparation, révision.

En termes de perspective, nous envisageons la détermination des paramètres de fiabilité et la 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.

Enfin, nous espérons que l'étude effectuée présente un intérêt pour l'entreprise, et apporte un éclairage aux étudiants qui auront à préparer leur projet de fin d'études ultérieurement.

Ouvrages et articles :

[1] A. AISSANI,
Modèles Stochastiques De La Théorie De Fiabilité,
OPU ; ALGER. 1992.

[2] J.P. Bernhard.
Historique et principe du forage Tom I ;
Edition, A.P.I. 1955.

[3] A. BLEND.
Cours de forage équipement de forage tome 1- planches,
Édition technip.

[4] R. BOULASSEL, A. TAZDAIT ;
Etude Et Analyse Statistique De La Fiabilité Dans La Maintenance Aéronautique,
P.F.E Ingéniorat RO ; DPT MATHEMATIQUE, UNI VERSITE DE BLIDA .1996.

[5] J. CARRE ;
Théorie du freinage ;
Techniques de l'ingénieur, B 5570.

[6] A. ILSKI, V. KASSIANOV, V.POROCHINE;
Machines mécanismes et installations de forage ;
Edition, Ecole supérieur Moscou.

[7] B. KOHLER, E. SZTRYGLER ;
Chaînes mécaniques ;
Techniques de l'ingénieur, B 5650.

[8] Z. KLIM ;
Fiabilité et Maintenance Des Systèmes Mécaniques,
Ecole Polytechnique de Montréal,1995.

[9] P. LYONNET ;
La Maintenance Mathématique et Méthodes ;
Lavoisier Paris. 1986.

[10] J. NOUGAROU ;
Le forage rotary; planches

[11] J.P. NGUYEN ;
Le forage ;
Institut Français de Pétrole (1993).

[12] A. PAGES, M. GOUDRAN ;
Fiabilité des Systèmes,
Preface de Maurice Marien.

[13] J. Paul NGUYEN ; G.GABOLDE;
« *Le forage d'aujour d'hui ; 2eme partie* »,
Publications de l'institue français du pétrole, édition 1989.

[14] C. Rachid ;
« La maintenance industrielle » ;
MENTOURI de Constantine, 2003/2004.

[15] I. RABAR & Y.KACI;
« Planification De La Maintenance Du Réapprovisionnement En Matériels Roulant De Servitude Existant A L'Aéroport Houari Boumediene » ;
P.F.E Ingéniorat RO ; USTHB.2003.

[16] R.REDOUANE, A.BOUCHELIG ;
« *Etude sur la maintenance des systèmes mécanique d'une machine de forage » ;*
Mémoire de fin des études Du diplôme de Master Académique, Msila 2017.

[17] I. TCHAIOUN ;
« *Appareil de levage : Application au cours » ;*
Institut national des hydrocarbures et de la chimie ; Boumerdes (1985).

[18] P. TOUMANIAN ;
« *Sécurité technique dans l'industrie pétrolière » ;*
Institut national des hydrocarbures et de la chimie ; Boumerdes.

Documents de la SONATRACH :

[19] Division forage SONATRACH , TOM 1, 2,3,4 division forage SONATRACH
[20] Programme de forage puits WTP1 ; Manuel d'utilisation ENTP
[21] Document IFP France –Institue de pétrole
[22] Livre well control, ENTP-SONATRACH
[23] Document chantier TP127 ENTP-SONATRAH
[24] Manuel d'utilisation du treuil OILWELL 840E ".- OILWELL - (1987).
[25] " Forage rotary: Le treuil "- American Association of Oilwell Drilling Contractors - (1971).
[26] "Présentation de L'ENTP" Document de SH-ENTP, 2017.
[27] Les revues (Documents ENTP-SONATRACH) :
N 87 Février 2017
N 89 Mars 2018.