

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université M'Hamed Bougara-Boumerdes
Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie



Département Transport et Equipements des Hydrocarbures

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
En vue de l'obtention du diplôme de
Master

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Hydrocarbures

Spécialité : Génie mécanique : Mécanique des chantiers pétroliers

Présenté par :

ABERKANE Abdelhadi

BENREDJEM Ahmed

THEME

**Contribution à l'amélioration de la politique de maintenance
d'un chantier de forage par l'optimisation des coûts de
défaillance du TOP DRIVE CANRIG 8050 AC-712**

Soutenu publiquement le 13/06/2024

Devant le jury :

	Nom et Prénom	Grade	Université/Affiliation
Président de jury	GACEB M.	Professeur	UMBB
Examineur	BLOUL B.	MCA	UMBB
Examineur	HARHOUT R.	MAA	UMBB
Encadreur	HALIMI Dj.	MCB	UMBB

Remerciements

Avant tout, nous remercions Dieu le Tout-Puissant de nous avoir accordé la volonté, la patience et la force pendant toutes ces années d'étude, et grâce à Lui, nous avons pu réaliser ce travail.

Nous tenons à exprimer notre remerciement et notre gratitude à notre encadreur : Mr. Halimi Djamal, pour la confiance qu'il nous a accordée pour la direction de ce travail, et qui a toujours été à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire. Ainsi, nos remerciements vont à tous les travailleurs de l'ENF 60 et l'ENF 61, et plus particulièrement aux ingénieurs et aux techniciens de l'atelier de maintenance Catshop.

Nos remerciements au département Transport et équipements des hydrocarbures de l'université de Boumerdes et à tous les enseignants qui nous enseignés durant les années du cursus universitaire.

Nous adressons également nos remerciements aux membres du jury pour nous avoir accordé l'honneur d'examiner et de valoriser ce travail.

Enfin, nous tenons à remercier nos familles et toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Dédicace

Je dédie ce travail à :

À ma très cher mère (M. A).

À mon père (Djemai), mes frères (Moussa et Alaa) et toute ma famille qui m'a donné le courage.

À tous mes camarades de groupe MACP 19 promotion 2019.

À la fin, je dédie chaleureusement ce mémoire à tous mes amis.

ABERKANE Abdelhadi

Dédicace

Je dédie ce travail à :

À ma très cher mère (M. N).

À mon père (Omar) et toute ma famille.

À tous mes camarades de groupe MACP 19 promotion 2019.

À la fin, je dédie chaleureusement ce mémoire à tous mes amis.

BENREDJEM Ahmed

Résumé

Les entreprises utilisent les nouvelles technologies pour améliorer les équipements de forage en utilisant des appareils très modernes et plus fiables comme le système Top Drive entré en service à l'ENAFOR.

L'objectif de cette étude est de proposer des solutions pour améliorer la politique de maintenance de Top Drives à l'ENAFOR et l'optimisation du coût de défaillance. Pour cela, nous avons mené une étude analytique de la fiabilité des éléments du Top Drive en fonction de l'utilisation des lois de fiabilité, notamment la loi de Weibull, et un outil d'aide à la maintenance PARETO, en exploitant l'historique des pannes inclus dans le système SAP donnés par l'entreprise, nous identifions les éléments les plus importants et analysons les coûts de maintenance.

Cette étude nous a permis de trouver des résultats qui nous ont permis de proposer une solution préventive pour améliorer les coûts de défaillance de cet appareil.

ملخص

تستخدم الشركات التقنيات الجديدة لتحسين معدات الحفر باستخدام أجهزة حديثة وأكثر موثوقية مثل "نظام محرك العلوي" الذي دخل الخدمة في شركة "Enafor".

هدف هذه الدراسة هو اقتراح حلول لتحسين سياسة صيانة أنظمة "محرك العلوي" في شركة "Enafor" وتحسين تكلفة الأعطال. لتحقيق ذلك، قمنا بإجراء دراسة تحليلية لموثوقية عناصر "نظام محرك العلوي" باستخدام قوانين الموثوقية خاصة قانون "Weibull" وأداة مساعدة للصيانة "PARETO"، من خلال استغلال تاريخ الأعطال المدرج في نظام "SAP" المقدم من الشركة، قمنا بتحديد العناصر الأكثر تضرراً من حيث عدم إتاحتها وتحليل تكاليف الصيانة.

أتاحت لنا هذه الدراسة الوصول إلى نتائج مكنتنا من اقتراح حل وقائي لتحسين تكاليف الأعطال لهذا الجهاز.

Abstract

Companies use new technologies to improve drilling equipment by utilizing very modern and more reliable devices, such as the Top Drive system, which has been put into service at ENAFOR.

The objective of this study is to propose solutions to improve the maintenance policy of Top Drives at ENAFOR and optimize the cost of failures. To achieve this, we conducted an analytical study of the reliability of Top Drive components using reliability laws, particularly the Weibull law, and a maintenance support tool "PARETO", by leveraging the fault history included in the SAP system provided by the company, we identify the most penalizing elements in terms of unavailability and analyze maintenance costs.

This study enabled us to find results that allowed us to propose a preventive solution to improve the failure costs of this device.

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

TABLE DE MATIÈRE

INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
Chapitre I : Présentation de l'entreprise et généralités sur les appareils de forage	3
I.1 PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE	4
I.1.1 Introduction	4
I.1.2 Historique de l'entreprise	4
I.1.3 Fiche technique de l'entreprise.....	4
I.1.4 Missions de l'entreprise.....	5
I.1.5 Vision de l'entreprise.....	5
I.1.6 Les clients et partenaires de l'entreprise.....	5
I.1.7 Maintenance pétrolière	5
I.1.8 Système de management QHSE	6
I.1.9 Organigramme de l'ENAFOR.....	8
I.1.10 Situation du champ de Hassi Messaoud.....	9
I.2 GÉNÉRALITÉS SUR LES APPAREILS DE FORAGE.....	11
I.2.1 Introduction	11
I.2.2 Classification des appareils de forage	11
I.2.3 Description d'un appareil de forage.....	12
I.2.4 Conclusion :.....	24
Chapitre II : Étude technologique d'un top drive	25
II.1 Introduction	26
II.2 Définition Top drive	27
II.3 Historique	27
II.4 Le rôle du top drive	27
II.5 Avantages	28
II.6 Inconvénients	28
II.7 Différents types de Top Drive	28
II.8 Désignation de top drive du Modèle (8050AC-712).....	30
II.9 Principe de fonctionnement.....	30
II.9.1 La fonction pompage	30
II.9.2 La fonction de rotation.....	31
II.9.3 La fonction remontée et décente	31
II.9.4 La fonction manutention	31

II.10	Transmission de mouvement :.....	31
II.11	Caractéristiques de Top Drive CANRIG 8050 AC-712 : [10]	32
II.12	Description d'un Top drive	32
II.12.1	Partie hydraulique	32
II.12.2	Partie électrique	34
II.12.3	Partie mécanique.....	34
II.13	Conclusion.....	43
Chapitre III : Notions de sûreté de fonctionnement et les outils d'aide de maintenance.....		44
III.1	Introduction	45
III.2	GÉNÉRALITÉS SUR LA MAINTENANCE.....	45
III.2.1	Définition de la maintenance	45
III.2.2	Rôle de la maintenance	45
III.2.3	Objectifs de la maintenance	46
III.2.4	Politique de maintenance	47
III.2.5	Les coûts liés à la maintenance	50
III.2.6	Les activités de la maintenance.....	51
III.2.7	Les temps de la maintenance	53
III.2.8	Les niveaux de maintenance (<i>norme FD X 60-000</i>)	54
III.3	LES NOTIONS DE FIABILITÉ, MAINTENABILITÉ ET DISPONIBILITÉ (FMD) 55	
III.3.1	Notion de Fiabilité	55
III.3.2	Modèles de fiabilité.....	56
III.3.3	Notion de Maintenabilité	59
III.3.4	Notion de disponibilité.....	60
III.4	OUTILS D'AIDES DE MAINTENANCE.....	60
III.4.1	Diagramme des causes et effets (Diagramme d'Ishikawa).....	60
III.4.2	Diagramme de PARETO ou méthode ABC	62
III.5	Conclusion.....	64
Chapitre IV : Amélioration de la politique de maintenance de Top Drive CANRIG 8050 AC-712 à l'aide de la loi PARETO		65
IV.1	Introduction	66
IV.2	Canrig 8050 Ac-712	66
IV.3	Détermination des éléments les plus pénalisants dans le critère d'indisponibilité	66
IV.3.1	Décomposition du Top Drive en plusieurs sous-ensembles.....	66
IV.3.2	Les éléments avec un taux d'indisponibilité.....	67

IV.3.3	Interprétation du graphe de PARETO	69
IV.4	Etude de la fiabilité du Top Drives.....	69
IV.4.1	Application du model de Weibull	69
IV.4.2	Calcul de la fiabilité $R(t)$	74
IV.4.3	Détermination de nombre d'intervention (N_i)	74
IV.4.4	Détermination de temps d'arrêt (T_a)	75
IV.5	Analyse des coûts de maintenance	75
IV.5.1	Coûts directs de maintenance (C_{mi})	75
IV.5.2	Coût de perte de production (C_{pp}).....	76
IV.5.3	Coût de défaillance (C_d).....	76
IV.6	Proposition de nouvelle politique de maintenance pour le Top Drive CANRIG 8050 AC-712	78
IV.7	Conclusion.....	78
CONCLUSION GÉNÉRALE.....		80
Références.....		81

LISTE DES FIGURES

Figure I.1. Situation géographique du champ de HMD.....	9
Figure I.2. Appareil de forage (ENF 61).....	11
Figure I.3. Appareil de forage.....	12
Figure I.4. Schéma cinématique de système de levage.....	13
Figure I.5. Le Treuil de forage.....	15
Figure I.6. Moufle mobile.....	15
Figure I.7. Moufle fixe.....	15
Figure I.8. L' élévateur.....	16
Figure I.9. Une cale.....	16
Figure I.10. Les bras.....	16
Figure I.11. Collier de sécurité.....	16
Figure I.12. Clé de serrage.....	16
Figure I.13. Table de rotation.....	17
Figure I.14. kelly.....	18
Figure I.15. Différents types de Master kelly bushing.....	18
Figure I.16. Carré d'entraînement.....	19
Figure I.17. Kelly spinner.....	19
Figure I.18. Top Drive.....	20
Figure I.19. Pompe à boue.....	21
Figure I.20. Disposition BOP.....	22
Figure I.21. Schéma d'assemblage du fond de trou (BHA).....	23
Figure I.22. Les outils de forage.....	24
Figure II.1. Top Drive (Canrig).....	26
Figure II.2. Le modèle de Top Dive.....	30
Figure II.3. Schéma d'installation hydraulique.....	33
Figure II.4. Coupe verticale du Top drive.....	34
Figure II.5. Le bonnet.....	35
Figure II.6. Boîte d'engrenage.....	36
Figure II.7. Ensemble (Corps principal et Spindle).....	36
Figure II.8. Ensemble (arbre principale et spindle).....	37
Figure II.9. Le spindle.....	37

Figure II.10. Générateur de couple (Torque boost)	38
Figure II.11. Torque boost dans l’atelier “Catshop”	39
Figure II.12. L’ensemble Manifold Rotary	40
Figure II.13. Vue de dessous du Rotary Manifold.....	40
Figure II.14. Plaque de distribution (Goofy Plate)	41
Figure II.15. Ensemble (clé de secours et mâchoire).....	42
Figure II.16. Vanne de contrôle	43
Figure III.1. Les différentes strategies de maintenance.....	47
Figure III.2. Politique de maintenance	50
Figure III.3. Temps caractéristiques lors d'une intervention	53
Figure III.4. Axe de l’unité d’usage.....	57
Figure III.5. Aspect du papier de Weibull	58
Figure III.6. Courbe de PARETO	63
Figure IV.1. Taux d’indisponibilité en fonction du taux d’éléments	68
Figure IV.2. Papier de WEIBULL en logiciel Excel (S5).....	70
Figure IV.3. Papier de WEIBULL en logiciel Excel (S2).....	72
Figure IV.4. Papier de WEIBULL en logiciel Excel (S1).....	73
Figure IV.5. Evolution des coûts en fonction de temps d'arrêt	77

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II-1. Caractéristiques de TOP DRIVE CANRIG 8050 AC-712	32
Tableau III-1. Personnel d'intervention et les moyens de chaque niveau de maintenance.....	54
Tableau IV-1. Historique des éléments avec un taux d’indisponibilité pour les Top Dives	67
Tableau IV-2. Classement des éléments en matière d’indisponibilité (Analyse ABC)	68
Tableau IV-3. Étude de modèle de Weibull (Gear Box)	70
Tableau IV-4. Étude de modèle de Weibull (Rotary Manifold).....	71
Tableau IV-5. Étude de modèle de Weibull (Back up Wrench)	73
Tableau IV-6. Les couts de maintenance des éléments pénalisants	75
Tableau IV-7. Analyse des coûts liés à la maintenance	76

NOMENCLATURE

Symbole	Designation
SAP	Système application progiciel.
ENAFOR	L'Entreprise Nationale de Forage.
AFNOR	Association Française de Normalisation.
DTM	(Démontage, Transport, Montage).
IBOP	Internal Blow Out Preventer.
LWCV	(Lower Well Control Valve) Vanne de contrôle de puits inférieure.
UWCV	(Upper Well Control Valve) Vanne de contrôle de puits supérieure.
HPU	L'unité de puissance hydraulique.
MTBF	La moyenne des temps de bon fonctionnement.
MTTR	La moyenne des temps techniques de réparation.
MTTA	La moyenne des temps techniques d'arrêt.
TBF	Temps de bon fonctionnement.
TTR	(Time To Repair) Temps de réparation.
R(t)	Fonction de fiabilité.
F(t)	Fonction de défaillance.
$\lambda(t)$	Taux de défaillance.
$\mu(t)$	Taux de réparation.
M(t)	Fonction de maintenabilité.
D	Disponibilité.
γ	Paramètre de position.
β	Paramètre de forme.
η	Paramètre d'échelle.
N	La taille de l'échantillon.
i	Nombre des rangs.
K	Nombre de classes.
T	Échéancier.
T _a	Temps d'arrêt.
N _i	Nombre d'intervention.
C _m	Coût de maintenance.
C _{pp}	Coût de perte de production.
C _d	Coût de défaillance.
r	Le ratio économique.
C' _d	Coût de défaillance de la maintenance actuelle d'entreprise.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'Algérie a connu une évolution significative dans le domaine des hydrocarbures, devenant l'un des principaux acteurs mondiaux de l'industrie pétrolière et gazière. Depuis les premiers puits de pétrole forés dans les années 1950, l'Algérie a continué à investir dans des technologies de forage de pointe, permettant d'explorer et d'exploiter des gisements situés à des profondeurs et dans des conditions de plus en plus complexes. Des entreprises nationales et internationales collaborent dans le développement de techniques de forage, améliorant ainsi le taux de récupération des hydrocarbures.

Dans l'industrie pétrolière, le forage des puits de pétrole et de gaz est parmi les tâches les plus ardues, demandant une main-d'œuvre importante et nécessitant d'importants investissements en capitaux. Avec l'augmentation de la profondeur de forage, le volume des travaux de forage ainsi que la consommation des pièces d'équipement, d'outils et de matériaux augmentent considérablement.

Le Top Drive est un équipement de forage récemment introduit dans les chantiers de forage en Algérie, et qui remplace plusieurs équipements tels que le crochet, la tête d'injection, la table de rotation, et la tige carrée, cet appareil a également montré de bonnes performances, dont l'avantage principal est la réduction du temps des opérations de forage, et donc une meilleure fiabilité.

Les défaillances du TOP Drive arrêtent complètement les opérations de forage, dans des conditions difficiles et temps d'arrêt limitée et précis, et son intervention et sa réparation est également problématique, et très inconfortable du fait de sa difficile accessibilité : travail en hauteur, circuits hydrauliques et électriques pénibles d'accès.

Pour cela, notre travail consiste à déterminer les sous-ensembles les plus pénalisant des cinq Top Drive de type CANRIG, en se basant sur l'historique de pannes élaboré au sein de l'entreprise par le système SAP, et ceci pour les deux dernières années depuis 2022 jusqu'à 2024 et on détermine le temps d'arrêt toléré.

Notre objectif est de fixer un échéancier plus déterminé pour améliorer la disponibilité de Top drive et réduire le coût de défaillance.

Ce mémoire comporte quatre chapitres dont le premier mentionne une présentation générale d'entreprise et généralités sur l'appareil de forage et ses organes essentiels.

Le second chapitre présente une description générale d'un Top Drive, son principe de fonctionnement et ses avantages, de plus une étude technologique d'un Top Drive de model **CANRIG 8050 AC-712**, on explique ses sous-ensembles.

Le chapitre 3 s'intéresse aux notions de fiabilité, maintenabilité, disponibilité et les outils d'aides de maintenance, en outre l'analyse des couts en maintenance.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le dernier chapitre vise l'amélioration de la politique de maintenance de Top Drive **CANRIG 8050 AC-712** à l'aide de **loi PARETO** (ou loi ABC), détermination du temps d'arrêt toléré, et donne proposition préalable concernant sa politique de maintenance pour augmenter sa disponibilité.

Chapitre I

Présentation de l'entreprise et généralités
sur les appareils de forage

I.1 PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE

I.1.1 Introduction

L'Entreprise Nationale de Forage (ENAFOR) assure le forage de puits, ainsi que l'exploitation de gisements d'hydrocarbures et/ou de nappes d'eau et les opérations d'entretien des puits producteurs de Pétrole ou de gaz (Work-Over), pour le compte des clients nationaux et internationaux.

Elle a pour mission de participer activement à l'effort déployé par le groupe SONATRACH pour la reconstitution des réserves hydrocarbures et énergétiques en général dont elle a mission de l'état et au programme du développement qu'il soit au niveau national ou international.

I.1.2 Historique de l'entreprise

En **1966**, **ENAFOR** est créée sous la dénomination « **ALFOR** », dans le cadre Plan de développement de **SONATRACH**, en tant que joint-venture entre **SONATRACH** (avec **51%** des parts), et la **SEDCO USA** (South Eastern Drilling Company, Dallas) (avec **49%** des parts). En **1981**, **SONATRACH** met fin à son partenariat avec la **SEDCO**, par la mise en place le 1^{er} janvier **1982**, de l'Entreprise National de Forage, par arrêté Ministériel du 31 décembre **1981**, portant date d'effet de substitution d'**ENAFOR** à **SONATRACH** dans une partie de ses compétences.

En **1989**, **ENAFOR** devient une entreprise autonome sous la forme d'une **SPA**, dont le capital social, de 20 000 000 DA, est détenu par le Fond Mines à **40%**, le Fond Chimie/Pétrochimie/Pharmacie à **30%**, le Fond Agro-alimentaire à **30%**. **SONATRACH**, par le biais de la Holding **SSP** (Société de Services Pétroliers), devient en **1998** l'actionnaire principal de l'Entreprise, avec **51%** des parts à son actif. Les **49%** sont détenus par la Holding **RGT** (Réalisation des Grands Travaux).

L'année **2005** marque l'intégration d'**ENAFOR** au Groupe **SONATRACH** qui devient dès lors **100%** filiale de **SONATRACH**.

I.1.3 Fiche technique de l'entreprise

- **Raison sociale** : Entreprise Nationale de Forage (ENAFOR).
- **Statu juridique** : Société par actions.
- **Capital social** : (14.800.000.000,00 DA) Quatorze milliards Huit Cent Millions de Dinars, détenu à 100% par la Société Holding Services Para Pétroliers SONATRACH.
- **Siege social** : B.P. 211 - Hassi-Messaoud - (Wilaya de OUARGLA).

I.1.4 Missions de l'entreprise

- Participer à l'effort déployé par le Groupe SONATRACH pour la reconstitution des réserves hydrocarbures et énergétiques dont elle a mission de l'Etat.
- Accompagne le Groupe SONATRACH dans le cadre de son programme de développement national et/ou international.
- Les missions d'ENAFOR découlent de la stratégie globale du Groupe SONATRACH.

I.1.5 Vision de l'entreprise

- Constituer la référence professionnelle en Forage et en Work-over en Algérie.
- Devenir une société des services pétroliers de dimensions internationale.

Valeurs de l'entreprise :

- Le professionnalisme et la compétitivité.
- Le respect de l'engagement pris.
- L'esprit d'équipe et la transparence.
- La reconnaissance du mérite.
- Ces valeurs constituent la référence et la ligne de conduite de chacun de nous à ENAFOR.

I.1.6 Les clients et partenaires de l'entreprise

Avec une expérience de plus de 57 ans et un professionnalisme solidement acquis dans le domaine du Forage pétrolier, ENAFOR entretient aujourd'hui de fructueuses relations d'affaires qui lui ouvrent de nombreuses perspectives de prestations de service économiques dans le cadre de ses activités. ENAFOR, a contracté, dans le cadre de ses activités principales, des marchés avec les clients et les partenaires suivants : SONATRACH, BRITISH PETROLEUM, TOTAL, BHP, MOBIL, REPSOL, SONARCO, ANADARKO, BURLINGTON RESOURCES, SINOPEC, AMERADA HESS, GTFT.

I.1.7 Maintenance pétrolière

L'Entreprise assure par ses propres moyens, grâce à une main d'œuvre hautement qualifiée et des ateliers spécialisés, la Maintenance, le Revamping (reconstruction et rénovation approfondie) et la mise à niveau de ses installations de forage, de sa flotte de transport et des infrastructures d'accompagnement et de soutien grâce à un personnel hautement qualifié dans des ateliers spécialisés.

ENAFOR procède aussi à la re-certification et à la mise à niveau de ses appareils de Forage et de Work-Over, conformément aux normes internationales. Dans le cadre de la modernisation de ses moyens de production, ENAFOR dote progressivement ses appareils de Forage et de Work-Over de nouveaux matériels et systèmes de nouvelle génération (SCR ...).

ENAFOR possède des structures dotées d'équipements et de machines spécialisées pour la Maintenance Pétrolière de ses équipements à savoir :

- Ateliers de Mécanique pétrolière.
- Ateliers de Soudure et de construction métallique.
- Ateliers d'électricité industrielle.
- Machine Shops.
- Base de Maintenance pour véhicules et engins lourds. Base d'équipements tubulaires (M.D.T).
- Aire de « Montage » pour le montage et la réception des nouveaux appareils.

ENAFOR a introduit le système de Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO) qui assure régulièrement :

- Les travaux de maintenance préventive de l'ensemble de ses moyens de production et de logistique.
- Les mises à jour de la banque de données relative au cycle de vie de ses moyens.

I.1.8 Système de management QHSE

Le système QHSE de l'ENAFOR est en conformité avec les normes ISO 9001/2008, ISO 14001/2004 ainsi que la référence OHSAS 18001/2007.

a) Domaine d'application du système de management QHSE :

Au sein de l'ENAFOR le système de management s'applique à l'ensemble des activités de l'entreprise et couvrent l'ensemble des sites bases et chantiers : Prestation de forage et work-over des puits des hydrocarbures et DTM (démontage, transport, montage), Maintenance pétrolière, Transport de matériel et équipement, etc.

b) Les exigences générales :

Le système de management QHSE définit la structure et les processus organisationnels dans lesquels est planifié et mise en œuvre l'audit du système.

Il définit et délimite de façon précise les responsabilités et autorités des personnes et services impliqués.

c) Politique HSE :

L'ENAFOR s'est engagée à élaborer une politique QHSE en 2009. La dernière politique QHSE a été élaborée le 01 Mai 2014. Cette politique met l'accent principalement sur :

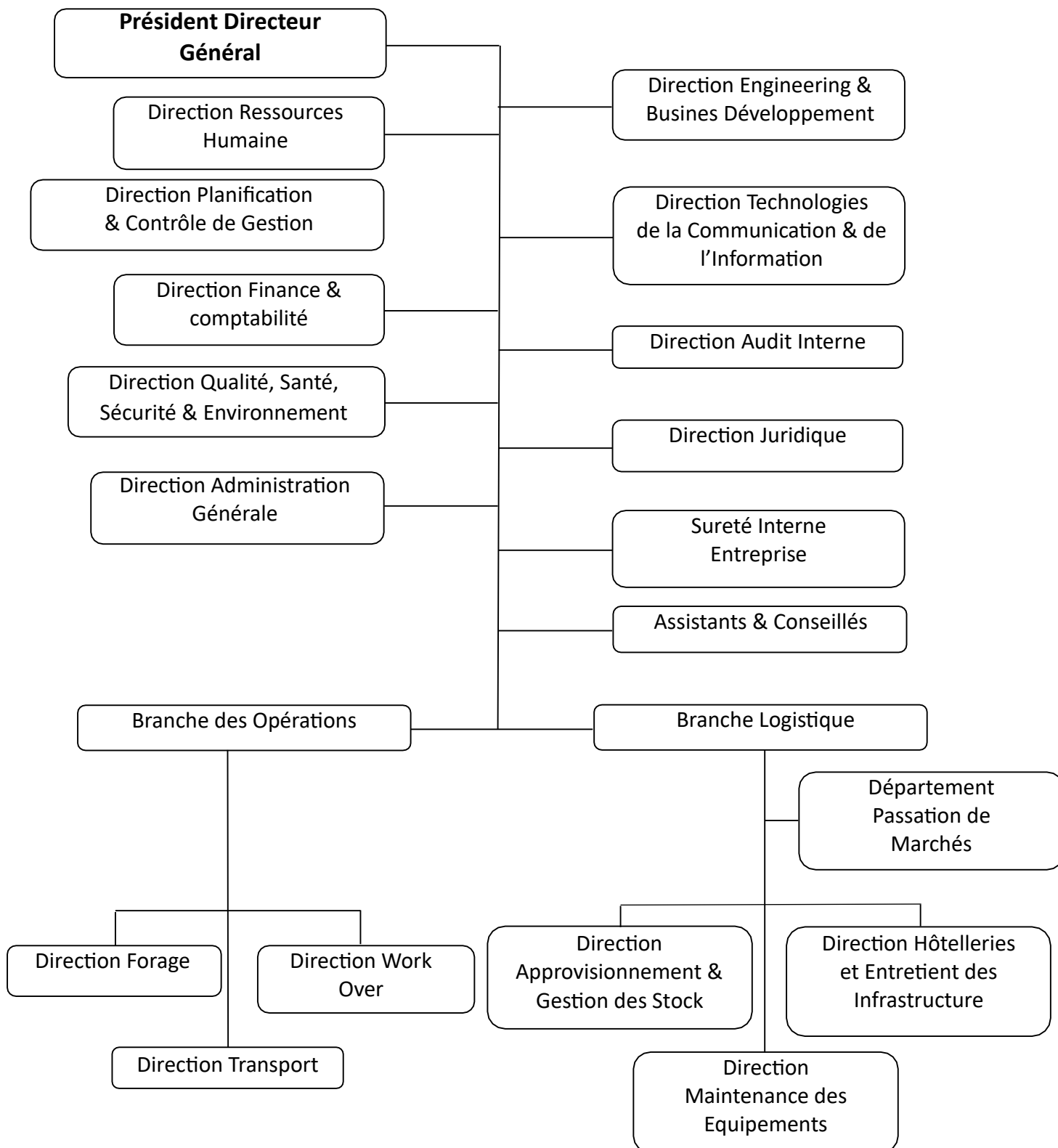
- L'amélioration de la qualité des services fournis, à travers :
- La préservation de l'environnement, à travers :
- L'amélioration de la qualité de vie au travail et la préservation de la santé et sécurité des travailleurs.

d) Programme de management QHSE :

Un programme de management QHSE établi à l'issue de l'analyse des risques permet d'atteindre les objectifs recherchés en matière de HSE.

Ce programme intègre les mesures à prendre pour atteindre les objectifs HSE ainsi que les délais, les responsabilités et les moyens.

I.1.9 Organigramme de l'ENAFOR



I.1.10 Situation du champ de Hassi Messaoud

I.1.10.1 Situation géographique

Le champ de Hassi Messaoud est considéré comme l'un des plus grands gisements dans le monde. Il fait partie d'un ensemble de structures formant la partie Nord de la province Triasique, et se situe à environ 850 km au Sud-Sud-Est d'Alger, à 280 km au Sud-Est du gisement de gaz-condensat de Hassi R'mel et à 350 km à l'Ouest de la frontière tunisienne (Fig.).

Il s'étend sur 2500 km², il a pour coordonnées Lambert :

X = [790.000 - 840.000] Est

Y = [110.000 - 150.000] Nord

Et il est encadré par les latitudes 31°.30' et 32°.00' et les longitudes 5°.40' et 6°.20'

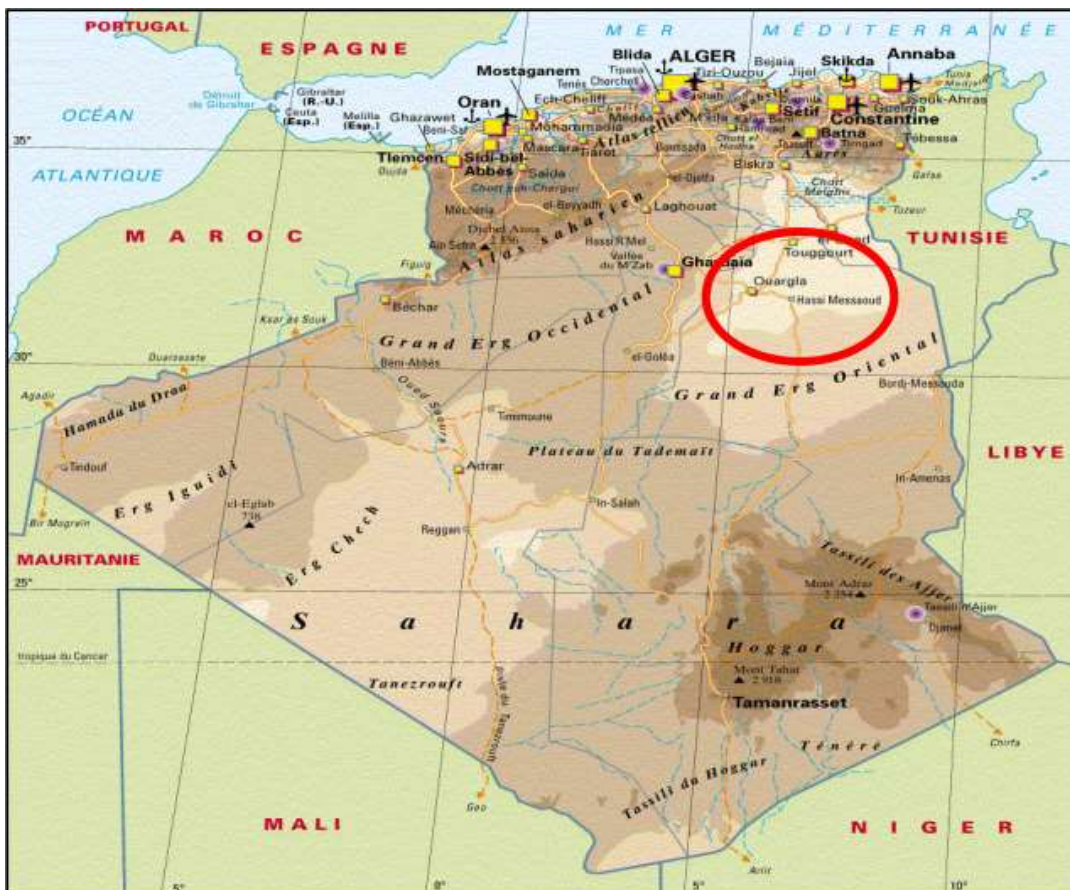


Figure I.1. Situation géographique du champ de HMD

I.1.10.2 Situation géologique

Par rapport aux gisements, le champ de Hassi Messaoud est limité :

- Au Nord-Ouest par les gisements de Ouargla (Guellela, Ben Kahla et Haoud Berkaoui).
- Au Sud-Ouest par les gisements d'El Gassi, Zotti et El Agreb.
- Au Sud-Est par les gisements Rhourde El Baguel et Mesdar.

Le môle de Hassi Messaoud est le résultat d'une histoire paléotectonique 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.

Géologiquement, il est limité :

- À l'Ouest par la dépression d'Oued Mya.
- Au Sud par le môle d'Amguid El Biod.
- Au Nord par la structure Djammâa-Tougourt.
- À l'Est par les haut-fonds de Dahar, Rhourde El Baguel et la dépression de Ghadames.

I.2 GÉNÉRALITÉS SUR LES APPAREILS DE FORAGE

I.2.1 Introduction

Un appareil de forage est un ensemble complet d'équipements de forage pour l'exploration et le développement pétrolier et gazier.

C'est une unité de travail multifonctionnelle commune se composant de beaucoup de genres de machines. Pour satisfaire la demande de la technologie de forage, l'ensemble de la plate-forme de forage dispose de six systèmes de base classés comme système d'alimentation, système de levage, système de circulation, système de rotation, système de contrôle de puits et système de surveillance. Et les capacités de déclenchement, de forage rotatif et de circulation.

L'appareil de forage, ou plus globalement le chantier de forage (Rig). [1]



Figure I.2. Appareil de forage (ENF 61)

I.2.2 Classification des appareils de forage

La classification des appareils de forage se fait en première approche par la capacité de profondeur de forage maximale. Les appareils de forage peuvent être classés comme suit :

- ✓ Appareils légers.
- ✓ Appareils moyens.

- ✓ Appareils lourds.
- ✓ Appareils ultra lourds.

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

La puissance du treuil est donc une caractéristique primordiale pour déterminer un appareil de forage (10 HP de puissance au treuil pour chaque 100 pieds de forage). Pour les catégories d'appareils cités précédemment, on peut les classer selon la puissance de levage. [2]

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

I.2.3 Description d'un appareil de forage

L'appareil de forage est un ensemble des installations et équipements servant à creuser des puits de pétrole ou de gaz. Décrits dans les rubriques suivantes ; **Les principaux constituants du système de forage** et **La garniture de forage** :

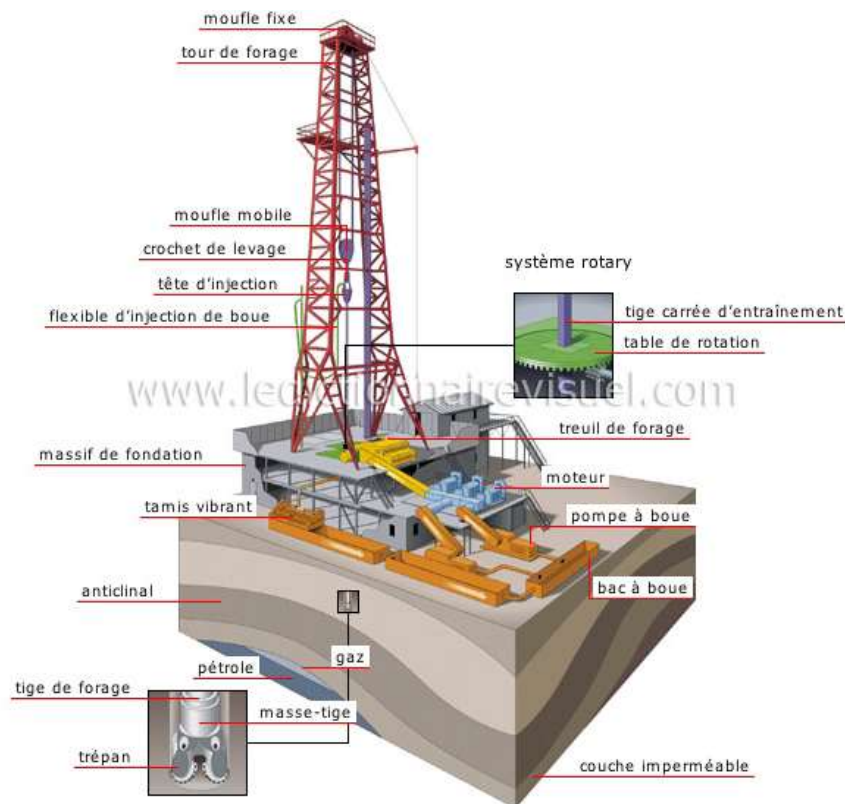


Figure I.3. Appareil de forage

I.2.3.1 Les principaux constituants du système de forage

I.2.3.1.1 Système de levage

Le système de levage est un élément essentiel de l'équipement de forage. Il fournit un moyen pour le mouvement vertical d'équipement tubulaire dans le puits (assurer les manœuvres de descente et de remontée). Il comprend essentiellement les organes suivants :

- Le derrick ou mât.
- Le treuil de forage.
- Les moufles (fixe et mobile).
- Le câble de forage.
- Les outils de plancher.

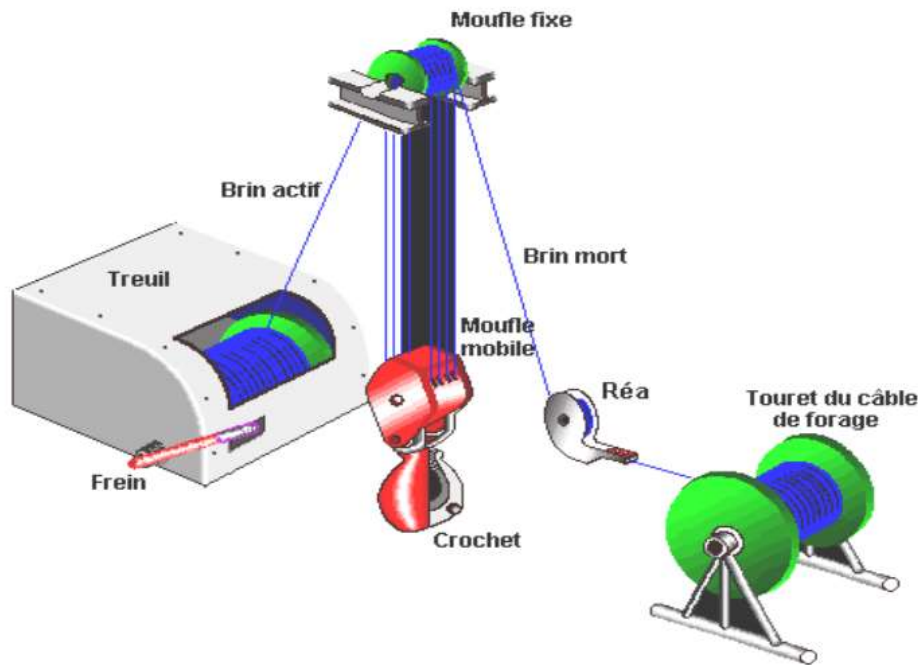


Figure I.4. Schéma cinématique de système de levage

1. La structure principale (Derrick ou Mât) :

A. Le derrick :

C'est la plus ancienne forme qui dérive de la tour construite en bois. Il est en forme de pyramide très pointue, dont les quatre pieds s'appuient sur les sommets d'un carré, cette surface sera le plancher de travail. Une plate-forme intermédiaire (85 ft environ) permettra à l'accrocheur de travailler au rangement des longueurs de tiges ou masse-tiges.

La structure métallique peut être soudée ou boulonnée. [3] Son montage et son démontage se font élément par élément ; ce qui rend ces opérations très lentes.

B. Le mât :

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

Les spécifications techniques sont identiques à celles des derricks ;

- Charge au crochet maximale compte tenu du mouflage,
- Hauteur libre dans le mât,
- Largeur à la base,
- Résistance au vent avec et sans garniture gerbée. [3]

C. Les substructures :

Ces constructions répondent au besoin de surélévation du plancher de forage pour laisser la place aux empilages de têtes de puits ainsi que de BOP. Elles peuvent être indépendantes du mât de levage : ce sont alors des caissons empilés de part et d'autre de la tête de puits, sur lesquels on assemble le plancher, la tour de forage reportant ses charges directement sur la substructure.

La plupart des mâts de moyenne capacité font partie d'un ensemble de levage avec elevating substructure où les planchers du treuil et du gerbage sont repliés au sol grâce à des poutrelles articulées en parallélogramme. [3]

2. Le Treuil :

Le treuil est une pièce maîtresse de l'appareil de forage, en effet, sa puissance (en CV) caractérise la classe de l'appareil et la profondeur maximale que l'on peut atteindre. Il est destiné à assurer les manœuvres de remontée et de descente du train de sonde ainsi que la descente de la colonne de tubage.

Le treuil peut être électrique ou mécanique, il est constitué principalement d'un tambour sur lequel est enfilé d'une manière organisée le câble de forage (spires et rangés), et d'une boîte de vitesse capable de fournir au moins deux types de vitesse (petite vitesse et grande vitesse). Le treuil est équipé de deux systèmes de freinage :

- un frein à bande capable de stopper la charge,
- un frein magnétique qui sert uniquement à ralentir le mouvement. [4]



Figure I.5. Le Treuil de forage

3. Les moufles (fixe et mobile) :

Le moufle fixe est un assemblage de poulie situé au sommet de la tour. Le câble de forage passe sur ces poulies et constitue le mouflage. Le moufle mobile est un assemblage de poulie sur laquelle est fixé le crochet.

On note que la charge sur le moufle fixe est supérieure à celle du moufle mobile ceci provient du fait que sur le moufle fixe on compte deux brins supplémentaires (brin actif : accroché au treuil) et brin mort (attaché au Rea). Exemple : si le mouflage comporte 10 brins et la charge sur le crochet est de 100 tonnes, donc chaque brin supporte 10 tonnes et par conséquent le moufle fixe supporte 120 tonnes. [4]



Figure I.6. Moufle



Figure I.7. Moufle fixe

4. Le câble de forage :

Le câble de forage est constitué d'âme métallique sur laquelle on enroule six torons de fils d'acier. Le câblage des fils de torons est en général de sens inverse du câblage du toron sur l'âme, ceci donne une caractéristique raide (dure) et antigiratoire du câble de forage. Le diamètre du câble de forage est très variable mais ne dépasse pas 1,5 pouce (3,8 cm) en général.

Le câble de forage est enroulé sur le tambour du treuil, passe par les moufles fixe et mobile, puis redescend au pied du mât où il est fixé sur le Rea au niveau du brin mort. Le Rea est une cellule hydraulique qui sert à la mesure de la masse supportée par le crochet. Après le Rea le câble est enroulé sur le touret (bobine d'alimentation du câble neuf). Le câble doit être régulièrement filé pour répartir l'usure. La nouvelle partie est alimentée du cotée du brin mort au niveau du Rea et l'excès de câble sera enfilé de l'autre boue au niveau du tambour. Après plusieurs filages le tambour se remplit et on doit couper une partie du câble. Les opérations de filage et coupure du câble de forage sont programmé en fonction du travail du câble. [4]

5. Les outils de plancher :

Plusieurs outils sont utilisés pour le levage et la manutention de la garniture de forage :

- **Les cales** : sert à retenir la garniture de forage sur la fourrure principale lors de la connexion des tiges ou des manœuvres.
- **Les bras et élévateur** : servent à soulever la garniture de forage directement par le crochet lors des manœuvres. Ce système ne permet pas ni la rotation ni l'injection de boue.
- **Clé de serrage des connexions** : sert à appliquer le couple de serrage nécessaire au vissage et dévissage des différentes tiges de forages.
- **Collier de sécurité** : c'est un accessoire de sécurité complémentaire aux cales et utilisé pour les types de garniture sans montant tel que les masse tige ou lors que le poids des tiges n'est pas suffisant pour permettre le bon fonctionnement des cales. [4]



Figure I.9. Une cale



Figure I.8. L'élévateur



Figure I.10. Les bras



Figure I.11. Collier de sécurité



Figure I.12. Clé de serrage

I.2.3.1.2 Système de rotation

Pour faire tourner les tiges de forage dans le puits de forage et entraîner le trépan pour écraser la roche, le système de rotation des appareils de forage normaux se compose d'une table de rotation, d'une tête d'injection, d'une tige d'entraînement ou d'un système de Top Drive. [1]

1. Table de rotation :

La table de rotation est pratiquement un réducteur à engrenages coniques de grande puissance, dont la fonction principale est de transmettre la puissance des moteurs à la kelly, des tiges de forage, des masses tiges et le trépan à travers la fourrure principale, entraînant le trépan à tourner et à approfondir le trou de forage. La table de rotation est le dispositif crucial d'un appareil de forage rotative et aussi l'une des trois machines de travail primaires d'un appareil de forage.

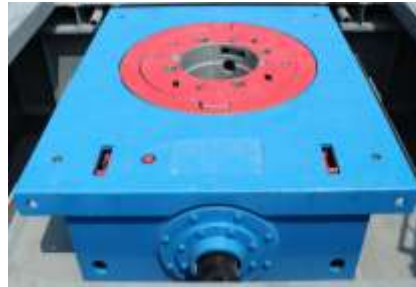


Figure I.13. Table de rotation

2. Tige d'entraînement :

D'une manière plus générale, nous allons décrire l'ensemble des composants toujours liés à la tige d'entraînement :

➤ Tige d'entraînement (kelly) :

C'est un élément en acier traité et vissé d'une part à la partie supérieure de la garniture de forage et d'autre part à la partie inférieure de la tête d'injection. De forme carrée ou hexagonale, elle permet à la garniture de forage de tourner à la même vitesse que la table de rotation quand elle y est engagée avec le carré d'entraînement (kelly drive bushing). Le filetage inférieur de la tige d'entraînement est protégé par un raccord d'usure (kelly saver sub). [5]

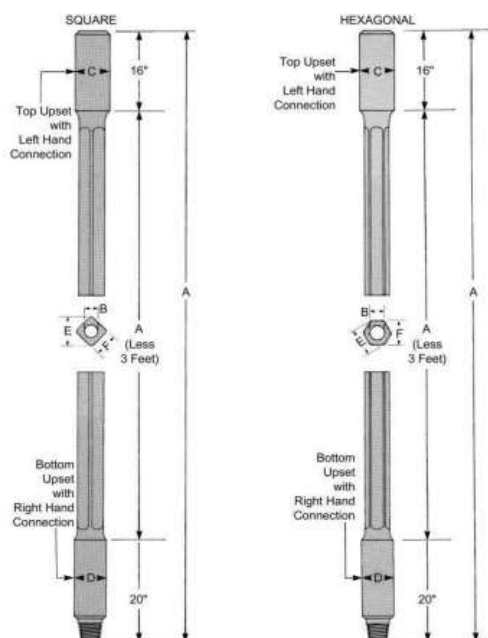


Figure I.14. kelly [5]

➤ **La fourrure principale d'entraînement (Master kelly bushing) :**

Le master bushing ou fourrure principale est un cylindre en acier robuste. Il se trouve à l'intérieur de la partie tournante de la table de rotation, qui le fait tourner.

Le master bushing entraine en rotation le carré d'entraînement soit à l'aide d'un système à quatre broches (four-pin drive) ou à l'aide d'un carré (square drive).



Figure I.15. Différents types de Master kelly bushing

Le master bushing a deux fonctions :

- Transférer le mouvement de rotation entre la table de rotation et le carré d'entraînement durant le forage ;
- Retenir les cales sur lesquelles est posé le matériel tubulaire durant sa manœuvre dans le puits (Descente ou remontée). [5]

➤ **Le carré d'entraînement (Kelly drive bushing) :**

Le mouvement de la table est transmis à la tige d'entraînement par le carré d'entraînement. Initialement, celui-ci était constitué par une simple fourrure présentant une ouverture correspondant à la section de la tige d'entraînement. Cette disposition avait l'inconvénient d'introduire un frottement assez considérable dans le mouvement de la tige, ce qui influe sur le poids sur l'outil. Pour éliminer cet inconvénient, on utilise des carrés à rouleaux.

Les rouleaux tournent librement ce qui permet à la tige d'entraînement de se mouvoir librement dans le sens vertical. [5]



Figure I.16. Carré d'entraînement

➤ **Kelly spinner :**

Le kelly spinner est un dispositif particulier destiné à faciliter les opérations de vissage de la tige d'entraînement lors des ajouts de simples ; il permet d'éliminer l'utilisation de la chaîne de vissage lors des vissages dans le trou de souris (mouse hole) et d'améliorer ainsi la rapidité et la sécurité. Situé entre la tête d'injection et la tige d'entraînement, il est actionné par un moteur pneumatique ou hydraulique. [5]



Figure I.17. Kelly spinner

3. Tête d'injection (swivel) :

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

Il faut noter que toutes les connexions au-dessus de la section utile de la tige d'entraînement doivent être à filetage à gauche afin de ne pas être débloqués par la rotation à droite de la table de rotation. [3]

4. Top Drive :

Certains appareils de forage puissants, sont équipés d'un moteur électrique ou hydraulique attaché au crochet et guidé par des rails solidaires au Mât. Ce moteur (Top Drive) permet la rotation et l'injection de boue et remplace les fonctions de la table de rotation, le carré d'entraînement, la tige carrée et de la tête d'injection rotative. D'autre part la tête d'injection motorisée permet d'effectuer des manœuvres et des opérations de forage plus rapide et plus efficace ce qui permet de réduire considérablement la durée du forage. [4]



Figure I.18. Top Drive

I.2.3.1.3 Système de circulation

La fonction du système de circulation de fluide dans le forage rotatif est de permettre le mouvement d'un fluide de forage de la surface vers le fond du trou et de retour à la surface.

1. Les pompes à boues :

Ce sont des pompes alternatives à pistons, le mouvement alternatif des pistons et des tiges étant produit par le système classique de la bielle et d'un vilebrequin.

Ces pompes de principe volumétrique, qui doivent assurer un débit compatible avec le rendement optimal du trépan utilisé.



Figure I.19. Pompe à boue

2. La boue de forage :

La boue de forage est un fluide qui possède un rôle très important dans la réussite d'un forage :

- Remonté des déblais
- Lutte contre les pressions de formations
- Refroidissement et lubrification du Trépan et de la garniture de forage.... [4]

I.2.3.1.4 Système de transmission de puissance

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 plateformes 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.

Les moteurs diesel offrent le maximum de flexibilité de distribution sur les appareils de forage, qu'ils soient lourds ou légers.

2. Transmission mécanique :

Plusieurs moteurs diesel travaillent en parallèle grâce à leur interconnexion par un système de chaînes et d'embrayage appelé compound, Les diesels sont équipés de convertisseurs de couple. Le chef de poste doit gérer l'affectation des moteurs en fonction de ses besoins ; en forage ou en manœuvre. Cette transmission est de maintenance et d'utilisation simple, par contre elle manque de souplesse dans son utilisation et son implantation.

3. Transmission électrique :

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

I.2.3.1.5 Système de contrôle de puits

La fonction principale du système de contrôle de puits est d'empêcher tout écoulement ultérieur de fluide de formation dans le puits de forage. Les exigences du système sont de permettre en toute sécurité l'obturation du puits à la surface, le contrôle de l'élimination des fluides de formation du puits de forage, le pompage de boue de densité plus élevée dans le trou et le décapage de la tige de forage à l'intérieur ou à l'extérieur du trou.

Les composants de base du système de contrôle de puits sont : BOP, Ram preventers, Annular preventers, Drilling spools. [6]

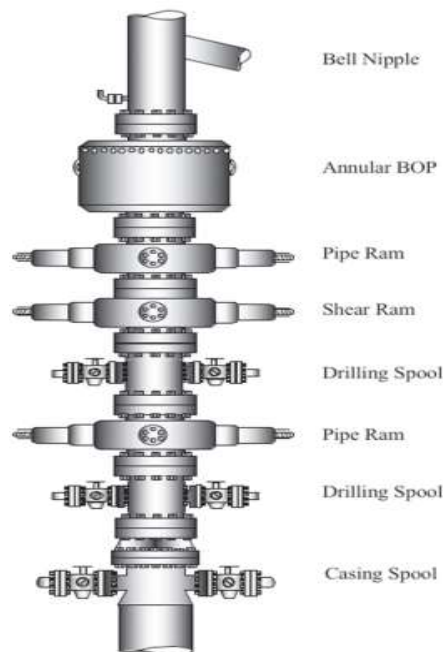


Figure I.20. Disposition BOP

I.2.3.1.6 Système d'acquisition et de surveillance

Le système d'acquisition et de surveillance de données d'un forage rotative se compose de tous les dispositifs utilisés pour surveiller, analyser, afficher, enregistrer et récupérer des informations concernant les opérations de forage. [6]

I.2.3.2 La garniture de forage

La garniture de forage consiste au train de tige nécessaire à la perforation du sous-sol. Cette garniture se compose de plusieurs types de tiges et d'éléments qui peuvent être subdivisé en deux groupes principaux : L'assemblage de fond de trou (BHA : Bottom Hole Assembly) et les tiges de forage. [4]

1. Les Tiges de forage (Drill Pipe) :

Ce sont des tiges d'acier qui constituent la partie la plus longue de la garniture de forage.

2. L'assemblage du fond de trou (BHA) :

L'assemblage de fond de trou constitue la partie rigide de la garniture de forage il se compose des éléments suivants :

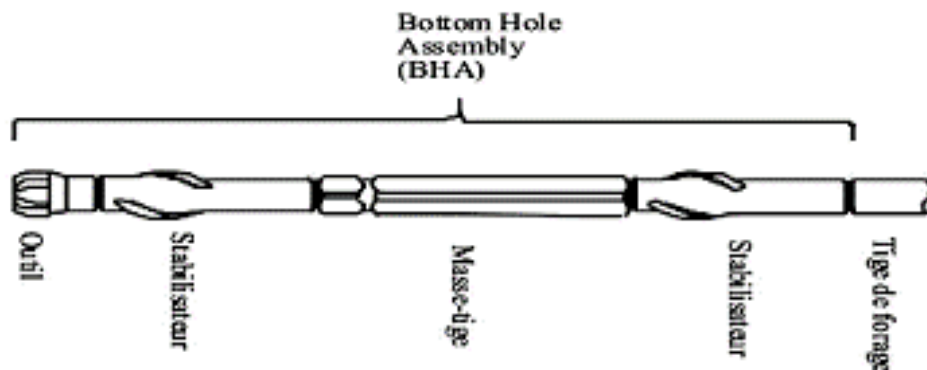


Figure I.21. Schéma d'assemblage du fond de trou (BHA)

A. Les Tiges lourdes :

Les tiges lourdes montrent un diamètre externe similaire aux tiges de forage mais se distinguent par un diamètre interne plus petit, Ils servent d'intermédiaires entre les tiges et les masses-tiges.

B. Le JAR (les coulisses de battage) :

Le JAR est souvent incorporé vers le sommet des masses-tiges. Il sert à exécuter un choc longitudinal dans la garniture lorsque celle-ci est coincée dans le puit.

C. Les masses tiges (Drill Collar) :

Les masses tiges sont blindés (à paroi très épaisse) et servent à guider l'orientation de l'outil de forage.

D. Les stabiliseurs et aléseurs :

Les stabiliseurs et aléseurs sont incorporés à la garniture de forage au niveau des Masse-tiges afin de garder le contrôle de la trajectoire de l'outil.

E. Le « Sock absorber » (absorbeur de shock) :

Cet élément de petite taille sert d'amortisseur de chocs longitudinaux et de torsion pendant le forage.

F. Les raccords :

Les raccords de forage sont des éléments de petites tailles (inférieur au mètre) et qui servent à connecter des éléments de la garniture de forage à diamètre différent ou à système de filetage différent.

G. L'Outil de forage ou Trépan (Bit) :

L'outil de forage et l'élément perforateur de la roche. Il démantèle la roche grâce à plusieurs rangés de dents ou cutters. Dans le domaine de forage existe deux types d'outil : outil à mollettes et outils à lame fixe.



Figure I.22. Les outils de forage

I.2.4 Conclusion :

Les appareils de forage jouent un rôle crucial dans l'exploitation des ressources naturelles, la construction d'infrastructures, les études géotechniques et environnementales, ainsi que dans la recherche scientifique. Ils sont essentiels pour de nombreux secteurs économiques et contribuent au développement et à la croissance des sociétés modernes.

Chapitre II

Étude technologique d'un top drive

II.1 Introduction

Certaines installations de forage utilisent une tige Kelly, et une table de rotation pour faire tourner la garniture de forage et l'outil (trépan). Ces installations comprennent la tête d'injection, le flexible d'injection, le Kelly et la table de rotation.

Dans les dernières années la plupart des installations utilisent un system top drive d'entraînement supérieur pour faire tourner la garniture de forage et l'outil (trépan).

Un top drive moderne constitue un system intégré qui comprend le manuel de manutention des tiges, le moufle, tête d'injection et un ou plusieurs moteurs qui fait tourner l'arbre d'entraînement. Tous en un seul corps qui est le système de forage Top drive, et qui est la nouvelle génération de l'équipement de forage pétrolier, en plus de ces fonctions principales il maintien les tiges à l'aide du système de manutention des bras de levage. [7]

Les Top Drives de la forme Canrig sont spécifiés par leurs hautes qualités et bonne fiabilité, Canrig toujours cherche de développer leurs produits dans les grandes plates formes de forage, ce qui implique plusieurs investissements dans ce domaine. Canrig possède plusieurs types de top drive, nous allons étudier le modèle (8050 AC-712).

Le top drive est un équipement de rotation, maintenu au derrick à l'aide d'une glissière et d'un moufle mobile. Il tourne le train de tige par l'extrémité du l'arbre principal sans l'utilisation d'une tige carrée d'entraînement et de la table de rotation. [8]



Figure II.1. Top Drive (Canrig)

II.2 Définition Top drive

Tous d'abord le mot « TOP DRIVE » est un mot en anglais signifie l'entraînement supérieur.

Le Top Drive C'est un équipement de rotation, maintenu au mât à l'aide d'une raille et d'un moufle mobile. Elle fait tourner la garniture de forage (train de tiges et outil de forage) par l'extrémité de son arbre principal.

C'est un organe récemment introduit aux chantiers, plus précisément aux appareils de forage pour remplacer :

- ✓ Le crochet.
- ✓ La tête d'injection.
- ✓ La table de rotation.
- ✓ La tige carrée (Kelly).
- ✓ Kelly bushing.
- ✓ Et partiellement les clefs. [9]

Généralement, le Top Drive englobe trois fonctions principales : la rotation du train de tiges, la circulation du fluide de forage et les opérations de manœuvre (montée et descente).

II.3 Historique

En 1983 le développement du derrick a commencé par le remplacement de ce système conventionnel par un autre système appelé Top drive, le premier modèle est publié en 1984, était DDM650 c'est-à-dire Derrick Drilling Machine-capacité de levage 650 tonnes- avec un moteur à courant continu. Le développement du Top drive s'est poursuivi pour introduire en 1987 le système d'entraînement hydraulique, avec le model DDM500/600 HYD. Les besoins n'étant pas satisfaits complètement, la demande d'un moment de rotation plus élevée a nécessité le développement des moteurs à courant alternatif.

Actuellement il existe toute une gamme de Top drive de différentes capacités et puissances. Le concept de cet équipement n'est pas nouveau, ce qui est nouveau est la combinaison de plusieurs parties de système de levage, de rotation et de pompage en un seul organe.

II.4 Le rôle du top drive

Le top drive à plusieurs tâches peut assemblées en trois fonctions principales qui sont : La rotation, la manipulation des tiges, et l'injection de fluide de forage. Donc il assure :

- Le forage (en utilisant le moteur électrique).
- La remontée et descente des tiges de forage.
- Serrage et desserrage des connections (en utilisant le torque boost).
- Circulation des fluides de forage.

- Manipulation des tiges en utilisant les Link Tilts (les bras).
- Blocage de la garniture de forage (en utilisant le frein). [9]

II.5 Avantages

- ✓ Diminuer le temps de forage (de 25%) puisque on ne manipule pas la tige carrée de plus le forage se fait par triple.
- ✓ Connexion sur la garniture en manœuvre à n'importe quelle hauteur.
- ✓ Plus efficace pour la manutention des tiges.
- ✓ Elle fournit une puissance de rotation plus variable que celle de la table de rotation.
- ✓ Permet la rotation de la garniture de forage et la circulation à tout niveau dans le puits pendant les descentes et les remontées ; Cet avantage aide à prévenir les problèmes dans le puits.
- ✓ Réduire le nombre de connexions.
- ✓ Possibilité d'application d'un couple statique pendant un temps indéterminé (seulement dans le cas d'un top drive hydraulique).
- ✓ Maintenir l'orientation directionnelle (L'utilisation des trois tiges simples de forage va aider à avoir un puits plus vertical).
- ✓ Soulager le travail des accrocheurs.

II.6 Inconvénients

- ✗ Le coût de leur maintenance qui est plus élevé en comparant avec l'ancien système.
- ✗ Leurs dimensions importantes.
- ✗ Du fait du poids supplémentaire, le câble de forage s'use plus rapidement.
- ✗ Nécessite un personnel qualifié et formé sur le type d'appareil.
- ✗ Maintenance et entretien journalier (lubrification, stabilisation, etc....).
- ✗ Elles sont aussi plus difficiles à déplacer sur les installations de forage sur terre qui doivent être démontées lors du déménagement.

II.7 Différents types de Top Drive

Dans l'industrie il existe plusieurs types de Top Drives selon la construction et selon le moteur d'entraînement :

- Selon le fabricant :

- **Canrig**

Désigné aux petits mâts, dispose d'un système de manutention très développé qui permet d'éviter l'utilisation de la muserole et le stockage des tiges.

- **Varco**

Il est très simple car le système hydraulique n'existe pas, il a juste : Deux moteurs AC, une glissière, un ventilateur, un manipulateur des tiges, il utilise le crochet et la tête d'injection du système conventionnel.

- **Bentec**

Résistant aux basses températures, système de contre-balancement intégré, grande capacité Link Tilt, faible émission de bruit,

- **Tesco**

Désigné aux petits mâts, dispose d'un système de manutention très développé qui permet d'éviter l'utilisation de la muserole et le stockage des tiges.

- Selon le type de moteur d'entraînement :

- **Top drive à moteur hydraulique** : L'utilisation des top drives hydrauliques a été réduite pour des raisons de maintenance (trop de flexibles et de joints, saleté due à l'utilisation excessive d'huiles et de graisses, etc.), de sécurité (l'utilisation de la haute pression), et de gain de temps. Cependant, les top drives électriques ont pris le relais en préservant le côté hydraulique essentiel.
- **Top drive à moteur électrique** : Ils sont simples, faciles à commander, non encombrants, maintenables, etc....

Il existe des top drives avec un moteur continu et d'autres avec un moteur alternatif.

Les moteurs DC sont plus faciles à commander, et on peut varier la vitesse d'une façon continue c'est-à-dire on peut choisir n'importe quelle valeur de la vitesse. Mais on trouve que ces moteurs sont plus difficiles à fabriquer, à maintenir et ils sont trop lourds. Contrairement aux moteurs AC qui sont légers, maintenables, mais la variation de la vitesse est discrète.



Canrig



Varco



Bentec



Tesco

II.8 Désignation de top drive du Modèle (8050AC-712)

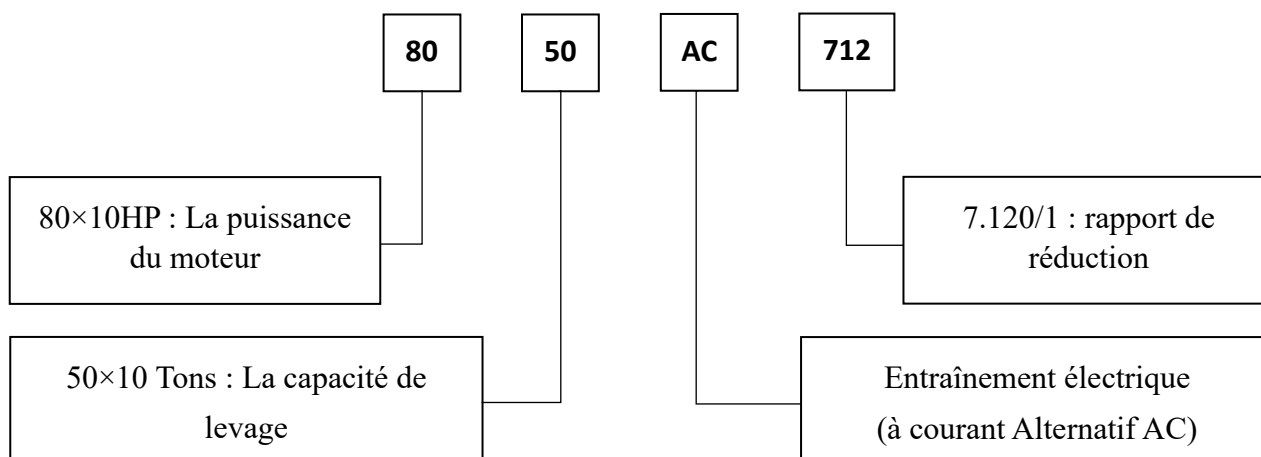


Figure II.2. Le modèle de Top Dive [9]

II.9 Principe de fonctionnement

II.9.1 La fonction pompage

Le top drive à une tête d'injection intégrée qui est suspendue en permanence au moufle mobile. Le flexible d'injection amène la boue de forage vers le tube d'usure (Wash-pipe) par l'intermédiaire de col de cygne (goosneck), puis elle est dirigée vers la garniture de forage.

II.9.2 La fonction de rotation

Le moteur tourne l'arbre principal par l'intermédiaire d'une boîte d'engrenage. Un raccord d'usure est prévu au bas de l'arbre principal pour réduire le degré d'usure de filetage de l'arbre principal.

II.9.3 La fonction remontée et décente

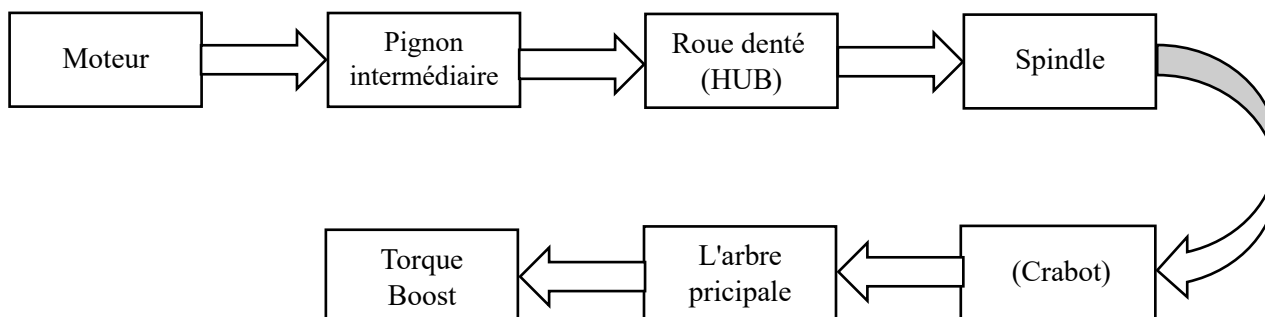
Le top drive système est suspendu au moufle mobile par une anse (Bail) et l'équipement se déplace verticalement sur le rail de guidage.

II.9.4 La fonction manutention

Le top drive possède un mécanisme de manutention des tiges comprend UWCV (Upper Well Control Valve), une LWCV (lower Well Control Valve), IBOP, et une clé de secours sert à serrer (connecter) et à desserrer (déconnecter) les tiges de forage. L'ensemble de manutention des tiges comprend aussi les bras, un élévateur et un mécanisme d'une inclinaison des bras automatisée.

Le chef de poste active ce mécanisme pour placer les bras et l'élévateur au niveau de plate-forme décrochage pour mettre en place les tiges de forage, ou pour sortir et ranger les stands de tiges dans les passerelles d'accrochage. [7]

II.10 Transmission de mouvement



[9]

II.11 Caractéristiques de Top Drive CANRIG 8050 AC-712

Tableau II-1. Caractéristiques de TOP DRIVE CANRIG 8050 AC-712 [10]

Capacité nominale de levage	500 tons	
Moteur	GE B20 AC (800 HP)	
Puissance de sortie :		
- Continu	800 HP	600 KW
- Intermittente	1200 HP	900 KW
Rapport de réduction	7.120 :1	
Couple continu nominal	37400 lb-ft	(50 700 Nm) @ 112 tr/m
Vitesse maximale nominale	15849 lb-ft	(21 489 Nm) @ 265 tr/m
Puissance des freins	52300 lb-ft	(70 900 Nm)
Couple de moteur électrique maximum	55250 lb-ft	(74900 Nm)
Générateur du couple développe au :		
- Vissage	24 000 lb-ft	(32 500 Nm)
- Dévissage	37 500 lb-ft	(50 800 Nm)
Couple maximum de dévissage des connexions	90000 lb-ft	(122 000 Nm)
Système de lubrification	2 HP 1.5 kW, 15 l/min de débit	
Courant électrique	GE B20 AC (800 HP)	
- Courant d'induit continu	800 A	
- Courant d'induit intermittent	1200 A	
- Fréquence	0 - 140 Hz	
Poids (sans moufles)	29 000 lb-ft	13 200 Kg

II.12 Description d'un Top drive

Le top drive est un équipement de forage, entraîné par un moteur électrique ou hydraulique, suspendu sur le derrick (mat). Le top drive est utilisé pour remplacer simultanément plusieurs équipements tels que la tige carrée (Kelly), la table de rotation, le crochet de levage, la tête d'injection et Kelly spinner.

Il comporte trois parties principales :

II.12.1 Partie hydraulique

Elle se décompose de :

- Unité hydraulique (HPU) ;
- Frein hydraulique ;
- Pompe hydraulique ;
- Pompe de lubrification ;
- Les distributeurs (électrovannes) ;
- Les vannes de contrôle : Vanne de contrôle de puits inférieure (LWCV) & Vanne de contrôle de puits supérieure (UWCV) ;
- Manifold de rotation.

La pression est générée dans le circuit hydraulique à l'aide de HPU (unité de puissance hydraulique) pour être distribuée aux organes à partir du manifold. Le circuit de lubrification est indépendant : la circulation d'huile est engendrée par une pompe qui aspire du gear case et refoule au bonnet.

➤ **Schéma d'installation hydraulique :**

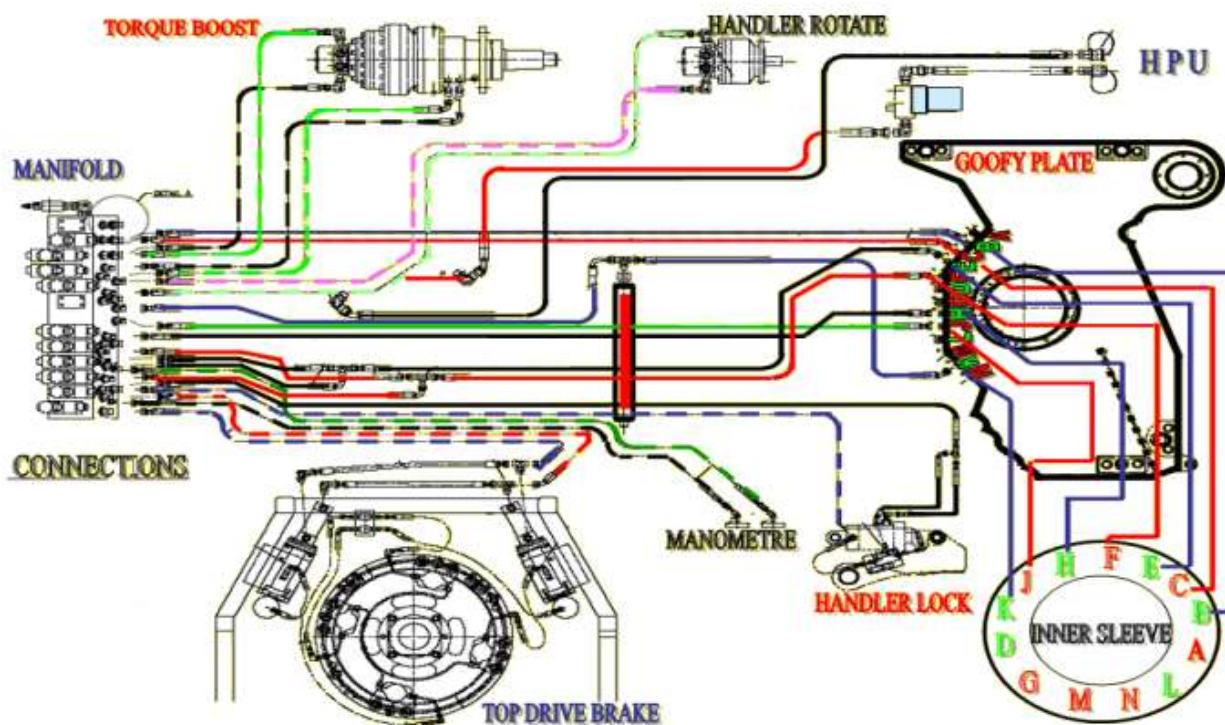


Figure II.3. Schéma d'installation hydraulique [11]

II.12.2 Partie électrique

C'est la partie qui fait la principale différence entre les tops drives électriques. Cette partie contient un moteur électrique (à courant continu ou alternatif), et son alimentation s'effectue à partir des convertisseurs (un système à vitesse variable).

Le moteur d'entraînement de notre Top Drive (8050AC-712) est un moteur à courant Alternatif type GE B20 AC (800 HP).

Les éléments principaux montés sur le top drive sont :

- Moteur d'entraînement ;
- Moteur ventilateur (blower) ;
- Armoire électrique ;
- Armoire PLC (Programmable Logique Contrôle).

II.12.3 Partie mécanique

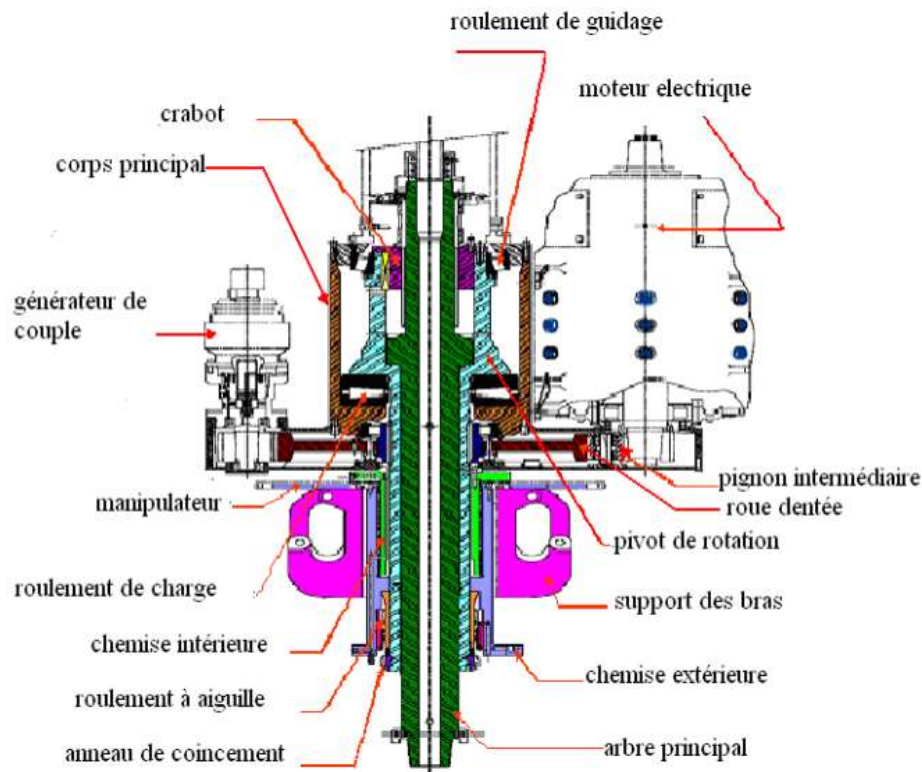


Figure II.4. Coupe verticale du Top drive

La partie mécanique du top drive se compose de :

1). Le bonnet :

La partie supérieure du top drive, C'est le corps qui contient le Wash pipe, permet le passage de la boue entre la partie tournante et la partie fixe. [11]

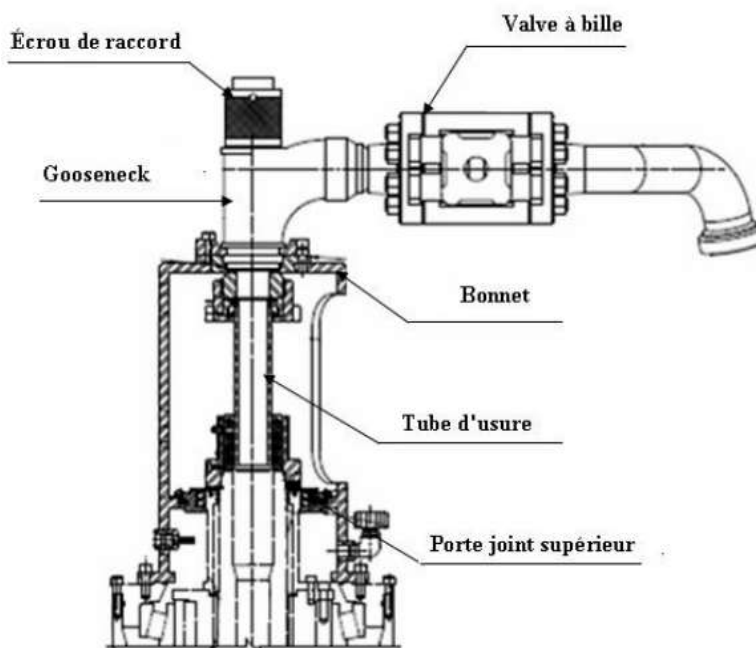


Figure II.5. Le bonnet

2). Boîte d'engrenage (Gear case) :

La boîte d'engrenages est un élément essentiel du top drive, responsable de la transmission de la puissance du moteur au l'arbre principale (Main shaft). La transmission du mouvement est assurée par :

- Un pignon cylindrique à denture droite extérieure montée à chaud sur l'arbre de moteur d'entraînement, contient 25 dents.
- Un pignon intermédiaire à denture droite extérieure de 31 dents.
- Une roue dentée de 178 dents à denture droite extérieure, engrenée au pignon intermédiaire, elle assure la réduction de vitesse de rotation et la transmission de mouvement au moyeu.
- Moyeu (Hub) : montée sur la roue dentée d'une façon concentrique par des boulons, contient quater (4) entrée clavettes à sa surface intérieure.

Toute cette chaîne de transmission baigne dans l'huile de lubrification. [11]

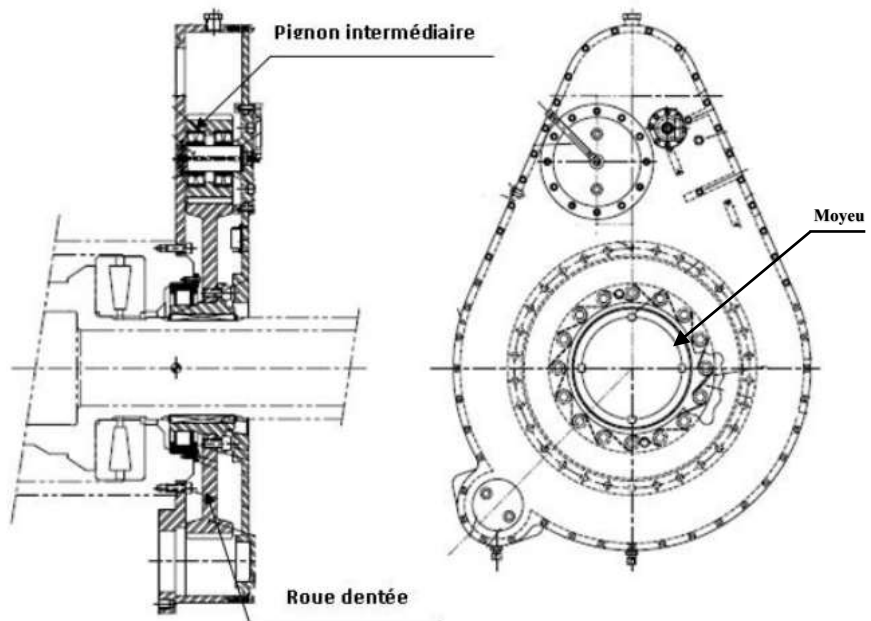


Figure II.6. Boite d'engrenage

3). Le corps principal (Main housing) :

C'est le corps extérieur où se repose le roulement principal qui supporte la charge du spindle (le pivot de rotation) et toute la garniture. [11]

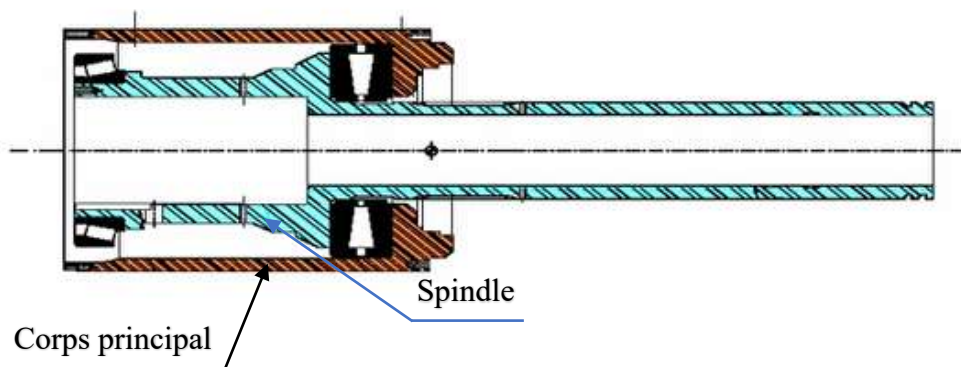


Figure II.7. Ensemble (Corps principal et Spindle)

4). L'arbre principal (Main shaft) :

C'est un arbre creux flottant considéré comme une liaison entre le pivot (spindle) et la garniture de forage, muni des dentures mâles sur l'extrémité supérieure, il s'introduit dans les dentures femelles du spline (le crabot) pour transmettre la rotation aux tiges de forage, permet aussi le passage de la boue. [11]

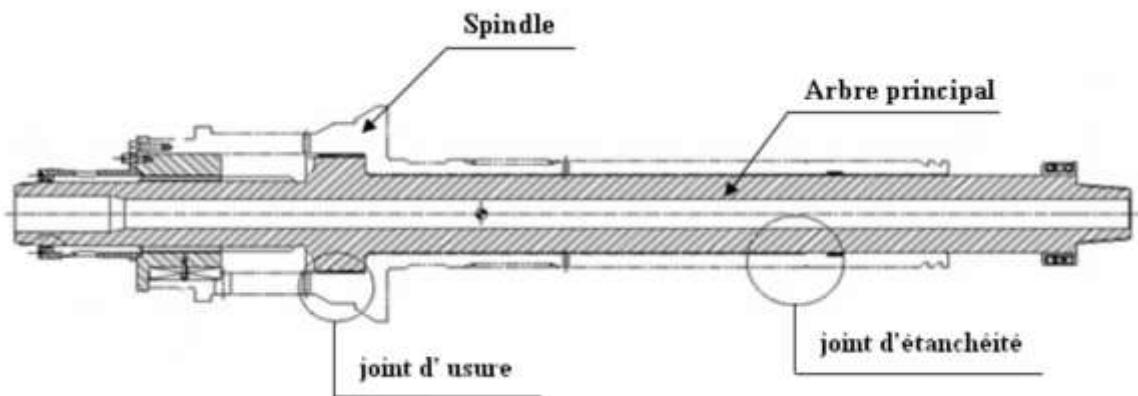


Figure II.8. Ensemble (arbre principale et spindle)

5). Pivot intégral (le spindle) :

C'est un arbre creux solidaire avec le Hub par quatre (4) clavettes, pour assurer la rotation du quill (arbre principal).

Le spindle repose sur le roulement de charge afin d'assurer la rotation, et entouré par le roulement de guidage pour rester au centre. [11]



Figure II.9. Le spindle

6). Générateur de couple (Torque Boost) :

Le générateur de couple est un générateur hydraulique qui est utilisé uniquement lorsque le top drive est en repos.

Il développe des couples importants à basse vitesse et permet les opérations de vissage et de dévissage des raccords, il possède un système automatique qui lui permet de se déconnecter quand la fonction de serrage ou de desserrage est réalisée. Il est constitué de :

- Un moteur d'entraînement hydraulique.
- Une boîte de vitesse ou multiplicateur de couple.
- Embrayage. [11]

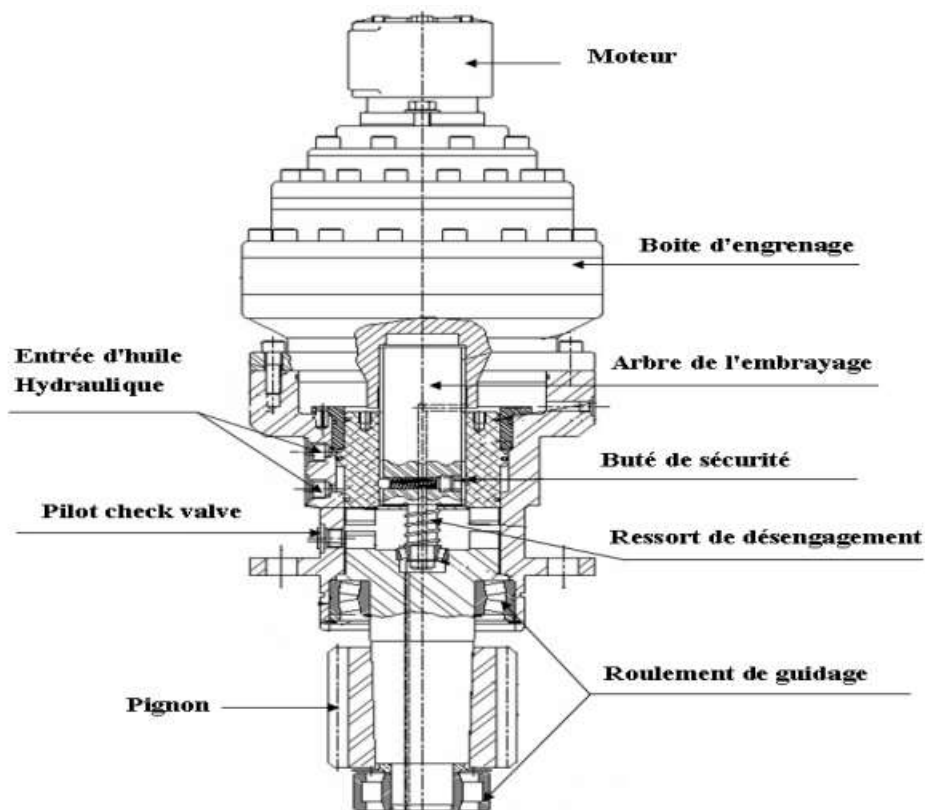


Figure II.10. Générateur de couple (Torque boost)



Figure II.11. Torque boost dans l'atelier "Catshop"

Remarque :

- ✚ Le fonctionnement du générateur de couple est assuré par l'embrayage qui sert à l'arbre de pignon et l'arbre principal.
- ✚ Le générateur du couple fonctionné à une vitesse réduite pour avoir un bon couple.
- ✚ Si l'embrayage est désengagé, le pignon tourne à vide.
- ✚ Le générateur de couple est équipé de trois systèmes de sécurités :
 - a) Sécurité par ressort qui empêche l'embrayage de venir en contact avec l'arbre de pignon.
 - b) Sécurité par une butée placée dans un trou lors de la remontée de l'embrayage.
 - c) Sécurité par un check valve qui assure toutes les 10 minutes un d'envoi d'huile hydraulique à une pression de 100 psi pour empêcher l'embrayage de ne pas descendre.

7). Manifold de rotation (Rotary Manifold) :

Il a été conçu pour accomplir deux opérations essentielles. Tout d'abord, grâce à sa capacité à effectuer un tour complet (360 °) dans les deux directions, il peut effectuer la manipulation des tiges, c'est-à-dire guider l'élévateur et ses bras. Ensuite, il permet le passage de l'huile hydraulique de la partie fixe vers la partie tournante pour assurer le fonctionnement des organes hydrauliques (les vérins par exemple).

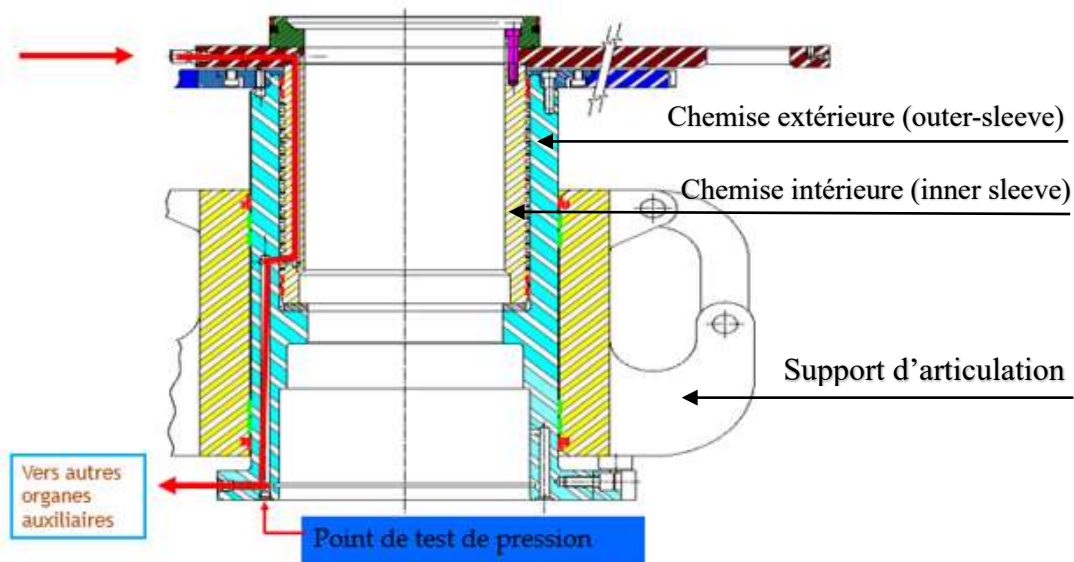


Figure II.12. L'ensemble Manifold Rotary

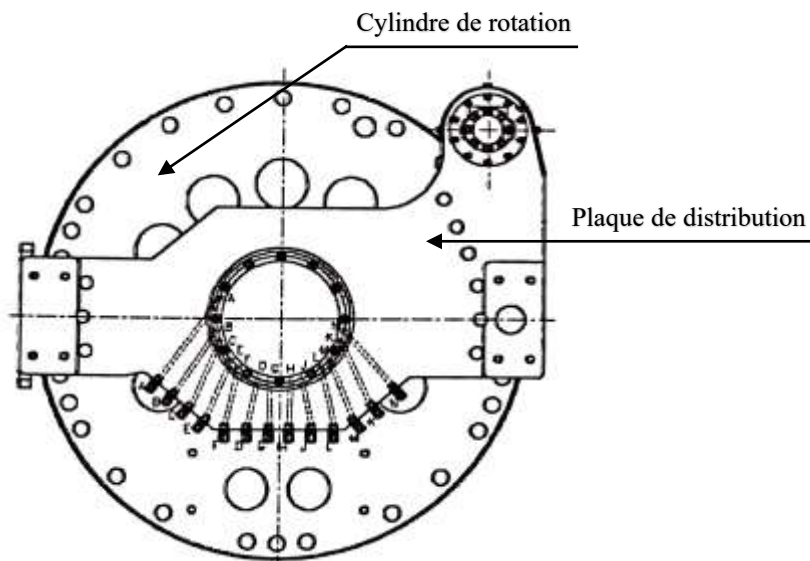


Figure II.13. Vue de dessous du Rotary Manifold

Il se compose de deux parties (fixe et partie tournante) :

7.1). La partie fixe : Elle se compose de :

- Plaque de distribution (goofy plate) : C'est une plaque de forme complexe, permettant le passage de l'huile hydraulique à l'intérieur de la chemise (inner sleeve). (**Figure II.14**)

- Chemise intérieure (inner sleeve) : Chemise fixée au goofy plate par boulon, Elle a des rainures et des trous taraudés, assurent le passage de l'huile hydraulique du goofy plate à la deuxième chemise (la chemise extérieure) à travers des trous.

Chaque trou est entouré par deux joints (O-ring) pour assurer l'étanchéité.

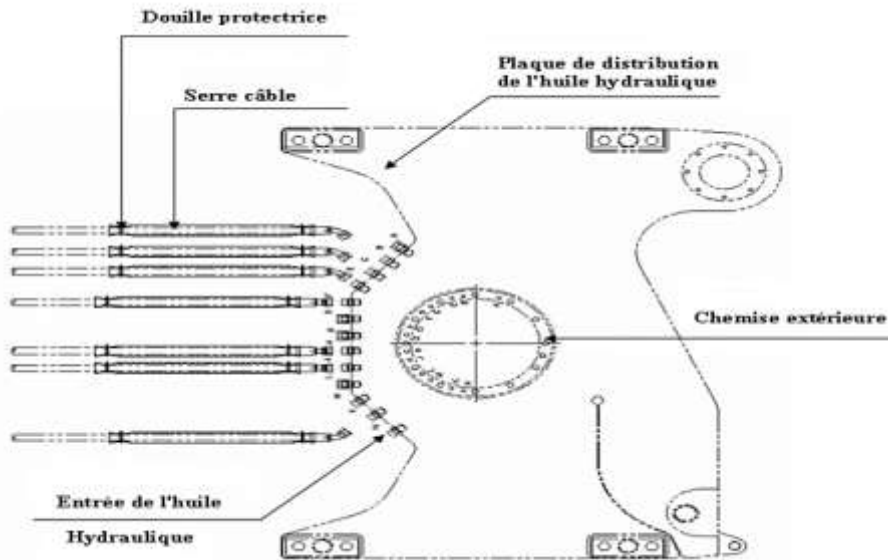


Figure II.14. Plaque de distribution (Goofy Plate)

7.2). La partie tournante : Elle se compose de :

- Cylindre de rotation (Handler-rotate) : C'est une plaque cylindrique qui contient à sa surface des trous de positionnement (32 positions). Elle fait tourner l'ensemble des organes suivants :
 - Chemise extérieure (Outer-sleeve) : Chemise liée avec handler rotate, contient des trous avec un jeu de (1/8) pouce entre les deux chemises (intérieure et extérieure).
 - Support d'articulation (Link-support) : A commande hydraulique actionné par deux pistons, supportant la charge de levage et portant les bras d'élevateurs.

La pression de commande atteint 500 psis pendant le levage.

- Vérin hydraulique (Link-tilt) : à commande hydraulique, destinée pour la commande des bras de l'élevateur. L'élevateur doit être installé avec les poignées du côté opposé aux vérins du dispositif d'inclinaison des bras.
- Clé de secours (Backup wrench) : elle fait positionner les tiges de forage pour le serrage ou les desserrer avec l'arbre principal.

- Cylindre de préhension de clé de dévissage (Gripper cylindrer) : c'est une mâchoire composée d'un piston qui se déplace vers l'avant et vers l'arrière pour bien fixer la tige. [11]

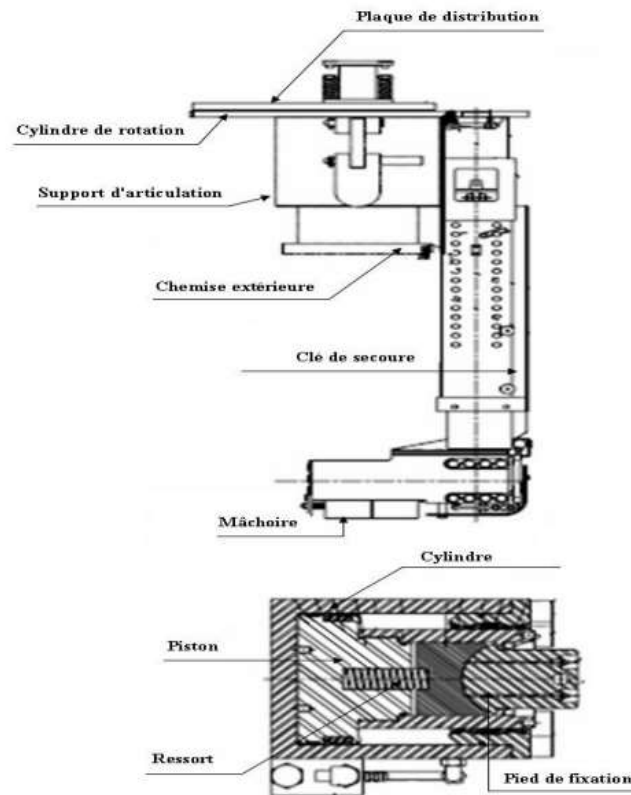


Figure II.15. Ensemble (clé de secours et mâchoire)

8). Les vannes de contrôle :

On compte deux vannes de contrôle de puits (UWCV et LWCV) :

- ❖ Vanne de contrôle de puits supérieure (UWCV) : Elle est à commande hydraulique et manuelle, montée à l'entrée de la boue, au-dessus du top drive (au niveau du bonnet).
- ❖ Vanne de contrôle de puits inférieure (LWCV) : Elle est à commande pneumatique ou hydraulique, qui est montée sur l'arbre creux au-dessous du top drive, commandée par un bouton dans la console. [11]

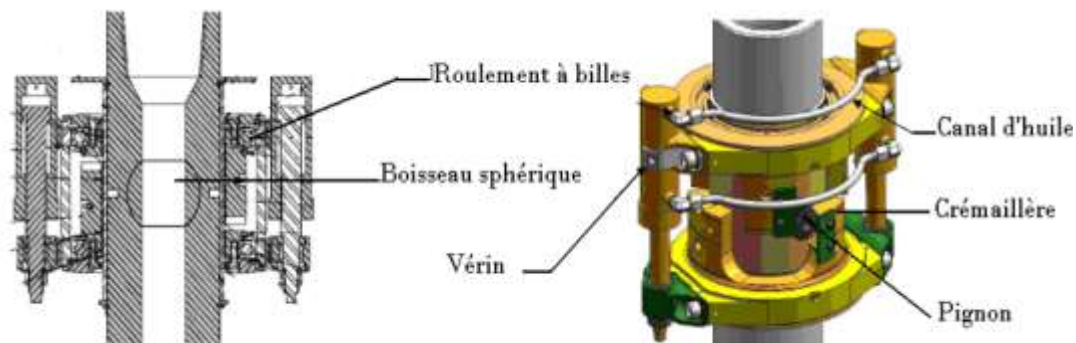


Figure II.16. Vanne de contrôle

9). La glissière :

Rail où se glisse le top drive, Elle est fixée au derrick du haut par le harpon et par deux guides vers le bas pour centrer le top drive sur une tige droite dans la table de rotation. [11]

II.13 Conclusion

La description du Top Drive a été présentée dans ce chapitre, ainsi que les différents types existants.

Une description précise de cet équipement en maintenance est essentielle pour une gestion efficace des actifs, une planification proactive de la maintenance, un diagnostic précis des problèmes, un suivi de la performance et une utilisation sécurisée des équipements.

Chapitre III

Notions de sûreté de fonctionnement et les
outils d'aide de maintenance

III.1 Introduction

Les entreprises sont de plus en plus sensibilisées à l'importance des pertes par les défaillances accidentelles des systèmes de production. Nous sommes plus conscients qu'elle peut contribuer d'une manière significative à la performance globale de l'entreprise. La complexité des mécanismes de dégradation des équipements a fait en sorte que la durée de vie de ces derniers soit toujours traitée comme une variable aléatoire. De plus, on a constaté que l'absence de données fiables et d'outils efficaces de traitement de ces données a réduit la fonction maintenance à des tâches de maintenance corrective, et par le fait même, à une fonction dont les coûts ne cessent d'augmenter et dont la contribution à la performance de l'entreprise n'est pas évidente.

Donc dans l'obligation d'assurer sa mise à niveau par l'optimisation de ses moyens humains, techniques et matériels, en vue d'assurer sa compétitivité dans un contexte où seuls les plus performants seront viables. Cette compétitivité ne se repose pas en termes de production seulement, mais aussi en termes de qualité de gestion de son service de maintenance.

Les outils d'analyse en maintenance sont des instruments, des logiciels ou des méthodologies utilisés pour évaluer, diagnostiquer et optimiser les processus de maintenance industrielle. Ils peuvent inclure des techniques telles que l'analyse des défaillances, la maintenance prédictive, la maintenance conditionnelle, l'analyse de la fiabilité, et plus encore. Ces outils aident à identifier les problèmes potentiels, à planifier les interventions de maintenance et à améliorer l'efficacité opérationnelle des équipements et des installations.

III.2 GENERALITES SUR LA MAINTENANCE

III.2.1 Définition de la maintenance

D'après la norme française NF EN 13306 X 60-319, la définition de la maintenance est "l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise".

Une fonction requise est une fonction, ou un ensemble de fonctions d'un bien considérées comme nécessaires pour fournir un service donné.

III.2.2 Rôle de la maintenance

Elle permet d'éviter les pertes de production et, par conséquent, d'éliminer tous les manques à gagner ». Son but premier est de conserver le potentiel de production, c'est-à-dire la disponibilité permanente et le rendement optimum des installations. Elle comporte :

- ✚ Surveillance en continu des machines ;
- ✚ Analyse et la formulation des travaux d'amélioration ;
- ✚ Gestion et la planification des travaux de maintenance ;
- ✚ Implantation et le suivi des programmes de maintenance préventive ;

- ✚ Gestion de l'information et de la documentation ;
- ✚ Gestion des ressources humaines et la formation ;
- ✚ Gestion du parc et des pièces et la gestion des budgets ;
- ✚ Conception des systèmes et achat et le remplacement des machines.

Le service maintenance doit mettre en œuvre la politique de maintenance définie par la direction de l'entreprise ; cette politique devant permettre d'atteindre le rendement maximal des systèmes de production. [12]

III.2.3 Objectifs de la maintenance

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

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

- **Améliorer la fiabilité du matériel** : La mise en œuvre de la maintenance préventive nécessite les analyses techniques du comportement du matériel. Cela permet à la fois de pratiquer une maintenance préventive optimale et de supprimer complètement certaines défaillances.
- **Garantir la qualité des produits** : La surveillance quotidienne des machines ou équipements est pratiquée pour détecter les symptômes de défaillance et veiller à ce que les paramètres de réglages et de fonctionnement soient respectés. Le contrôle des jeux (vibrations) et de la géométrie de l'équipement ou de la machine permet d'éviter les aléas de fonctionnement. La qualité des produits est ainsi assurée l'absence des rebuts.
- **Améliorer l'ordonnancement des travaux** : La planification des interventions de la maintenance préventive, correspondant au planning d'arrêt machine, devra être validée par le service production. Cela implique la collaboration de ce service, afin de faciliter la tâche de la maintenance. Les techniciens de maintenance sont souvent mécontents lorsque le responsable de production ne permet pas l'arrêt de l'installation, alors qu'il a reçu un bon de travail pour l'intervention. Une bonne coordination prévoit un arrêt selon un planning défini à l'avance prenant en compte les impossibilités en fonction des impératifs de production.
- **Assurer les sécurités humaines** : La préparation des interventions de maintenance préventive ne consiste pas seulement à respecter le planning, mais elle doit tenir compte aussi des critères de sécurité pour éviter les imprévus dangereux.
- **Améliorer la gestion de stock** : La maintenance préventive est planifiable. Elle maîtrise les échéances de remplacement des organes ou pièces, ce qui facilite la tâche de gestion des stocks. Elle permet aussi d'éviter de mettre en stock certaines pièces et ne les commander que le moment venu.
- **La sécurité** : La sécurité des personnes et des biens constitue une composante prioritaire des objectifs de la maintenance. [13]

III.2.4 Politique de maintenance

Choisir entre un type ou un autre de maintenance est une question cruciale, ceci constitue la stratégie de maintenance le plus souvent appelée politique de maintenance. Une stratégie de maintenance est une méthode de management utilisée en vue d'atteindre les objectifs de maintenance. Elle doit être fondée sur :

- 1) La connaissance technologique des biens concernés ;
- 2) Leurs conditions d'exploitation dans le système productif ;
- 3) Leur criticité dans le processus de production ;
- 4) Les coûts directs et indirects engendrés.

Les stratégies de maintenance peuvent être répertoriées en deux grandes catégories : la maintenance corrective et la maintenance préventive.

La maintenance corrective est la maintenance qui intervient suite à la défaillance du système alors que la maintenance préventive est réalisée lorsque le système est encore en fonctionnement. Le recours à l'une ou à l'autre de ces stratégies diffère suivant l'élément considéré mais aussi le type de structure, la politique d'exploitation et de suivi, les coûts, la disponibilité de l'information, etc. [14]

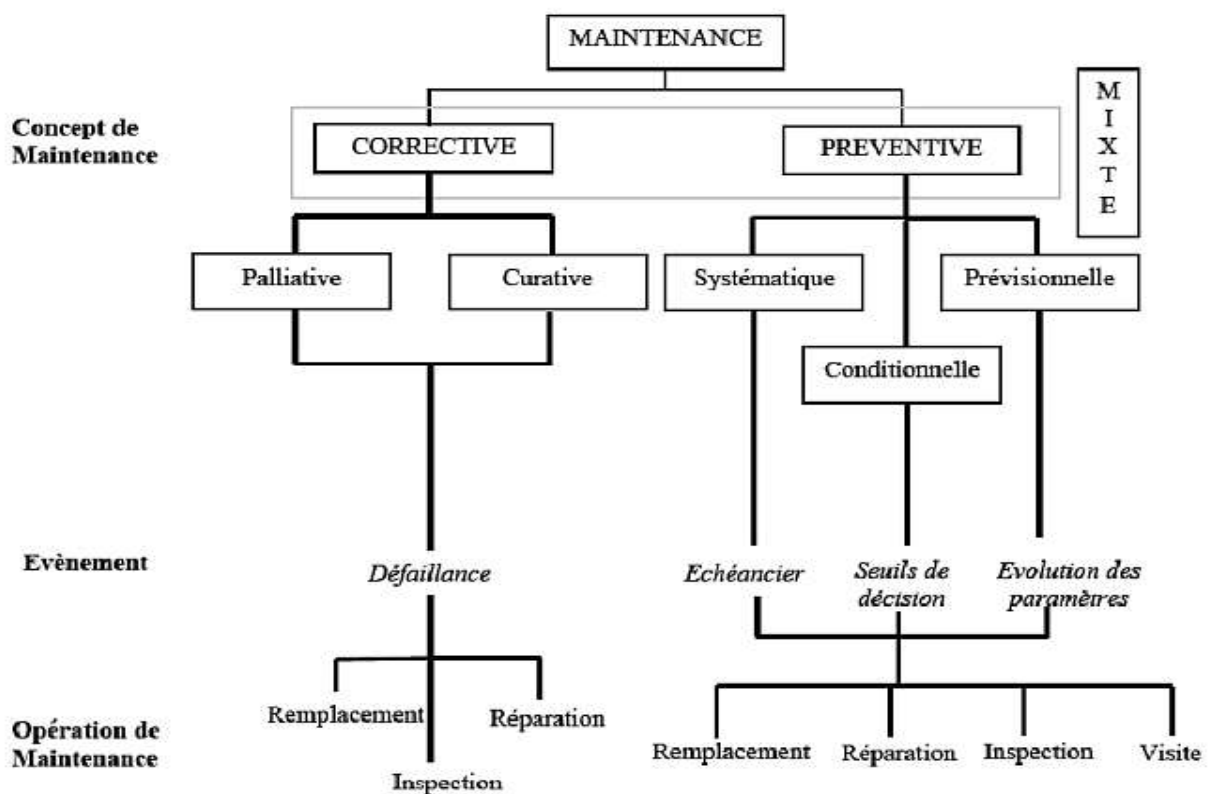


Figure III.1. Les différentes stratégies de maintenance

III.2.4.1 La maintenance corrective :

La maintenance corrective est l'ensemble des activités réalisées après la panne du système pouvant être liée à sa défaillance ou à la dégradation de sa fonction, elle a alors pour but de le remettre en état de marche. La maintenance corrective peut être :

- **Palliative** : des réparations ou des remises en état à caractère provisoire sont effectuées.
- **Curative** : des réparations, des modifications ou des remises en état à caractère permanent sont effectuées. Cette maintenance est utilisée lorsque l'indisponibilité du système n'a pas de conséquences majeures ou quand les contraintes de sécurité sont faibles.

III.2.4.2 La maintenance préventive :

La maintenance préventive a pour objet de réduire la probabilité de défaillance.

Par ailleurs, une maintenance préventive est intéressante, en considérant le coût comme critère d'évaluation, si les coûts induits par la perte de performance sont élevés et si les coûts de réparation et d'inspection sont relativement faibles par rapport aux premiers. La maintenance préventive peut être systématique, conditionnelle ou prévisionnelle.

- **Maintenance systématique** : est utilisée lorsque la maintenance préventive est réalisée à des intervalles. L'opération de maintenance est effectuée en respectant un calendrier préétabli, Aucune intervention n'a lieu avant l'échéance prédéterminée.

L'optimisation d'une maintenance préventive systématique consiste à déterminer au mieux la périodicité des opérations de maintenance sur la base du temps, du nombre de cycles de fonctionnement, du nombre de pièces produites, etc.

Exemple :

- Lubrifier les boîtes de vitesse des fraiseuses toutes les 200 heures ;
 - Changer les filtres des moteurs des chargeurs tous les 500 Km ;
 - Changer les roulements de guidage des broches des tours toutes les 5000 heures ;
 - Nettoyer les glissières chaque jour ;
 - Vérifier la tension des courroies chaque semaine ; ...etc.
- **Maintenance conditionnelle** : est utilisée lorsque l'opération de maintenance préventive est basée sur l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation ou de la baisse de performance d'une entité. Les paramètres significatifs de la dégradation peuvent être soit des mesures de caractéristiques physiques du système (épaisseur d'un matériau, degré d'érosion, température, pression, ...), soit des informations sur la durée de vie résiduelle (on parle alors de maintenance prédictive).

La planification des interventions repose sur l'existence et la détermination de seuils critiques pour ces paramètres de dégradation. On parle alors de seuils de décision.

Exemple :

– Procéder à un équilibrage des ventilateurs si le niveau vibratoire atteint 60 μm

(Seuil d'alarme) ;

– Prévoir un changement de roulement s'il y a une évolution de l'accélération mesurée à ce point;

– Vérifier les fours si les capteurs thermiques indiquent une chute de température dans la tuyauterie, ...etc.

➤ **Maintenance prévisionnelle :** On parle de maintenance prévisionnelle lorsque la maintenance préventive est réalisée en se basant sur l'estimation du temps de fonctionnement correct qui subsiste avant l'observation de l'événement redouté. Une maintenance prévisionnelle peut prendre en compte un âge du matériel qui n'est pas forcément calendaire mais par exemple le temps de fonctionnement mesuré depuis la dernière inspection.

III.2.4.2.1 Objectifs visés par le préventif :

- Augmenter la fiabilité des équipements, donc réduire les défaillances, leurs coûts et améliorer la disponibilité ;
- Augmenter la durée de vie efficace des équipements ;
- Diminuer le temps d'arrêt en cas de révisions ou de pannes ;
- Améliorer les conditions de travail ;
- Diminuer le budget de maintenance ;
- Faciliter la gestion des stocks (Consommation prévue).

Le choix entre ces deux politiques est un mélange harmonieux entre préventif et correctif afin de minimiser le coût total de maintenance. En effet selon la (**Figure III.2**) un manque d'entretien va provoquer beaucoup d'incidents et donc beaucoup de correctif, tandis que beaucoup de préventif va faire augmenter le coût total.

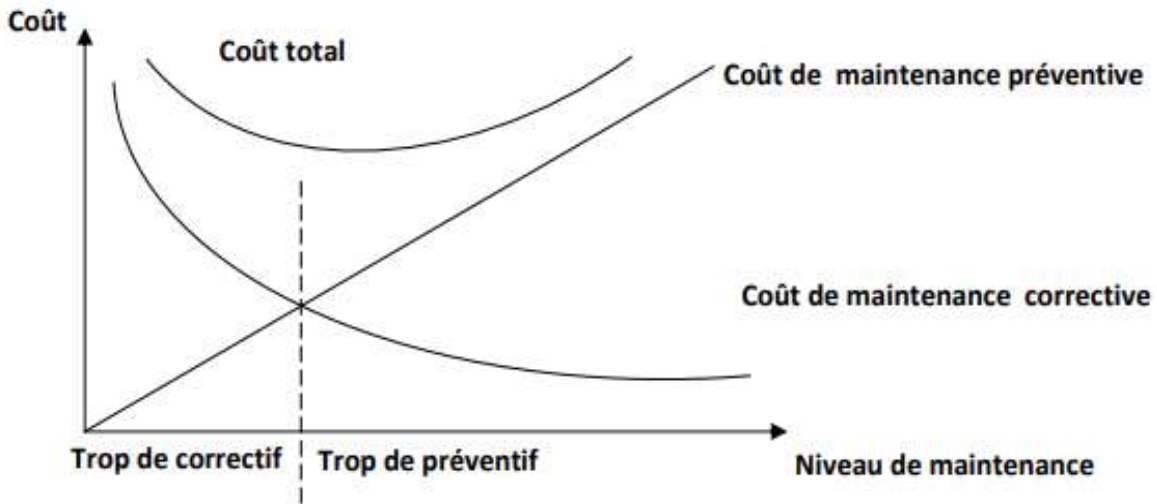


Figure III.2. Politique de maintenance

Dans le milieu industriel, en général, une maintenance mixte est appliquée aux systèmes.

En effet, la maintenance préventive est destinée à réduire la probabilité de défaillance mais il subsiste une part de maintenance corrective incompressible. Il est donc nécessaire de considérer des stratégies qui combinent les deux : maintenance corrective et maintenance préventive. [14]

III.2.5 Les coûts liés à la maintenance

III.2.5.1 Le coût de défaillance :

Nous adopterons le modèle suivant :

$$C_d = C_m + C_i$$

Avec :

C_d : coût de défaillance d'un équipement.

C_m : coût direct de maintenance (pièces et main d'œuvre).

C_i : coût indirect d'indisponibilité. [15]

III.2.5.2 Les coûts directs de maintenance (C_m) :

Ils peuvent se rapporter à une intervention corrective, préventive, ou externalisée.

Il est possible de regrouper les coûts de maintenance sous quatre rubriques :

$$C_m = C_{mo} + C_f + C_c + C_e$$

Avec :

- C_{mo} : dépenses de main d'œuvre.
- C_f : dépenses fixes du service maintenance (salaires, loyers, assurances, éclairage, reprographie, ...).
- C_c : dépenses de consommables (coûts des pièces, frais de transport, de stockage, ...).
- C_e : dépenses externalisées (c'est la facture du prestataire de service). [15]

III.2.5.3 Les coûts indirects d'indisponibilité (C_i) :

Ils intègrent toutes les conséquences économiques induites par un arrêt propre d'un équipement. Ils sont parfois nommés coûts de perte de production ou coûts de non-maintenance.

Les coûts d'indisponibilité prennent en compte :

- les coûts de pertes de production incluant les coûts de non-production (dépenses fixes non couvertes et dépenses variables non réincorporées), et la non-qualité de production provoquée par la défaillance des équipements productifs (coûts des rebuts et retouches),
- le surcoût de production (personnel, coûts des moyens de remplacement mis en œuvre, stock supplémentaire de pièces en attente en cas de défaillance,
- le manque à gagner de production (mévente et baisse du chiffre d'affaires),
- les pénalités commerciales,
- et les conséquences sur l'image de marque de l'entreprise (non chiffrables directement). [15]

III.2.6 Les activités de la maintenance

L'inspection

C'est un contrôle de conformité réalisé en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques significatives d'un bien.

En général, l'inspection peut être réalisée avant, pendant ou après d'autres activités de maintenance.

La surveillance

C'est l'activité exécutée manuellement ou automatiquement ayant pour objet d'observer l'état réel d'un bien.

La surveillance se distingue de l'inspection en ce qu'elle est utilisée pour évaluer l'évolution des paramètres du bien avec le temps.

La réparation

Ce sont les actions physiques exécutées pour rétablir la fonction requise d'un bien en panne.

Le dépannage

Ce sont les actions physiques exécutées pour permettre à un bien en panne d'accomplir sa fonction requise pendant une durée limitée jusqu'à ce que la réparation soit exécutée.

L'amélioration

Ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destinées à améliorer la sûreté de fonctionnement d'un bien sans changer sa fonction requise.

La modification

Ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destinées à changer la fonction d'un bien.

La révision

Ensemble complet d'examens et d'actions réalisés afin de maintenir le niveau requis de disponibilité et de sécurité.

La reconstruction

Action suivant le démontage d'un bien et la réparation ou le remplacement des composants qui approchent de la fin de leur durée de vie utile et/ou devraient être systématiquement remplacés.

La reconstruction diffère de la révision en ce qu'elle peut inclure des modifications et/ou améliorations.

L'objectif de la reconstruction est normalement de donner à un bien une vie utile qui peut être plus longue que celle du bien d'origine. [15]

III.2.7 Les temps de la maintenance

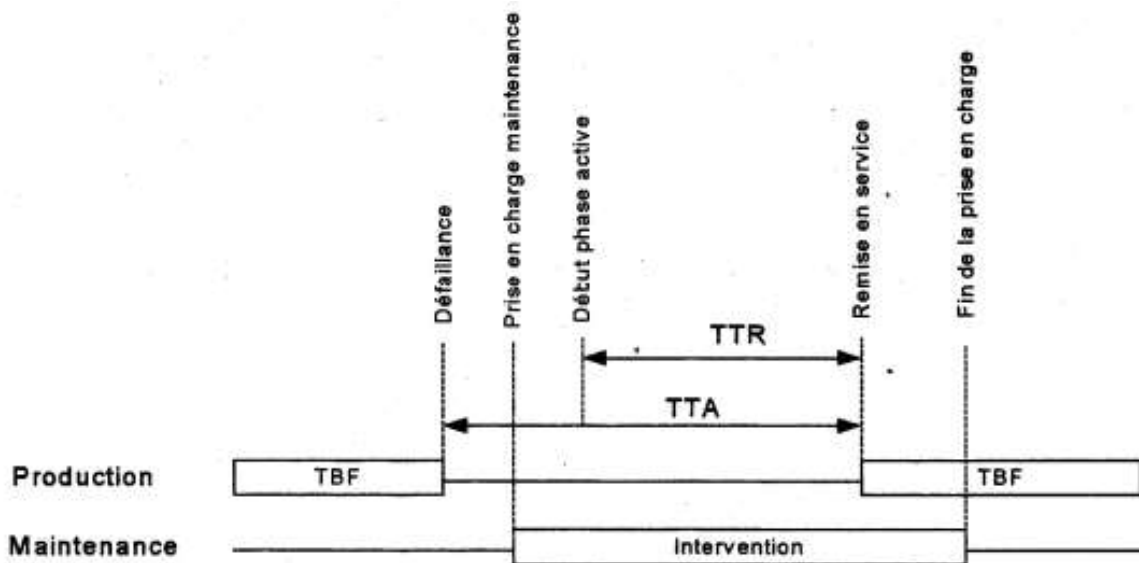


Figure III.3. Temps caractéristiques lors d'une intervention

III.2.7.1 La MTBF :

La MTBF est la moyenne des temps de bon fonctionnement (TBF).

Un temps de bon fonctionnement est le temps compris entre deux défaillances.

III.2.7.2 La MTTR :

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

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

III.2.7.3 La MTTA :

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

Les temps techniques d'arrêt sont une partie des temps d'arrêt que peut connaître un système de production en exploitation. Ils ont pour cause une raison technique et, ce faisant, sont à distinguer des arrêts inhérents à la production (attente de pièce, de matière, d'énergie, changement de production, etc.). [15]

III.2.8 Les niveaux de maintenance (norme FD X 60-000)

1^{er} niveau : Réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'éléments accessibles sans aucun démontage ou ouverture de l'équipement, ou échanges d'éléments consommables accessibles en toute sécurité, tels que voyants ou certains fusibles, etc.... Ce type d'intervention peut être effectué par l'exploitant du bien, sur place, sans outillage et à l'aide des instructions d'utilisation. Le stock des pièces consommables nécessaires est très faible.

2^e niveau : Dépannage par échange standard des éléments prévus à cet effet et opérations mineures de maintenance préventive, telles que graissage ou contrôle de bon fonctionnement. Ce type d'intervention peut être effectué par un technicien habilité de qualification moyenne, sur place, avec l'outillage portable défini par les instructions de maintenance, et à l'aide de ces mêmes instructions. On peut se procurer les pièces de rechange transportables nécessaires sans délai et à proximité immédiate du lieu d'exploitation.

3^e niveau : Identification et diagnostic des pannes, réparations par échange de composants ou d'éléments fonctionnels, réparations mécaniques mineures et toutes opérations courantes de maintenance préventive telles que réglage général ou réaligement des appareils de mesure. Ce type d'intervention peut être effectué par un technicien spécialisé, sur place ou dans le local de maintenance, à l'aide de l'outillage prévu dans les instructions de maintenance ainsi que des appareils de mesure et de réglage, et éventuellement des bancs d'essais et de contrôle des équipements et en utilisant l'ensemble de la documentation nécessaire à la maintenance du bien ainsi que les pièces approvisionnées par le magasin.

4^e niveau : Tous les travaux importants de maintenance corrective ou préventive à l'exception de la rénovation et de la reconstruction. Ce niveau comprend aussi le réglage des appareils de mesure utilisés pour la maintenance, et éventuellement la vérification des étalons du travail par les organismes spécialisés. Ce type d'intervention peut être effectué par une équipe comprenant un encadrement technique très spécialisé, dans un atelier spécialisé.

5^e niveau : Rénovation, reconstruction ou exécution des réparations importantes confiées à un atelier central ou à une unité extérieure. Par définition, ce type de travaux est donc effectué par le constructeur, ou par le reconstruteur, avec des moyens définis par le constructeur et donc proches de la fabrication.

[16]

Tableau III-1. Personnel d'intervention et les moyens de chaque niveau de maintenance

Niveau	Personnel d'Intervention	Moyens
1 ^{er}	Exploitant, sur place	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation

2 ^{eme}	Technicien habilité, sur place	Idem, plus pièces de rechanges trouvées à proximité, sans délai
3 ^{eme}	Technicien spécialisé, sur place ou en local de maintenance	Outillage prévu plus appareils de mesure, banc d'essais, contrôle...
4 ^{eme}	Equipe encadrée par un Technicien spécialisé, en atelier central	Outillage général plus spécialisé, matériel d'essais, contrôle...
5 ^{eme}	Equipe complète, polyvalente, en atelier central	Moyens proches de la fabrication par le constructeur

III.3 LES NOTIONS DE FIABILITÉ, MAINTENABILITÉ ET DISPONIBILITÉ (FMD)

III.3.1 Notion de Fiabilité

III.3.1.1 Définition de Fiabilité :

C'est la probabilité ($0 \leq R(t) \leq 1$) qu'a un produit d'accomplir de manière satisfaisante une fonction requise sous des conditions données et pendant une période de temps donnée.

"Caractéristique d'un bien exprimée par la probabilité qu'il accomplisse une fonction requise dans des conditions données pendant un temps donné" (NF X50 -500).

Ce qui peut s'exprimer par : $R(t) = P(T > t)$

L'aptitude contraire est appelée défiabilité, est définie par : $\bar{R}(t) = 1 - R(t) = p(t < T) = F(t)$

III.3.1.2 Indicateurs de fiabilité (λ) et (MTBF) :

- Taux de défaillances ou taux d'avaries (λ) : il représente le pourcentage de défaillances pendant un temps donné.

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

Et si λ est supposé constant : $\lambda = \frac{1}{MTBF}$

- Le **MTBF** (Mean Time Between Failure) est souvent traduit comme étant la moyenne des temps de bon fonctionnement mais représente la moyenne des temps entre deux défaillances.

Le MTBF peut être exprimé par le rapport des temps :

$$MTBF = \frac{\sum \text{Temps de bon fonctionnement entre les } n \text{ défaillances}}{\text{Nombre des temps de bon fonctionnement}}$$

$$MTBF = \frac{\sum_0^n TBF_i}{n}$$

Si λ est constant : $MTBF = \frac{1}{\lambda}$

[16]

III.3.2 Modèles de fiabilité

III.3.2.1 Modèle Exponentiel :

Il s'applique lorsque le taux de défaillance λ est considéré constant. C'est le cas de la période de maturité. Les pannes sont peu nombreuses et imprévisibles (aléatoires). [15]

Les équations suivantes sont donc utilisables :

• Fiabilité :

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

• MTBF :

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

III.3.2.2 Modèle de WEIBULL

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

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

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

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

a) Définitions des paramètres utilisés :

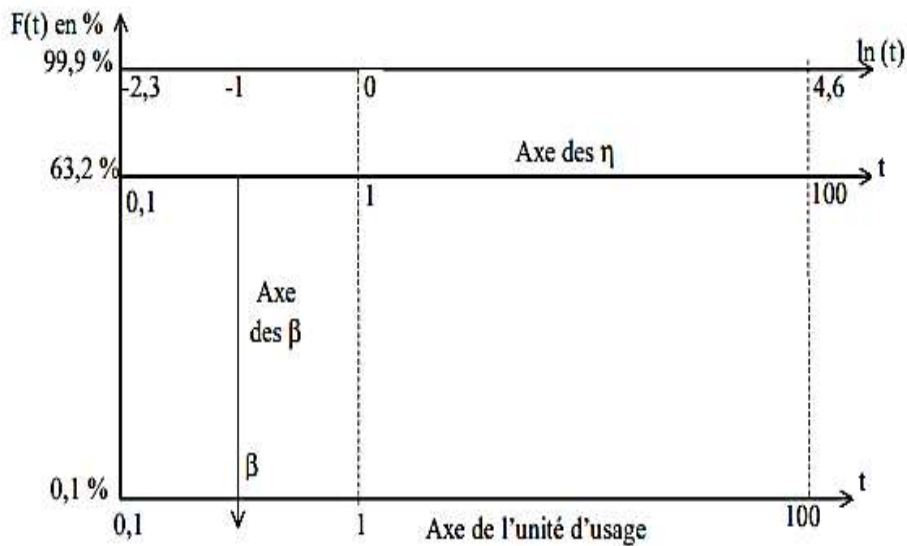
- Paramètres de Weibull :
 - β est le paramètre de forme.
 - η est le paramètre d'échelle.
 - γ est le paramètre de position.

- Fonction de Fiabilité $R(t)$: $R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$
- Fonction de répartition $F(t)$: $F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$
- Taux de défaillance $\lambda(t)$: $\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \times \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$
- MTBF : $MTBF = A\eta + \gamma$

b) Détermination graphique des paramètres de la loi de Weibull :

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

➤ Schématisation des axes :



L'axe des abscisses est gradué en logarithme décimal ($\log t$) et l'axe des ordonnées est gradué en logarithme népérien de logarithme népérien ($\ln(\ln(1/1-F(t)))$).

Figure III.4. Axe de l'unité d'usage

➤ Aspect du papier de Weibull :

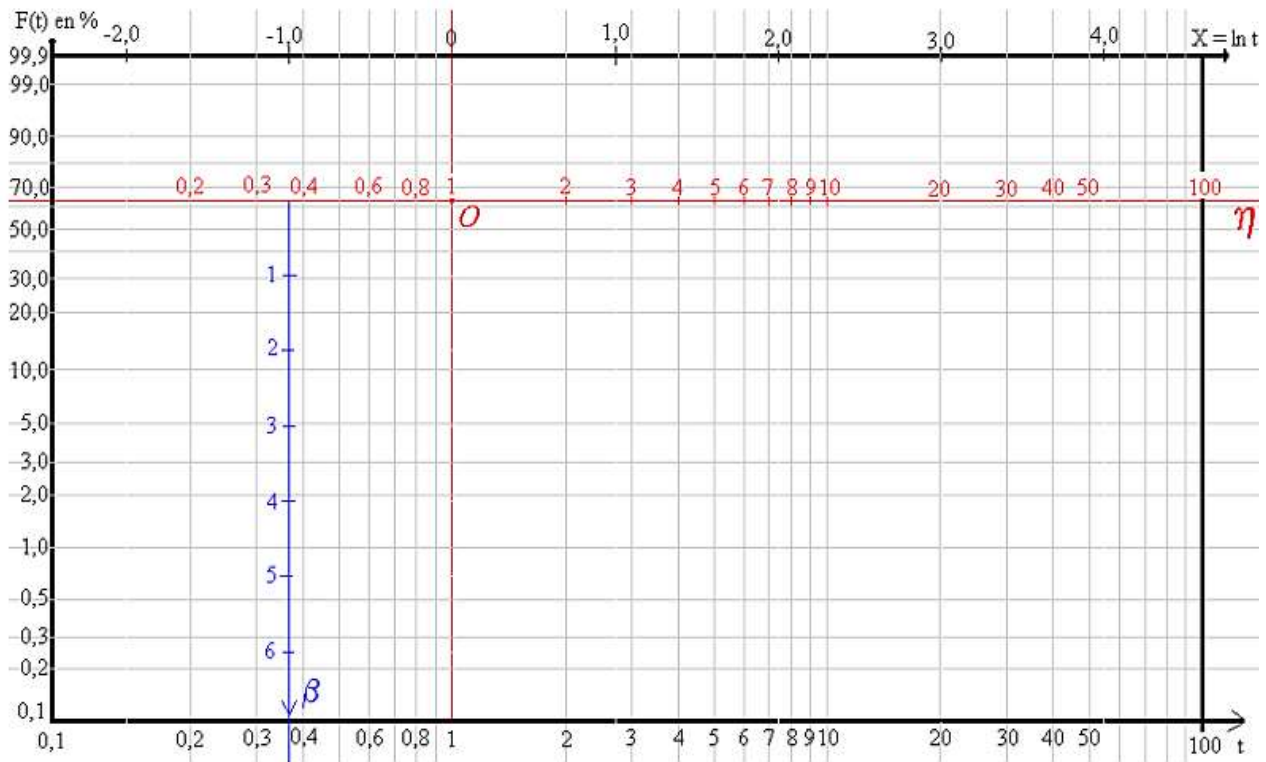


Figure III.5. Aspect du papier de Weibull

c) Méthodologie de Weibull :

- ❶ Consulter les historiques de pannes et dresser la liste des temps de bon fonctionnement entre deux défaillances.
- ❷ Classer ces temps par ordre croissant.
- ❸ Cumuler le nombre de défaillances (rang). Au premier temps il y a 1 avarie, au deuxième temps, il y en a 2, etc.
- ❹ Calculer les fréquences des avaries $F(i)$, en fonction de la taille N de l'échantillon :

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

- ❺ Reporter les points ainsi trouvés sur le papier de Weibull en plaçant les TBF en abscisse et les $F(i)$ en ordonnée.

- ⑥ Tracer la droite passant au mieux par les points obtenus.

Si les points sont alignés sur une droite, on a $\gamma = 0$.

- ⑦ Détermination des paramètres η et β :

- Le paramètre η est obtenu par l'intersection de la droite tracée avec l'axe des η lue sur ce dernier axe. L'échelle utilisée pour la lecture devra être la même que celle choisie pour l'axe de t .

- Le paramètre β est obtenu en traçant une parallèle à la droite précédente et passant par la valeur 1 de l'axe des η . La valeur de β se lit sur l'axe des β , à l'intersection avec la droite parallèle tracée ci-dessus.

- ⑧ Interpréter les résultats. [15]

III.3.3 Notion de Maintenabilité

III.3.3.1 Définition de Maintenabilité :

D'après la norme AFNOR X60-010 : Dans des conditions données d'utilisation, la maintenabilité est l'aptitude d'un dispositif à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accompli sa fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits.

Maintenabilité = être rapidement dépanné

La maintenabilité est donc une caractéristique précisant la facilité et la rapidité avec lesquelles un dispositif peut être remis en état. Cette définition, par analogie avec celle de la fiabilité comprend la notion de probabilité, on peut écrire donc $\mathbf{M(t) = Prob (t < T)}$.

III.3.3.2 Indicateurs de maintenabilité (MTTR) et (μ) :

- Taux de réparation (μ) :

Si μ est constant au cours du temps alors : $\mu = \frac{1}{MTTR}$

- Le **MTTR** (Mean Time To Repair) moyenne des temps de réparation.

$$MTTR = \frac{\sum \text{Temps de Réparation}}{\text{Nombre de Réparation}}$$

$$MTTR = \frac{\sum_0^n TTR_i}{n}$$

[16]

III.3.4 Notion de disponibilité

III.3.4.1 Définition de disponibilité :

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

III.3.4.2 Indicateurs de disponibilité :

L'indicateur de base de la disponibilité tel qu'il est défini dans la norme AFNOR X60-503 est de la forme suivante :

$$D = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)}$$

[16]

III.4 OUTILS D'AIDE DE MAINTENANCE

III.4.1 Diagramme des causes et effets (Diagramme d'Ishikawa)

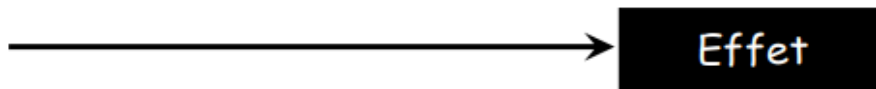
III.4.1.1 Définition :

Le diagramme causes-effet, également connu sous le nom de son auteur originel, le professeur Kaoru ISHIKAWA en 1943, ou le diagramme en arêtes de poisson, ou encore la méthode des 5M (Milieu ; Méthode ; Main d'œuvre ; Matière ; Matériel), est un outil destiné à analyser le rapport existant entre un problème et toutes les causes possibles.

III.4.1.2 Description et démarche de travail :

C'est un outil graphique de représentation organisée de toutes les causes possibles auxquelles le groupe a pensé.

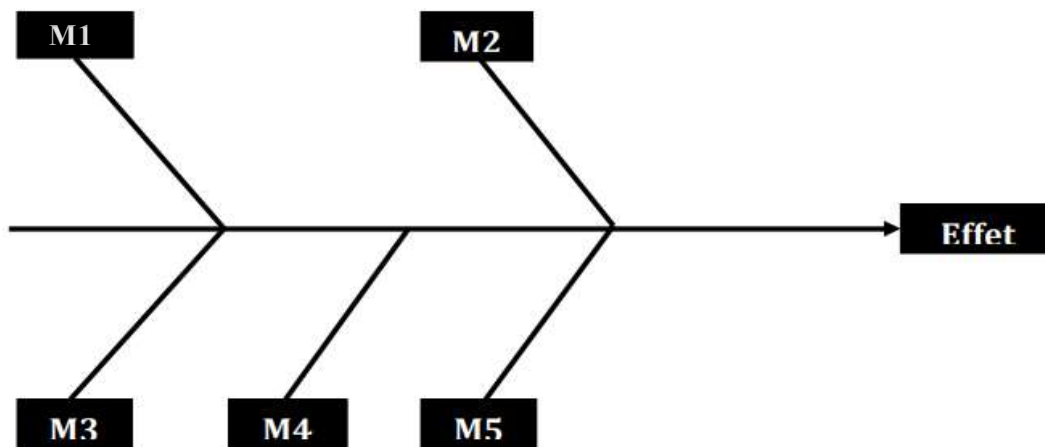
1. Tracer une grande flèche horizontale pointée vers l'effet (ou les symptômes).



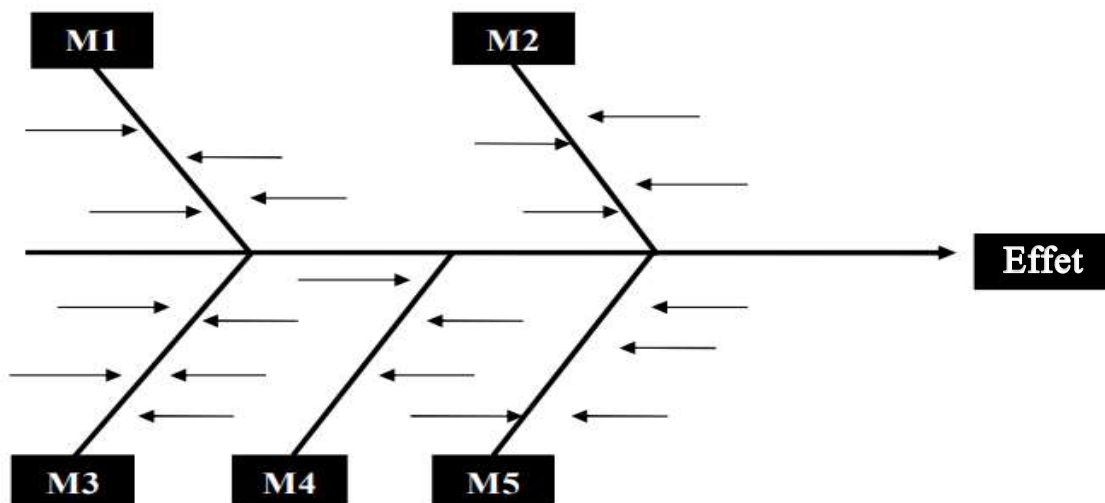
Pointée vers le problème identifié ou le but recherché.

2. Définir les familles de causes **appelées communément les cinq M.**

- a. **Matière : M1.** Recense les causes ayant pour origine les supports techniques et les produits utilisés.
 - b. **Main d'œuvre : M2.** Problème de compétence, d'organisation, de Management.
 - c. **Matériel : M3.** Causes relatives aux Machines, aux équipements et Moyens concernés.
 - d. **Méthode : M4.** Procédures ou modes opératoires utilisés.
 - e. **Milieu : M5.** Environnement physique : lumière, bruit, poussière, localisation, signalétique etc.
3. Tracer les flèches secondaires correspondant au nombre de familles de causes potentielles identifiées, et les raccorder à la flèche principale.



4. Répartir les causes par familles (éventuellement par sous-famille) et tracer les compartiments autour de chacune des flèches indiquant les causes ou les sous-familles. Si la représentation est trop compliquée, faire un diagramme pour chaque famille.
5. Inscire sur des mini flèches, les causes rattachées à chacune des familles. Il faut veiller à ce que toutes les causes potentielles apparaissent.



6. Rechercher parmi les causes potentielles exposées, les causes réelles du problème identifié. Ce sera notamment la cause la plus probable qu'il restera à vérifier dans la réalité et à corriger. [17]

III.4.2 Diagramme de PARETO ou méthode ABC

III.4.2.1 Origine de la méthode :

Elle est issue des travaux de Wilfredo Pareto (1848-1923) économiste italien né à Paris. Il constata en étudiant la répartition de l'impôt foncier aux USA que 15% des contribuables payaient 85% du total. Depuis, cette méthode se nomme loi de Pareto, loi des 15-85 ou 20-80.

III.4.2.2 Définition et intérêt de la méthode :

Le diagramme de Pareto (principe ou loi 80-20) est un graphique représentant l'importance de différentes causes sur un phénomène. Ce diagramme permet de mettre en évidence les causes les plus importantes sur le nombre total d'effet et ainsi de prendre des mesures ciblées pour améliorer une situation.

Elle permet de choisir entre plusieurs problèmes ceux qui doivent être traités en priorité. Elle permet donc de distinguer d'une façon claire les éléments importants de ceux qui le sont moins. Elle évite ainsi de ne pas se laisser accaparer par des travaux certes utiles mais de très faible importance par rapport au volume des autres travaux.

C'est le cas d'un service maintenance, où les tâches sont nombreuses et la main d'œuvre est parfois insuffisante, de plus, les technologies récentes coûtent cher. Il convient par conséquent de s'organiser d'une façon rationnelle, ainsi en appliquant la méthode ABC de Pareto on peut remédier à ce problème en déterminant exactement les types d'interventions à mener en priorité.

III.4.2.3 Méthodologie :

Elle consiste à classer les pannes par ordre décroissant de coûts (heures ou argent), chaque panne se rapporte à une machine, ou rubrique. Puis à établir un graphique faisant correspondre les pourcentages de coûts cumulés aux pourcentages de types de pannes de défaillances cumulés. On obtient ainsi un graphe montrant trois zones :

Zone A : Dans cette zone on constate que 20% des pannes représentent 80% des coûts, c'est la zone de priorité.

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

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

Pour construire cette courbe, il convient d'utiliser le tableau ci-dessous :

N° de machine	Classement par ordre croissant de coûts	Cumul des coûts	% des coûts	N° de pannes par machine	Cumuls des pannes	% de pannes cumulées
N_i	C_i	C_t	$\frac{\sum C_i}{100C_t}$	N_{pi}	N_{pt}	$\frac{\sum N_{pi}}{100N_{pt}}$

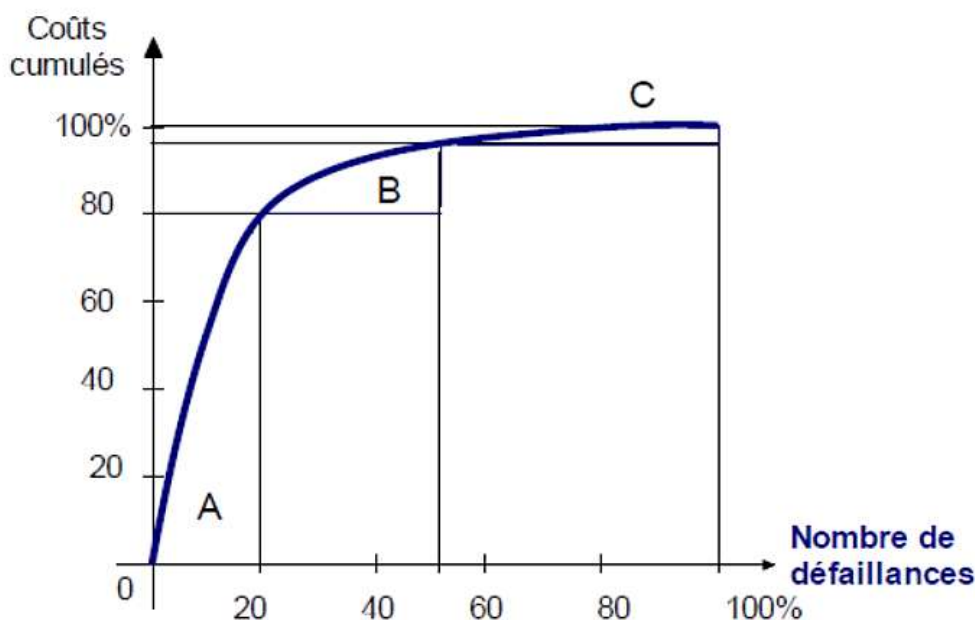


Figure III.6. Courbe de PARETO

Conclusions :

Les résultats obtenus vont ensuite permettre de prendre les décisions en termes de maintenance pour chaque classe :

1. il est évident que la préparation des travaux de maintenance doit porter sur les pannes de la zone A (éléments prioritaires), on organisera une politique basée sur la maintenance préventive systématique et conditionnelle (vibrations, bruit, huile, ... etc.) et une surveillance accrue des éléments fragiles. On améliore donc leur fiabilité et on prévoit des PDR avec une plus grande attention.
2. Pour les éléments de la classe B, on sera moins exigeant sur la politique et les méthodes de maintenance utilisées.
3. Enfin, pour ceux de la classe C, on n'exige pas ou peu de maintenance préventive. [16]

III.5 Conclusion

La théorie de la maintenance revêt une grande importance pour plusieurs raisons tel que la prévention des pannes, amélioration de fiabilité, gestion de cycle de vie des équipements et la sécurité, conformité réglementaire

En somme, la théorie de la maintenance fournit les bases conceptuelles et les outils nécessaires pour mettre en place des programmes de maintenance efficaces, durables et alignés sur les objectifs stratégiques de l'entreprise.

CHAPITRE IV

Amélioration de la politique de maintenance
de Top Drive CANRIG 8050 AC-712 à l'aide
de la loi PARETO

IV.1 Introduction

Le Top drive est développé pour améliorer les performances d'une plate-forme de forage, pour économiser du temps, de l'argent et réduire la charge pesant sur les opérateurs. Cependant, en Algérie, cet équipement présente souvent des problèmes d'indisponibilité en raison de l'absence d'un programme de maintenance préventive qui a été préconisé par le constructeur. Cela crée une accélération du vieillissement du Top Drive.

Dans ce chapitre, on va appliquer une méthode d'analyse de défaillance (la loi Pareto) sur cinq top drives identiques de type Canrig 8050 AC-712 à partir de l'historique des pannes donné par l'entreprise nationale de forage pendant deux années (2022-2024). Et on va essayer de déterminer les sous-ensembles les plus pénalisants, puis on va poser des instructions préalables dans la maintenance préventive pour améliorer le fonctionnement de cet équipement et réduire ses pannes, ses arrêts et son indisponibilité.

IV.2 Canrig 8050 Ac-712

CANRIG est l'un des principaux fournisseurs mondiaux de systèmes de forage dans l'industrie pétrolière et gazière. L'entreprise fabrique des marchés et maintient une gamme complète de produits de qualité supérieure. Systèmes d'entraînement antérieurs, mobiles et stationnaires, conçus de manière critique pour la plupart des systèmes terrestres et offshore plates-formes. Cela inclut des moteurs de qualité supérieure dans toutes les tailles et configurations pour répondre à tous applications de forage. Les entraînements supérieurs CANRIG sont conçus et fabriqués selon les normes API, y compris la norme de sécurité et de fiabilité. Le CANRIG Top Drive Type 8050AC-712 est alimenté par un courant alternatif asynchrone moteur électrique ; il est utilisé pour transformer l'énergie électrique en énergie mécanique pour assurer la rotation du train de tiges.

IV.3 Détermination des éléments les plus pénalisants dans le critère d'indisponibilité

IV.3.1 Décomposition du Top Drive en plusieurs sous-ensembles

Sur la base des données techniques disponibles, nous avons considéré certains éléments essentiels pour le fonctionnement du Top Drive. Les sous-ensembles sur lesquels l'étude a été réalisée sont :

S1 : Back up wrench.

S2 : Rotary Manifold.

S3 : Torque Boost.

S4 : HPU (pompe).

S5 : Gear box.

S6 : Wash pipe.

S7 : IBOP.

S8 : Moteur électrique – Blower.

S9 : Systeme Contre Balance.

S10 : Gripper.

S11 : Link Tilt.

IV.3.2 Les éléments avec un taux d'indisponibilité

Sur la base du critère de disponibilité, les données collectées dans les fichiers d'historique des pannes de cinq Top Drives identiques pendant deux ans ont été analysées en utilisant la méthode PARETO, Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau IV-1. Historique des éléments avec un taux d'indisponibilité pour les Top Drives

Ordre	Sous Ensemble	Nombre de pannes (n)	TTR (h)	n×T (Indisponibilité)
1	Back up wrench	13	72	936
2	Rotary Manifold	10	192	1920
3	Torque Boost	16	18	288
4	HPU (pompe)	22	10	220
5	Gear box	14	170	2380
6	Wash pipe	49	12	588
7	IBOP	15	26	390
8	Moteur électrique - Blower	9	13	117
9	Systeme Contre Balance	7	120	840
10	Gripper	5	36	180
11	Link Tilt	5	144	720

Nous allons classer le tableau ci-dessus (**Tableau IV-2**), par ordre décroissant de l'indisponibilité. Le pourcentage des nombres cumulés de l'indisponibilité nous a permis de déterminer les éléments (sous-ensembles) plus pénalisants en matière de l'indisponibilité et faire la courbe ABC (Pareto) dessus le (**Tableau IV-2**).

Tableau IV-2. Classement des éléments en matière d’indisponibilité (Analyse ABC)

Element	% Element	n×T (Indisponibilité)	% Indisponibilité	Cumule %Indisponibilité
5	9.09	2380	27.74	27.74
2	18.18	1920	22.38	50.12
1	27.27	936	10.91	61.03
9	36.36	840	9.79	70.82
11	45.45	720	8.39	79.21
6	54.54	588	6.85	86.06
7	63.63	390	4.55	90.61
3	72.72	288	3.36	93.97
4	81.81	220	2.56	96.53
10	90.9	180	2.1	98.63
8	100	117	1.36	100

À partir du tableau (**Tableau IV-2**), on peut tracer la courbe de PARETO (**Figure IV.1**) ; cette courbe représente le pourcentage des nombres cumulés de l'indisponibilité (Cumule % Indisponibilité) en fonction du pourcentage des nombres des éléments (% Élément) :

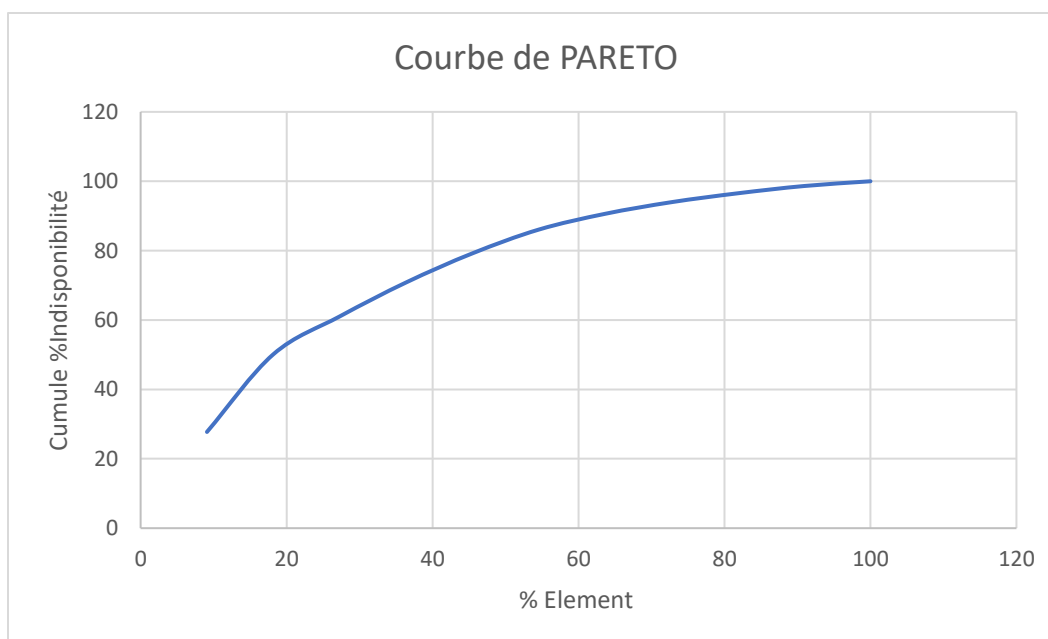


Figure IV.1. Taux d’indisponibilité en fonction du taux d’éléments

IV.3.3 Interprétation du graphe de PARETO

D'après la courbe de PARETO (la loi ABC) on voit clairement que les trois sous-ensembles (**S5**: Gear box, **S2**: Rotary manifold, **S1**: Back up Wrench) qui représentent 27,27% des éléments sont responsables de 61,03% de l'indisponibilité globale des Top drives CANRIG 8050 AC-712.

Les sous-ensembles les plus pénalisants en indisponibilité et qui provoquent l'indisponibilité du CARNIG Top Drives avec un taux de 61,03% sont :

S5 : Gear box.

S2 : Rotary Manifold.

S1 : Back up wrench.

Dans le graphe de la figure (**Figure IV.1**), on constate que les éléments qui se trouvent dans la zone A sont ceux sur lesquels il faudra agir prioritairement.

IV.4 Etude de la fiabilité du Top Drives

IV.4.1 Application du model de Weibull

Les trois tableaux suivants (**Tableau IV-3** ; **Tableau IV-4** et **Tableau IV-5**) comportent les TBF (de trois sous-ensembles pénalisants) classés par ordre croissant, et les F(t) calculés par la méthode des rangs médians $F(i) = \frac{i-0.3}{n+0.4}$ (dans notre cas $N < 20$).

➤ **Description du Papier fonctionnel de Weibull :**

D'après les papiers de Weibull ou (graphes de $\ln [-\ln (1-F(i))]$ en fonction de $\ln (\text{TBF})$) tracés sous chacun des trois tableaux ci-dessous, on peut lire graphiquement les paramètres d'une loi de Weibull dans le cas où le paramètre γ est nul.

En effet la fonction de répartition associée à une loi de Weibull de paramètres $\beta, \gamma=0, \eta$ est définie par :

$$\begin{aligned}
 F(t) &= 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} & \ln(1 - F(t)) &= -\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta & -\ln(1 - F(t)) &= \left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta \\
 & \longleftrightarrow & & \longleftrightarrow & \\
 \ln(-\ln(1 - F(t))) &= \beta \ln \frac{t}{\eta} & \longleftrightarrow & \ln(-\ln(1 - F(t))) &= \beta \ln t - \beta \ln \eta \\
 & \longleftrightarrow & & & \\
 Y &= \beta x - \beta \ln \eta
 \end{aligned}$$

Dans le repère (O ; X ; Y) on a l'équation de la droite tracée en fonction de $\ln (\text{TBF})$:

$$Y = \beta x - b \text{ qui correspond la dernière équation obtenue : } Y = \beta x - \beta \ln \eta \text{ où l'on trouve que } b = -\beta \ln \eta$$

Le paramètre β est la pente de cette droite.

a. Pour le sous-ensemble S5 (Gear box) :

Selon l'historique des pannes concernant cet élément, on voit qu'il possède quatorze temps de bon fonctionnement (TBF), d'où le nombre d'échantillon étudié est n=14. Le résultat de calcul est donné sous forme d'un tableau (Tableau IV-3) suivant :

Tableau IV-3. Étude de modèle de Weibull (Gear Box)

Nombre	TBF	Ln (TBF)	F(i)=(i-0.3)/(n+0.4)	[-Ln (1-F(i))]	Ln [-Ln (1-F(i))]
1	2400	7.783224	0.048611	0.049832	-2.999090
2	3096	8.037866	0.118055	0.125626	-2.074444
3	3502	8.161089	0.1875	0.207639	-1.571952
4	3720	8.221478	0.256944	0.296984	-1.214075
5	4032	8.302017	0.326388	0.395102	-0.928610
6	4680	8.451053	0.395833	0.503905	-0.685367
7	4944	8.50593	0.465277	0.626007	-0.468392
8	5544	8.620471	0.534722	0.765120	-0.267721
9	6288	8.746398	0.604166	0.926762	-0.076058
10	6552	8.787525	0.673611	1.119665	0.113030
11	7272	8.891786	0.743055	1.358895	0.306672
12	8448	9.041685	0.8125	1.673976	0.515201
13	11280	9.330786	0.881944	2.136599	0.759215
14	14112	9.554780	0.951388	3.023903	1.106548

❖ **Représentation graphique :**

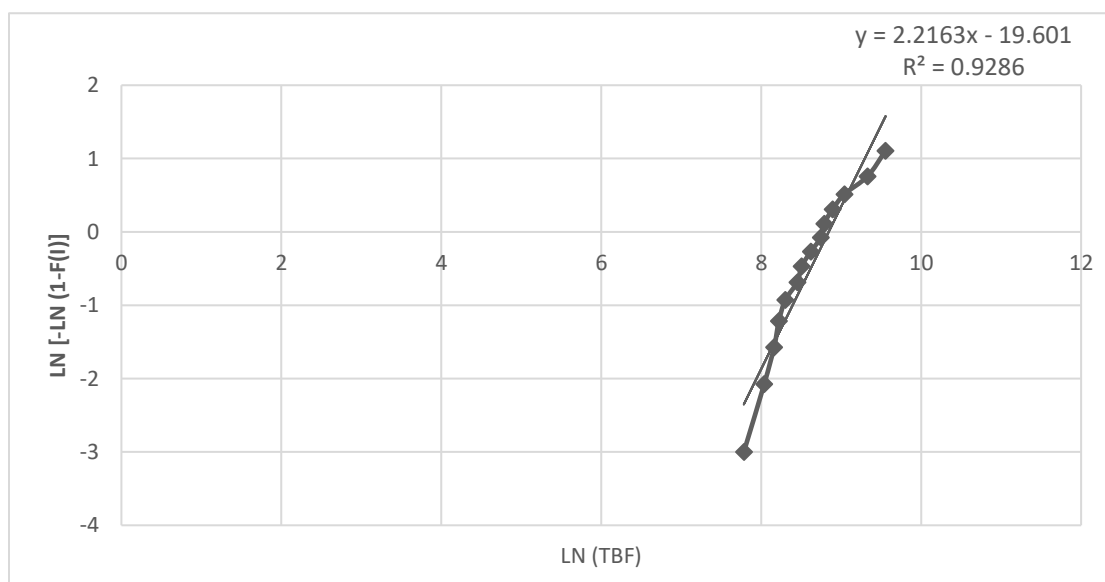


Figure IV.2. Papier de WEIBULL en logiciel Excel (S5)

❖ **Détermination des paramètres de Weibull (β ; η ; γ) :**

Du graphe (**Figure IV.2**) on trouve que l'équation de la droite tracée en fonction de Ln (TBF) est :

$$Y = 2,2163X - 19,601 \dots\dots\dots(1)$$

Et on a : $Y = \beta_1.X + b \dots\dots\dots(2)$

En appariant (1) et (2), on trouve : $\beta_1 = 2,2163$ et $b = -19,601$

Pour trouver le paramètre η on a : $b = -\beta_1 \times \text{Ln}(\eta)$

Alors : $-19,601 = -2,2163 \times \text{Ln}(\eta_1) \Rightarrow \text{Ln}(\eta_1) = \frac{19,601}{2,2163} \Rightarrow \eta_1 = e^{\frac{19,601}{2,2163}} = 6932,8$

Donc les paramètres sont :

$\beta_1 = 2,2163$; $\eta_1 = 6932,8$ et on prend $\gamma_1 = 0$.

b. Pour le sous-ensemble S2 (Rotary Manifold) :

Selon l'historique des pannes concernant cet élément, on voit qu'il possède dix temps de bon fonctionnement (TBF), d'où le nombre d'échantillon étudié est $n=10$. Le résultat de calcul est donné sous forme d'un tableau (**Tableau IV-4**) suivant :

Tableau IV-4. Étude de modèle de Weibull (Rotary Manifold)

Nombre	TBF	Ln (TBF)	$F(i)=(i-0.3)/(n+0.4)$	$[-\text{Ln} (1-F(i))]$	$\text{Ln} [-\text{Ln} (1-F(i))]$
1	1872	7.534762	0.067307	0.069679	-2.663843
2	3264	8.090708	0.163461	0.178482	-1.723263
3	4128	8.325548	0.259615	0.300585	-1.202023
4	6432	8.769040	0.355769	0.439698	-0.821666
5	8088	8.998136	0.451923	0.601339	-0.508595
6	9600	9.169518	0.548076	0.794243	-0.230365
7	10296	9.239510	0.644230	1.033472	0.032924
8	11256	9.328656	0.740384	1.348554	0.299032
9	13896	9.539356	0.836538	1.811177	0.593977
10	14424	9.576648	0.932692	2.698480	0.992688

❖ **Représentation graphique :**

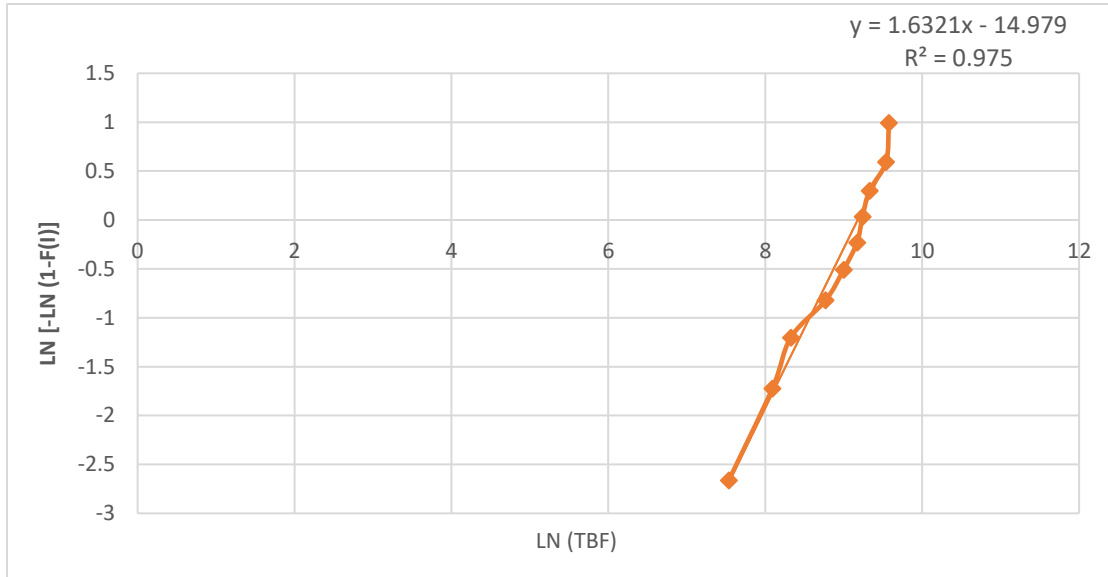


Figure IV.3. Papier de WEIBULL en logiciel Excel (S2)

❖ **Détermination des paramètres de Weibull (β ; η ; γ) :**

Du graphe (**Figure IV.3**) on trouve que l'équation de la droite tracée en fonction de Ln (TBF) est :

$$Y = 1,6321X - 14,979 \dots\dots\dots(1)$$

Et on a : $Y = \beta_2 \cdot X + b \dots\dots\dots(2)$

En appariant (1) et (2), on trouve : $\beta_2 = 1,6321$ et $b = -14,979$

Pour trouver le paramètre η on a : $b = -\beta_2 \times \text{Ln}(\eta_2)$

Alors : $-14,979 = -1,6321 \times \text{Ln}(\eta_2) \Rightarrow \text{Ln}(\eta_2) = \frac{14,979}{1,6321} \Rightarrow \eta_2 = e^{\frac{14,979}{1,6321}} = 9679,32$

Donc les paramètres sont :

$B_2 = 1,6321$; $\eta_2 = 9679,32$ et on prend $\gamma_2 = 0$.

c. Pour le sous-ensemble S1 (Back up wrench) :

Selon l'historique des pannes concernant cet élément, on voit qu'il possède treize temps de bon fonctionnement (TBF), d'où le nombre d'échantillon étudié est $n=10$. Le résultat de calcul est donné sous forme d'un tableau (**Tableau IV-5**) suivant :

Tableau IV-5. Étude de modèle de Weibull (Back up Wrench)

Nombre	TBF	Ln (TBF)	$F(i)=(i-0.3)/(n+0.4)$	$[-Ln (1-F(i))]$	$Ln [-Ln (1-F(i))]$
1	2592	7.860185	0.052238	0.053652	-2.925223
2	3072	8.030084	0.126865	0.135665	-1.997560
3	3432	8.140898	0.201492	0.225010	-1.491606
4	3960	8.283999	0.276119	0.323128	-1.129704
5	4320	8.371010	0.350746	0.431931	-0.839487
6	4632	8.440744	0.425373	0.554034	-0.590528
7	5592	8.629092	0.5	0.693147	-0.366512
8	7008	8.854807	0.574626	0.854788	-0.156901
9	7800	8.961879	0.649253	1.047692	0.046589
10	9432	9.151863	0.723880	1.286921	0.252253
11	10128	9.223059	0.798507	1.602002	0.471254
12	10848	9.291736	0.873134	2.064626	0.724949
13	13704	9.525443	0.947761	2.951929	1.082459

❖ Représentation graphique :

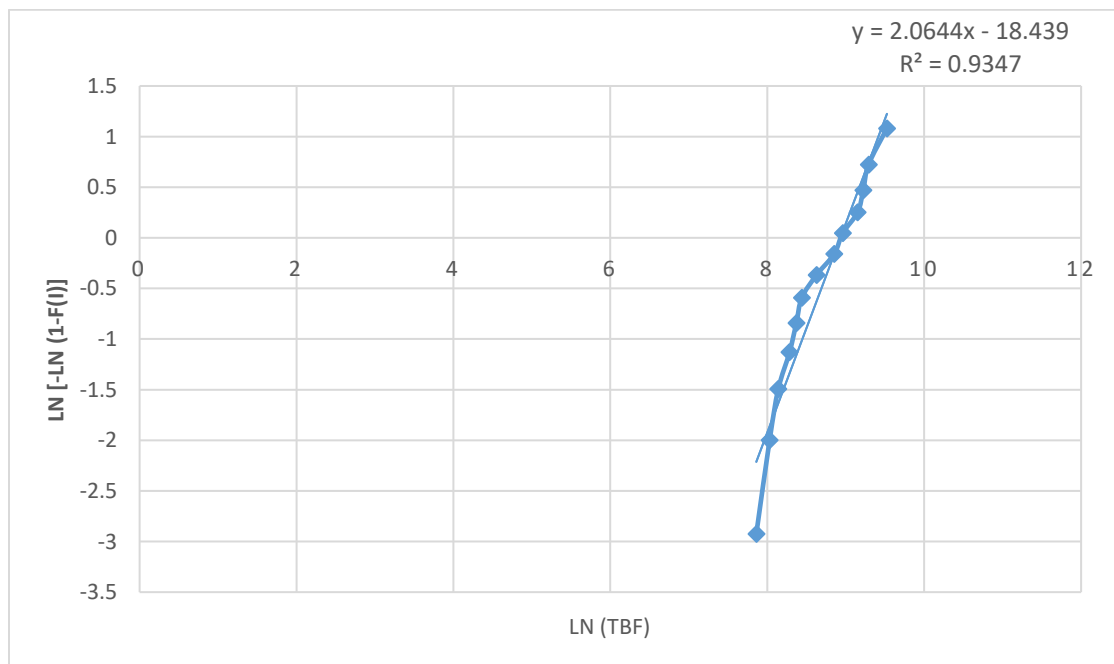


Figure IV.4. Papier de WEIBULL en logiciel Excel (SI)

❖ **Détermination des paramètres de Weibull (β ; η ; γ) :**

Du graphe (**Figure IV.4**) on trouve que l'équation de la droite tracée en fonction de Ln (TBF) est :

$$Y = 2,0644X - 18,439 \dots\dots\dots(1)$$

Et on a : $Y = \beta_3.X + b \dots\dots\dots(2)$

En appariant (1) et (2), on trouve : $\beta_3 = 2,0644$ et $b = -18,439$

Pour trouver le paramètre η_3 on a : $b = -\beta_3 \times \text{Ln}(\eta_3)$

Alors : $-18,439 = -2,0644 \times \text{Ln}(\eta_3) \Rightarrow \text{Ln}(\eta_3) = \frac{18,439}{2,0644} \Rightarrow \eta_3 = e^{\frac{18,439}{2,0644}} = 7569,58$

Donc les paramètres sont :

$B_3 = 2,0644$; $\eta_3 = 7569,58$ et on prend $\gamma_3 = 0$.

IV.4.2 Calcul de la fiabilité R(t)

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

D'après l'étude de PARETO (la loi ABC) que nous avons menée, on constaté qu'il existe 3 éléments pénalisants, donc on prend l'expression de la fiabilité comme suit :

$$R_s(t) = \exp - \left[\left(\frac{t - \gamma_1}{\eta_1} \right)^{\beta_1} + \left(\frac{t - \gamma_2}{\eta_2} \right)^{\beta_2} + \left(\frac{t - \gamma_3}{\eta_3} \right)^{\beta_3} \right]$$

IV.4.3 Détermination de nombre d'intervention (Ni)

Comme notre étude basée sur un fichier historique des pannes pendant deux ans qui correspond à 17520 h ouvrables.

On calcul le nombre d'intervention comme suit :

$$Ni = \frac{17520}{(T + TTR)}$$

Où :

T : Échéancier. (en heure)

TTR : la moyenne des temps techniques de réparation, dans ce cas on prend le grand TTR parmi les trois éléments. (en heure)

IV.4.4 Détermination de temps d'arrêt (T_a)

Il représente le produit de la probabilité de défaillance $[1-R(t)]$ et le temps horaire pour la période prise en compte pour les pannes (2ans), ce produit est caractérisé par la relation suivante :

$$T_a = 17520 \times [1-R(t)]$$

IV.5 Analyse des coûts de maintenance

On a calculé les coûts sur la base des relations indiquées dans les rubriques suivantes et on a créé le tableau ci-dessous (**Tableau IV-7**) :

IV.5.1 Coûts directs de maintenance (C_{mi})

De manière simple, ce sont les pièces de rechange et la main d'œuvre sont caractérisant dans cette expression :

$$C_{mi} = C_{mo} + C_p$$

Donc on a l'expression de somme des coûts directs de maintenance des sous-ensembles est :

$$C_m = \sum C_{mi}$$

Où :

C_{mo} : Coût de main d'œuvre.

C_p : Coût de pièces de rechange.

C_{mi} : Coûts directs de maintenance d'un sous-ensemble.

C_m : Coûts directs de maintenance de tous les sous-ensembles.

Et la relation de coût de maintenance totale (C_{mt}) est défini par :

$$C_{mt} = C_m \times N_i$$

Et à partir des données disponibles au niveau de l'atelier nous avons indiqué dans ce tableau les couts de maintenance de chaque élément :

Tableau IV-6. Les couts de maintenance des éléments pénalisants

Elément	C_{mi} (DZD)
Gear Box	2162000
Rotary Manifold	3255000
Back up Wrench	1283000
C_m (DZD)	6700000

IV.5.2 Coût de perte de production (C_{pp})

Le coût de perte de production (C_{pp}) est calculé par le produit suivant :

$$C_{pp} = T_a \times C_{pph}$$

Où :

C_{pph} : Coût horaire de perte de production.

T_a : Temps d'arrêt.

IV.5.3 Coût de défaillance (C_d)

Le coût de défaillance représente la somme des coûts de maintenance (C_m) et les coûts de pertes de production (C_{pp}), cette somme est caractérisée par la relation suivante :

$$C_d = C_m + C_{pp}$$

Tableau IV-7. Analyse des coûts liés à la maintenance

R(t)	T (h)	Ni	C_{mt} (DZD)	T_a (h)	C_{pp} (DZD)	C_d (DZD)
0.993	340	32.9323	220646616.5	122.64	15227718.24	235874334.8
0.992	370	31.1743	208868327.4	140.16	17403106.56	226271434
0.991	385	30.3639	203438474.9	157.68	19578494.88	223016969.8
0.99	415	28.8632	193383855	175.2	21753883.2	215137738.2
0.989	430	28.1672	188720257.2	192.72	23929271.52	212649528.8
0.988	460	26.8711	180036809.8	210.24	26104659.84	206141469.7
0.987	475	26.2668	175988006	227.76	28280048.16	204268054.2
0.986	490	25.6891	172117302.1	245.28	30455436.48	202572738.5
0.985	505	25.1362	168413199.4	262.8	32630824.8	201044024.2
0.984	535	24.0990	161463548.8	280.32	34806213.12	196269762
0.983	550	23.6118	158199460.9	297.84	36981601.44	195181062.4
0.982	565	23.1439	155064729.2	315.36	39156989.76	194221719
0.981	580	22.6943	152051813.5	332.88	41332378.08	193384191.6
0.98	595	22.2617	149153748.4	350.4	43507766.4	192661514.8
0.979	610	21.8453	146364089.8	367.92	45683154.72	192047244.5
0.978	625	21.4443	143676866.6	385.44	47858543.04	191535409.6
0.977	640	21.0576	141086538.5	402.96	50033931.36	191120469.8
0.976	655	20.6847	138587957.5	420.48	52209319.68	190797277.2
0.975	670	20.3248	136176334.1	438	54384708	190561042.1
0.974	685	19.9771	133847206.4	455.52	56560096.32	190407302.7
0.973	700	19.6412	131596412.6	473.04	58735484.64	190331897.2
0.972	715	19.3164	129420066.2	490.56	60910872.96	190330939.1

0.971	730	19.0021	127314533.6	508.08	63086261.28	190400794.9
0.97	745	18.6979	125276414.1	525.6	65261649.6	190538063.7
0.969	760	18.4033	123302521	543.12	67437037.92	190739558.9
0.968	775	18.1178	121389865.6	560.64	69612426.24	191002291.8
0.967	780	18.0246	120765432.1	578.16	71787814.56	192553246.7
0.966	790	17.8411	119535641.5	595.68	73963202.88	193498844.4
0.965	805	17.5727	117737211.6	613.2	76138591.2	193875802.8
0.964	820	17.3122	115992094.9	630.72	78313979.52	194306074.4
0.963	835	17.0593	114297955.2	648.24	80489367.84	194787323
0.962	850	16.8138	112652591.2	665.76	82664756.16	195317347.3
0.961	855	16.7335	112114613.2	683.28	84840144.48	196954757.7
0.96	865	16.5752	111053926.2	700.8	87015532.8	198069459
0.95	985	14.8853	99731520.82	876	108769416	208500936.8
0.94	1075	13.8279	92647198.11	1051.2	130523299.2	223170497.3
0.93	1165	12.9108	86502579.22	1226.4	152277182.4	238779761.6
0.92	1255	12.1078	81122322.05	1401.6	174031065.6	255153387.6
0.91	1345	11.3988	76372153.55	1576.8	195784948.8	272157102.3
0.9	1420	10.8684	72818858.56	1752	217538832	290357690.6

❖ Représentation graphique :

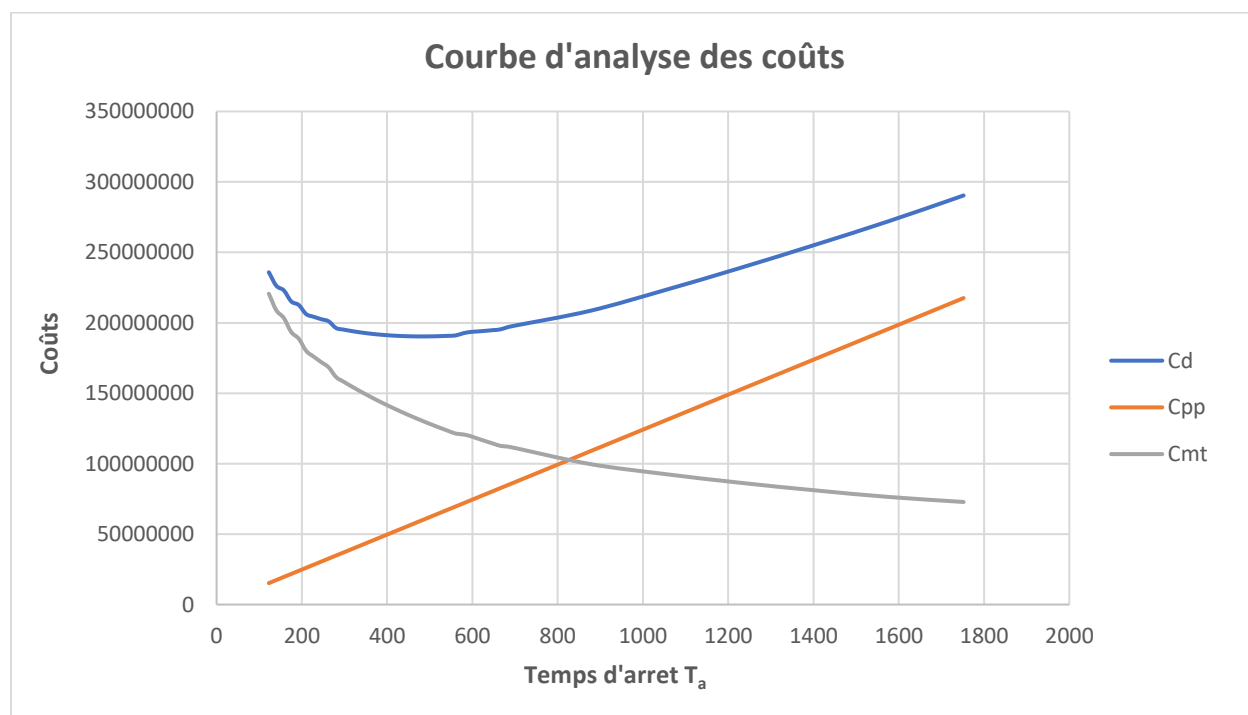


Figure IV.5. Evolution des coûts en fonction de temps d'arrêt

❖ **Interprétation graphique :**

À partir des courbes, nous pouvons conclure :

- Coût de défaillance minimale = 190330939 DZD
- Temps d'arrêt toléré = [420.48 (h) – 543.12 (h)]
- Echéancier = [655 (h) – 760 (h)]
- La fiabilité = [0.976 – 0.969]

IV.6 Proposition de nouvelle politique de maintenance pour le Top Drive CANRIG 8050 AC-712

La politique de maintenance actuelle pour le Top Drive CANRIG 8050 AC-712 consiste à remplacer les pièces défectueuses toutes 7200 h ou souvent chaque DTM de l'appareil de forage.

Cette politique de maintenance coûte l'entreprise **13000000 DZD**.

Nous proposons une nouvelle politique de maintenance basée sur les résultats précédentes et en se basant sur l'optimale de la valeur du coût de défaillance (**190330939 DZD**) qui est atteint à $T = 715$ h.

Dans la nouvelle politique de maintenance consiste à réaliser des actions préventives par une inspection détaillée des sous-ensembles (**S5, S2 et S1**) toutes les 715 heures.

- Le ratio économique "**r**" entre le coût de défaillance de maintenance actuelle et le coût de défaillance de la nouvelle maintenance proposée est :

$$r = \frac{C'_d}{C_d} = \frac{1300000000}{190330939} = 6,83$$

Où :

C'_d : Coût de défaillance de la maintenance actuelle d'entreprise.

C_d : Coût de défaillance de la nouvelle maintenance proposée.

Cela signifie que la maintenance actuelle coûte **6,83** fois plus que la nouvelle maintenance.

IV.7 Conclusion

Un calcul des fiabilités et des coûts de défaillance (à partir de coût pertes production et coût de maintenance) des éléments les plus pénalisant des cinq top drive a été présenté dans ce chapitre, les résultats sont groupés dans le tableau récapitulatif ci-dessus.

En interprétant les résultats qui ont été présentés pour gagner 61% de l'indisponibilité, on va agir sur une nouvelle politique de maintenance qui présente un nouvel échéancier $T = 715$ h.

Les organes qui présentent le plus de pannes ou bien ceux qui ont consommé plus de l'indisponibilité suivants : Gear box, Rotary manifold et back up wrench.

CONCLUSION GÉNÉRALE

La maintenance dans l'industrie joue un rôle crucial en assurant le bon fonctionnement des équipements et des machines. Elle vise à prévenir les pannes, à optimiser les performances et à prolonger la durée de vie des équipements, ce qui réduit les coûts de production et augmente la sécurité des travailleurs. En résumé, la maintenance permet de garantir la continuité de la production et la qualité des produits.

La maintenance du top drive vise à assurer sa fiabilité, sa sécurité et sa performance. Cela inclut la vérification régulière des composants mécaniques, électriques et hydrauliques, le remplacement des pièces usées, la lubrification appropriée et la réalisation d'inspections périodiques pour détecter tout signe de défaillance potentielle.

Une maintenance proactive peut réduire les temps d'arrêt imprévus, améliorer l'efficacité opérationnelle et prolonger la durée de vie utile du top drive, ce qui est essentiel pour maximiser la productivité et la rentabilité des opérations de forage.

À partir de notre travail, on a proposé une nouvelle politique de maintenance concernant le top drive par rapport la maintenance actuelle qui présente un nouvel échancier. Dans la nouvelle politique de maintenance consiste à réaliser des actions préventives périodique toutes les 715 heures. On va gagner un ratio économique égal 6,83.

Références

- [1] Zhichuan Guan ; Tinggen Chen and Hualin Liao, " Theory and Technology of Drilling Engineering " - Published with China University of Petroleum and Springer Nature Singapore Pte Ltd, 2021.
- [2] Bachir KERBOUA, «Maintenance et fiabilité des équipements des stations de forage», Edition Universitaire européens, 2022.
- [3] Jean-Paul Nguyen, " Techniques d'exploitation pétrolière - LE FORAGE -", Editions Technip - Institut Français du Pétrole, Paris 1993.
- [4] Ing. Riadh AHMADI, Cours «Les Outils de Forage», Pour 2ème Année ISSTEG-National Engineering School of Sfax (ENIS), 2017/2018.
- [5] Prof Mansour Mayouf, "Système de Rotation" - cours «Equipement de forage», Département de gisement, faculté des hydrocarbures et de la chimie-umbb.
- [6] J.J. Azar and G. Robello Samuel, " Drilling engineering ", PennWell, 2007.
- [7] VARCO COMPANY, «Top Drive Drilling System, Bulletin Technique», Houston 1998.
- [8] «TOP DRIVE système», Centre formation ENAFOR 2007.
- [9] Abdelaziz Aouf - «Abdallah Babi, Description Top drive CANRIG 8050 E-500 panne et maintenance», ENAFOR centre de formation 2023.
- [10] CANRIG Manual 8050AC-712, CANRIG DRILLING TECHNOLOGY LTD. 2004.
- [11] Doghmane Ilyes, «Etude et amélioration de la stratégie de la commande d'un top drive modèle canrig 1050 e-500 au niveau de ENTP», Mémoire de Master-Université Badji Mokhtar Annaba, 2017.
- [12] Chapitre 1 : Elément d'analyse de la maintenance, <http://elearning.univ-djelfa.dz/course/view.php?id=1346>
- [13] Dr Alexis Mouangué Nanimina, « Cours d'organisation, gestion et maintenance des systemes industriels et photovoltaïques », INSTA, 2021-2022
- [14] Mme Belloufi, «Chapitre I : Politiques de maintenance et objectifs», Master Maintenance industrielle, 2012/2013.
- [15] A. BELHOMME, «Cours de STRATEGIE DE MAINTENANCE», BTS Maintenance Industrielle, 2010/2011.
- [16] [Dr. Djamel FRIHI, «cours Maintenance industrielle», Université du 8 mai 1945 – Guelma, Juin 2015.

[17] Chapitre II Analyse des causes de défaillances, <http://elearning.univ-djelfa.dz/course/view.php?id=1363>