

Université KasdiMerbahOuargla

Faculté des hydrocarbures et les énergies renouvelables et science de la terre et de l'univers

Département De Forage Et Mécanique Des Chantiers Pétroliers



Mémoire

MASTER PROFESSIONNEL

Filière : Hydrocarbure

Spécialité : Mécanique Des chantiers pétrolier

Présenté par : - Abdelli Djaoued

- Assas Sahaoui

Thème :

ETUDE ÉVALUATIVE ENTRE DEUX MOTEUR
DE FOND TURBINE ET PDM(HP)

Soutenu publiquement

Le :15/06/2019

Devant le jury :

M. Mamanou Abdellatif

Président

UKMOuargla

M. Toumi Nabile

Encadreur

UKMOuargla

Abbas Hadj Abas

Examineur

UKMOuargla

Année Universitaire : 2018/2019

REMERCIEMENTS

Tout travail de recherche n'est jamais totalement l'œuvre d'une seule Personne. À cet effet, on tient à exprimer notre sincère reconnaissance et nos vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à L'élaboration de ce travail.

On remercie profondément Monsieur **Toumi Nabile** Notre encadreur pour l'intérêt constant qu'il a porté à ce travail en acceptant de diriger cette étude, pour sa disponibilité, ses orientations et ses remarques fructueuses. Votre dévouement au travail, ainsi que vos hautes qualités humaines nous ont profondément touchés. Veuillez trouver dans ce modeste travail, l'expression de notre respect et de notre profonde gratitude.

On remercie vivement Dr. **Abbas hadj Abbas**, et **M.S. Agoun Rachid**.

Pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'évaluer ce travail

Pour l'attention accordée à cette étude.

Qu'ils trouvent ici l'expression de notre reconnaissance.

Je dédie ce mémoire à

Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, ses prières tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mon profond amour et mon éternelle gratitude.

Mon père, qui peut être fier de trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie.

A ma chère grande mère

Je dépose entre tes mains le fruit de mon travail qu'il soit le témoignage du grand amour que je te dois.

A mes deux sœurs et mon frère

Sources de mes joies, secrets de ma force.

À tous mes proches, et plus particulièrement, mes chère Tantes, mes Cousins

A tous les profs et les personelles administratif de l'université des hydrocarbures de
Kasdi merbah

A mes chères amies, Assas sahraoui, F. mehdi, saddik mohamed, mediouni mohamed, B.mehdi merci pour vous soutien moral.

À tous mes chers amis et mes collègues de l'Université de Kasdi merbah

Sommaire

Introduction

Chapitre I : généralité sur le forage dirigé

I: Introduction.....	1
I-1: Définition de forage dirigé.....	1
I-2: Types de puits.....	2
A) Puits d'exploration.....	2
B) Puits d'évaluation.....	2
C) Des puits de développement ou de production.....	2
I-3: Les différentes applications des forages dirigés.....	3
I-3-1: Sites inaccessibles.....	3
I-3-2: Multiplicité des puits sur un même emplacement.....	3
I-3-3: Sidetrack.....	3
I-3-4: Puits de secours ou relief well.....	3
I-3-5: Application diverses.....	3
I-4: Dispositifs d'un profil directionnel.....	4
I-5: Les profil d'un forage dirigé.....	5
I-5-1: Puits en J.....	5
A) Dans un plan vertical.....	5
B) Dans un plan horizontal.....	5
I-5-2: Puits en S.....	6
I-5-3: Puits à double montée.....	6
I-5-4: Puits Horizontaux.....	7
I-5-5: Puits à long déplacement.....	8

Sommaire

I-5-6: Puits inclinés dès la surface.....	8
I-5-7: Puits de réentrée.....	9
I-5-8: Puits multilatéraux.....	9
I-6: Représentation des puits.....	10
I-6-1: Systèmes de coordonnées.....	10
A) Les coordonnées géographiques ou polaires.....	10
B) Le système de Lambert.....	11
C) La projection UTM.....	12
I-6-2: Projections horizontales.....	13
A) Les différents nord.....	13
A-1) Le Nord géographique	13
A-2) Le Nord Magnétique.....	13
A-3) le Nord Système.....	13
B) Déclinaison magnétique.....	14
C) La convergence.....	15
I-7: Equipements spécifiques au forage dirigé.....	15
I-7-1: Stabilisateurs.....	15
I-7-2: Equipements amagnétiques.....	17
I-7-3: Raccords d'orientation.....	18
I-7-4: Raccords soudés.....	18
I-7-5: Outils de déflexion.....	19
I-7-6: Equipements de mesure.....	20
Chapitre II : étude sur les moteurs de fond PDM et Turbine	
II: Introduction.....	22
II-1: Le moteur de déplacement positif (PDM).....	22

Sommaire

II-1-1: Principe de fonctionnement.....	22
II-1-2: La structure.....	23
II-1-3: Les composantes d'un PDM.....	23
II-1-3-1: Section motrice.....	24
II-1-3-2: section de transmission.....	27
II-1-3-3: Section d'appui.....	28
II-1-3-4: By-pass valve or dump sub.....	30
II-1-4-5: Dispositif de capture du rotor.....	31
II-1-4: Caractéristiques des moteurs de fond PDM.....	32
II-1-4-1: Dimensions des moteurs de fond.....	32
II-1-4-2: Estimation du dog-leg.....	32
II-1-4-3 Maximum Dog-leg pour le mode rotary.....	32
II-1-4-4 Débit & Perte de charge.....	32
II-1-4-5 Caractéristiques de fonctionnement.....	33
II-1-4-6: Diagramme de fonctionnement.....	33
II-1-5: Les différents types des PDM.....	34
II-1-5-1: Moteurs à une seule courbure (Single Bend).....	34
II-1-5-2: Moteurs à deux courbures (Double Bend).....	34
II-1-5-3: Moteurs DTU (Double Tilted U-joint).....	34
II-1-6: Limitations d'utilisation & problèmes pratiques.....	36
II-1-6-1: Couple réactif.....	36
II-1-6-2: Calage.....	37
II-1-6-3: Chute de pression à l'outil de forage.....	37

Sommaire

II-1-6-4: Bouchage.....	37
II-1-6-5: Quantité de solides dans le fluide de forage	37
II-1-6-6: Température.....	37
II-1-6-7: Boues à l'huile.....	37
II-1-6-8: Durée de vie des outils de forage	38
II-1-7 Paramètres influençant sur les performances des PDM.....	38
II-1-7-1: Les paramètres de forage.....	38
II-1-7-2: Les paramètres mécaniques.....	38
a. Sélection du moteur.....	38
b. Poids sur l'outil.....	39
c. Vitesse de rotation.....	40
II-1-7-3: Les paramètres hydrauliques.....	41
a. Fluide de forage.....	41
b. Débit.....	41
c. Viscosité.....	42
d. Pourcentage d'huile dans la boue.....	42
e. Pourcentage de solides dans la boue.....	43
II-1-6: Les avantages des PDM moteur.....	43
II-2: Les turbines.....	44
II-2-1: Principe de fonctionnement.....	45
II-2-2: Composition.....	45
II-2-2-1: Section motrice.....	46
A) Etage de turbine.....	46
B) Les aubes du rotor et stator	47
II-2-2-1 Section d'appui.....	48
A) Les paliers axiaux.....	48
A-1) Paliers en élastomère.....	49

Sommaire

A-2) Palier en PDC.....	49
B) Paliers de friction radiale.....	49
C) Cylindre d'équilibrage des poussées (balance drum)	50
D) Les turbines orientables (Steerable turbine et le benthousing)	50
II-2-3: Caractéristique des turbines.....	52
A) Puissance.....	52
B) Vitesse de rotation	52
C) Couple moteur.....	53
D) Chute de pression.....	53
E) Le rendement.....	53
II-2-4: Les avantages des constitutions des turbines.....	54
 Chapitre III : Planification des opérations des moteurs	
III-1: Manipulation des moteurs.....	56
III-1- :1 Gerbage des moteurs de fond.....	56
III-1-2: Test de la vanne de remplissage.....	57
III-1-3: Test du moteur en surface.....	58
III-1-4: Manœuvre de descente des moteurs de fond.....	59
III-1-5: Manœuvre de remontée des moteurs de fond.....	59
III-2: Les opérations réaliser par les moteurs de fond.....	60
III-2-1: Pour le reforage des équipements de cimentation.....	60
III-2-2: Pour l'alésage des trous.....	60
III-2-3: Pour le forage.....	61
III-2-4: Pour le Forage en rotation.....	62
III-2-5: Pour Forage en mode orienté.....	63
III-3: Fluides de forage.....	63

Sommaire

III-3-1: Teneur en sable (particules abrasives).....	64
III-3-2: Solide.....	65
III-3-3: Matériau perdu en circulation.....	65
III-3-4: Teneur en chlorure.....	66
III-3-5: Problème produise dans les fluides des moteurs.....	66
III-4 Température et boues à l'huile des moteurs.....	67
III-5: Caractéristiques de la boue.....	68
III-6: Traction et battage des moteurs.....	68
III-7: Réglage de l'angle de l'AKO.....	69
III-8: Vitesse de rotation de la garniture.....	71
III-9 Problèmes des moteurs.....	73
III-9-1: Troubleshooting - Bit off-bottom.....	73
III-9-2: Troubleshooting - Bit On-bottom.....	73
III-9-3: Troubleshooting - Bit On-bottom - Sliding Mode.....	74
Chapitre VI : Différence entre turbine et PDM	
VI-1 : Partie 1 Analyse général.....	75
VI-1-1: Composition.....	75
VI 1-2: débits et puissance.....	75
VI-1-3: Durée de vie.....	76
VI-1-4: Vibration.....	76
VI-2: Partie 2 : analyse pratique.....	77
VI-2-2-1 : Analyse des puits réalisé en foré en 2010.....	77

Sommaire

A) La vitesse d'avancement.....	77
B) les défaillances.....	78
VI-2-2-2 : Analyse des puits réalisé en 2018.....	79
A) Analyse de l'avancement.....	79
B) les défaillances.....	80
VI-2-2-3 : Analyse de la vitesse de circulation.....	80
VI-2-2-4 : Analyse économique.....	81

Liste des figures

Chapitre I : Généralité sur le forage dirigé

Figure 01 : Forage dirigé.....	2
Figure 02 : Applications de forage dirigé.....	4
Figure 03 : Puits en J.....	5
Figure 04 : Puits en S.....	6
Figure 05 : Profils de forage dirigé.....	6
Figure 06 : Types de forage horizontal.....	7
Figure 07 : Démonstration d'un puits à long déplacement.....	8
Figure 08 : Puits inclinés à l'origine.....	8
Figure 09 : Puits en réentrée.....	9
Figure 10 : Puits multilatéraux.....	9
Figure 11 : Représentation des Coordonnées polaires.....	10
Figure 12 : La projection conique tangentielle et quadrillage Lambert.....	11
Figure 13 : Schéma indicatif des projections UTM.....	12
Figure 14 : Schéma représente les différents nord.....	13
Figure 15 : Démonstration des déclinaisons.....	14
Figure 16 : La convergence.....	15
Figure 17 : Stabilisateur.....	16
Figure 18: Raccords d'orientation.....	18
Figure 19: Raccord coudé incorporé "Bent housing".....	19
Figure 20: Whipstocks.....	20

Chapitre II : Etude sur les moteurs de fond

Figure 21 : Les différents composants d'un PDM.....	24
Figure 22 : Configuration des Stators et des Rotors.....	25
Figure 23 : Les différents types de la section motrice.....	26
Figure 24 : Caractéristique de la section motrice.....	26
Figure 25: La section de transmission.....	28
Figure 26 : Schéma d'une section d'appui (bearing section).....	29
Figure 27 : Systèmes de déflexion pour moteurs de fond.....	30
Figure 28 : dump valve.....	31
Figure 29 : Dispositif de capture du rotor.....	31
Figure 30 : Concept du double tilt.....	35
Figure 31 : Les moteurs de navigation les plus utilisés (PDM).....	35

Liste des figures

Figure 32 : Différents types de moteurs / Puissance, Couple et Vitesse.....	39
Figure 33 : Variation de la vitesse avec le couple.....	41
Figure 34 : Turbine.....	44
Figure 35 : Cylindre d'équilibrage des poussées (balance drum).....	50
Figure 36 : benthousing réglable.....	51
Figure 37: Caractéristiques de fonctionnement d'une turbine.....	53
Chapitre III : Planification des opérations des moteurs	
Figure 38 : AKO à manchon (sleeve type AKO).....	69
Figure 39 : AKO à demi-coquilles (halfshell type AKO).....	70
Chapitre VI : Différence entre PDM et Turbine	
Figure 40 : différence dans la composition.....	75
Figure 41 : Duré de vie pour chaque type de moteur.....	76

Liste des tableaux

Chapitre II

Tableau 01: Caractéristique des turbines et ses avantages.....	54
---	----

Chapitre III

Tableau 02 : Vitesse de rotation maximale de la garniture Avec les moteurs.....	72
--	----

Chapitre VI

Tableau 03: les donnés des puits foré en 2010 a hassi-messaoud.....	77
Tableau 04: Les défaillances marquées sur les deux puits foré en 2010.....	78
Tableau 05 : Représentation des données des puits foré en 2018.....	79
Tableau 06: Les défaillances marquées sur les deux puits foré en 2018.....	80
Tableau 07 : les données de la vitesse et le temps de circulation de la boue.....	81
Tableau 08 : Analyses économiques des puits.....	82

La liste des abréviations

PDM : Positive Displacement Motors.

MWD : outil de mesure d'inclinaison et l'azimut (Measurement While Drilling).

UTM : Universal Transverse Mercator.

ROP : Vitesse d'avancement.

PDC : Polycristallin diamant compact.

DH : Le grand diamètre du stator.

ID : Le petit diamètre du stator.

n : nombre de lobe du rotor.

RCD : Dispositif de capture du rotor.

RPM : Vitesse de rotation.

DTU : Double Tilted U-joint.

TG DS: Theoretical geometric dogleg severity

WOB: Poids sur l'outil (Weight on bit).

H₂S : hydrogène sulfuré (gaz toxique).

OBM : la boue à base huile.

API : American Petroleum Institute.

LCM : Lost Circulating Matériel.

Résumé

Notre étude est basée essentiellement sur la différence entre les turbines et les PDM sur des Puits forés en 2010 et 2018, Alor pour réaliser cette étude on a devisé notre travail sur deux partie, la première partie on va voir la différence entre eux en général comme la composition le debit..... Et dans la deuxième partie on a fait une étude réelle sur 4 puits (MDz595, OMLz87, MDz720, OMLZ45) sur différent formation géologique. Donc on a sélectionné 4 paramètres pour identifier cette différence, au début on va étudier la vitesse d'avancement et les défaillances sur les puit foré en 2010 et les puits forés 2018 pour voire c'est il ya un développement sur c'est moteur et les deux autres analyses le prix de mètre et la vitesse de la boue utilisé sur eux, en va l'étudié sur les puits forés en 2010.

Abstract

Our study is based essentially on the difference between the turbines and the PDM on well drilled in 2010 and 2018, to realize this study we devised our work on two part, the first part we will see the difference between them in general as the composition the flow And in the second part we made a real study on 4 wells (MDz595, OMLz87, MDz720, OMLZ45) on different geological formation. So we have selected 4 parameters to identify this difference, at the beginning we will study the speed of progress and the failures on the wells drilled in 2010 and the wells drilled 2018 to see if there is a development on it is engine and the other two analyzes the price of meter and the speed of the mud used on them, will study it on the wells drilled in 2010.

ملخص

تعتمد دراستنا على الفرق بين التوربينات و PDM في الآبار التي تم حفرها في عامي 2010 و 2018 ، لإدراك هذه الدراسة قسمنا عملنا الى جزئين ، الجزء الأول سوف نرى الفرق بينهما بشكل عام مثل المكونات والتدفق وفي الجزء الثاني أجرينا دراسة حقيقية على 4 آبار MDz595 ، OMLz87 ، MDz720 ، OMLZ45 على التكوينات الجيولوجية المختلفة. ، في البداية سنقوم بدراسة سرعة التقدم والإخفاقات في المحركين على الآبار التي تم حفرها في عام 2010 و 2018 لمعرفة ما إذا كان هناك تطور عليها و سوف نرى أيدا سعر المتر وسرعة الوحل المستخدم عليها.

Introduction

Introduction

Alors qu'elle était négligeable il y a une quinzaine d'années, la proportion de forage dirigé atteint maintenant 50% des forages réalisés pour certains opérateurs. Face à un tel accroissement d'activité dans cette technique, il semble indispensable particuliers : tel est le but du présent ouvrage.

Cette mise à jour est délicate car, dans la technique du forage dirigé, comme dans bien d'autres techniques, chaque jour voit le dépassement de limites qui semblaient, la veille à atteindre. Dans cet ouvrage, nous nous sommes donc surtout efforcés de faire le point de la situation à une époque donnée et aussi, chaque fois que cela était, de donner une idée de l'évolution prévisible à court échéance.

L'une des techniques auxquelles on aboutit les nombreuses évolutions technologiques est le forage horizontal. Cette technique permet d'exploiter des ressources inaccessibles par le forage conventionnel mais aussi elle augmente considérablement le taux de récupération en retardant les percés d'eau ou de gaz et en élargissant la zone de drainage des puits.

Donc le monde est réalisé un grand succès, ce succès n'aurait jamais existé sans les développements technologiques et l'apport de certaines innovations qui ont considérablement réduits les délais et les coûts de forage des puits. Parmi ces technologies celles qui ont eu le plus grand impacte sont probablement les moteurs de fond.

Ces derniers ont permis d'augmenter considérablement la précision des puits, de limiter le nombre des manœuvres nécessaires, et de réduire le prix du mètre foré. Et vu leur importance de nombreuses recherches ont été menées sur les moteurs et ont conduit au développement d'une large gamme de moteurs destinée à opérer dans différentes formations.

Donc ce travail vise à étudier les moteurs de fond (PDM et turbine) et la différence entre ces deux derniers, mais avant de passer à la partie étudiée en va voir trois chapitres avant, dans le premier chapitre on a fait une description de forage dirigé et dans le deuxième une étude générale sur les PDM et les turbines suivit d'une planification des moteurs de fond dans le troisième et dans le dernier chapitre on va parler de notre étude sur ses eux.

Chapitre I

Généralité

sur

le forage dirigé

I : Introduction

Le forage dirigé fait désormais partie intégrante des techniques conventionnelles de forage car il est devenu très courant si ce n'est systématique en développement de gisement cette technique ne consiste pas uniquement à choisir et dessiner la trajectoire mais également à définir les mesures, les appareils de mesure, les outils de déviation, les paramètres de forage appropriés, l'architecture du puits compatibles avec la trajectoire, les techniques de cimentation les plus performantes et les méthodes de complétion acceptables dans un drain incliné ou à l'extrémité horizontal. Dans ce chapitre on réalisera une présentation de la technologie du forage dirigé actuel, sa définition, ces applications, ces différents types et profils, ces équipements, ces techniques de déflexion et ces limitations. [1]

I- 1: Définition de forage dirigé

Le forage directionnel est la science qui consiste à diriger un puits de forage le long d'une trajectoire prédéterminée pour croiser une cible sous la surface désignée. [2]

Il existe de nombreux facteurs économiques et environnementaux pour l'application du forage dirigé :

- ❖ Plusieurs puits de structures offshore pour la viabilité économique des réserves offshore.
- ❖ Contrôle des puits verticaux pour une verticalité améliorée
- ❖ Contrôler les puits verticaux pour améliorer la verticalité.
- ❖ Détournement de puits existants.
- ❖ Vidanger les réservoirs situés dans des endroits inaccessibles.
- ❖ Défaut de forage.
- ❖ forage de dôme subsalt.
- ❖ Forages sous-marins à terre.
- ❖ Forage horizontal pour un drainage accru du réservoir ou une pénétration de la fracture.
- ❖ Pénétration / puits multilatéraux.

Un forage dirigé consiste à forer un puits pour atteindre une cible qui peut se trouver à des dizaines ou des centaines de mètres de la verticale du point de départ. Un puits dévié conventionnel est constitué d'une section verticale allant de la surface jusqu'au point d'amorce de la déviation KOP (kick off point), une section build-up qui est une section courbée permettant d'augmenter progressivement l'inclinaison du puits et de s'éloigner ainsi

De la verticale, et une section droite pour laquelle l'inclinaison est fixe. Suivant le profil et le Type du puits adopté, cette section peut être la dernière (cas du profil en J) ou être suivie par Une section drop-off (profil en S) ou une deuxième section build-up (puits à double monté). [3]

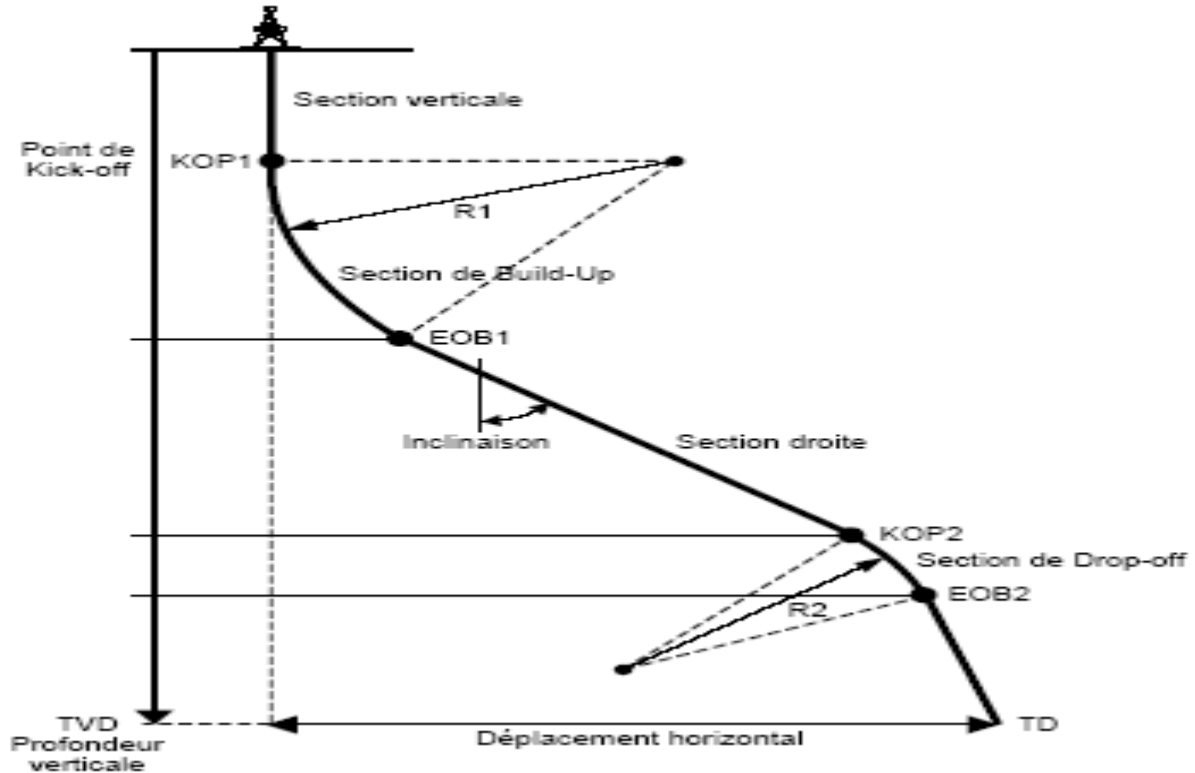


Figure 01 : Forage dirigé forme S.

I-2 : Types de puits

Des puits sont généralement classifiés comme : puits d'exploration, puits d'évaluation, et Puits du développement /production.

A) Puits d'exploration

Parfois appelé les puits sauvages, sondent des endroits non connu Pour déterminer si le pétrole ou le gaz sont présent

B) Puits d'évaluation

Ils sont forés pour déterminer l'ampleur d'un champ ou les réserves Restantes.

C) Des puits de développement ou de production

Ils sont forés dans un champ existant Pour des raisons de production d'hydrocarbures

I-3: Les différentes applications des forages dirigés

Il existe plusieurs applications de forage dirigé parmi eux (**Figure2**) :

I-3-1 : Sites inaccessibles

La cible peut être à la verticale d'un lieu difficile d'accès (mer, lac, rivière,) ou d'une zone urbanisée. Dans ces deux cas la mise en place à la verticale d'un appareil de forage est physiquement ou économiquement impossible. [4]

I-3-2 : Multiplicité des puits sur un même emplacement

C'est ce que l'on nomme forage à partir d'un cluster, qui permet le développement économique de réservoir en mer (offshore) et utilisé également en on shore (a terre) pour permettre d'exploiter plusieurs réservoirs différents à fin d'optimiser la récupération de l'huile. [4]

I-3-3: Sidetrack

Cette technique lorsque l'on veut abandonner la portion inférieure d'un forage à la suite d'une rupture de la garniture de forage, mais elle peut également avoir une raison géologique (mauvaise implantation de l'appareil de forage ou exploration complémentaire). [5]

I-3-4: Puits de secours ou relief well

C'est l'application la plus spectaculaire et la plus délicate car elle exige une grande précision pour intercepter ou arriver à proximité de puits en éruption. [6]

I-3-5: Application diverses**1. Doublet géothermique**

Une exploitation géothermique nécessite en général deux forages : Un producteur qui soutire l'eau chaude de gisement et un injecteur qui permet de renvoyer cette eau dans la couche. Le deuxième forage doit voir aboutir son extrémité à une distance optimale du producteur a fin d'éviter une baisse trop rapide de la température de l'eau produite. [6]

2. Carottage d'expérimentation nucléaire.

3. Forage horizontal

Cette utilisation jusqu'à 90 % des techniques des forages déviés trouve son utilité notamment pour un accroissement de la productivité par puits foré.[1]

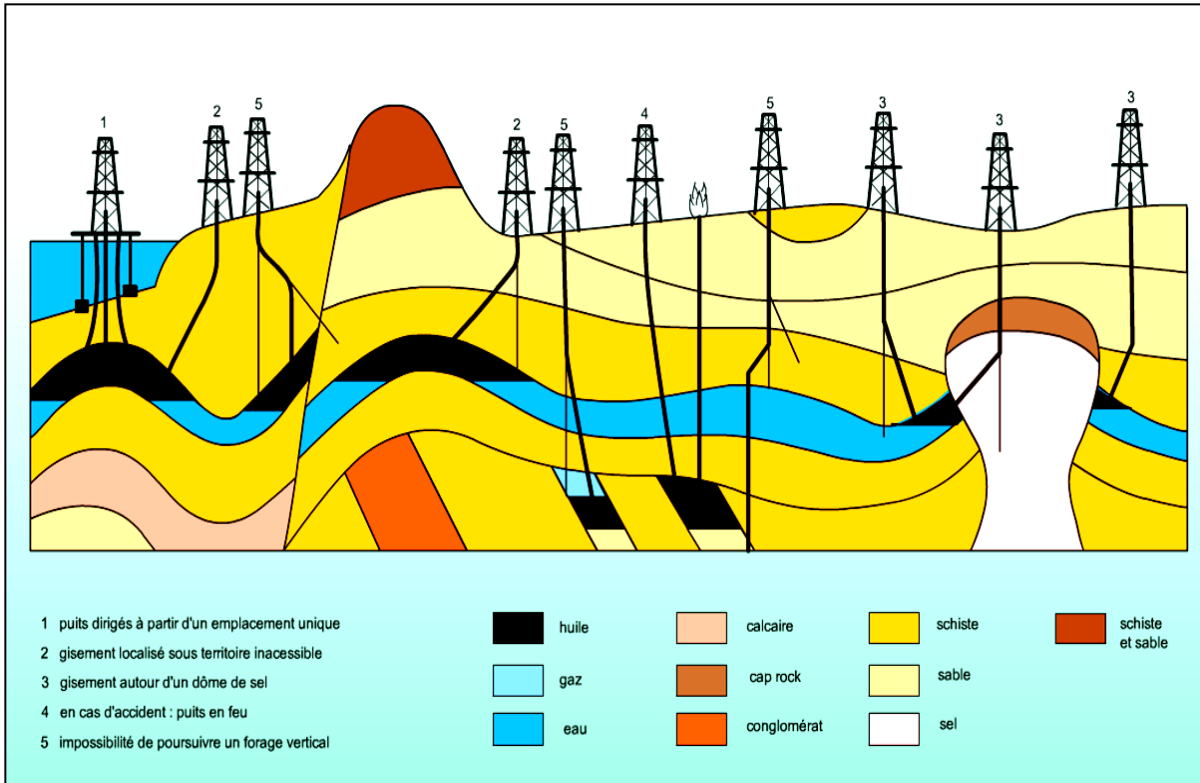


Figure 02 : Applications de forage dirigé.

I-4: Dispositifs d'un profil directionnel

Le profil d'un puits directionnel est la trajectoire prévue de la surface au TD final en le projetant sur deux plans Afin de déterminer le meilleur profil (géométrie) de la surface à la cible l'information suivante doit être connue.[7]

- la position de la tête de puit.
- la position de la cible.
- la profondeur verticale (TVD).

I-5: Les profils d'un forage dirigé

La forme d'un puits entre la surface et la ou les cibles est appelée profil du puits. Autre fois limités à des profils simples essentiellement bidimensionnels, les techniques actuelles de forage dirigé permettent la réalisation de profils tridimensionnels complexes, combinant à la fois des variations d'inclinaison et d'azimut. [1]

Les profils classiques sont:

- Puits en J
- Puits en S
- Puits à double montée
- Puits horizontaux
- Puits à long déport
- Puits inclinés dès la surface
- Puits de réentrée
- Puits multilatéraux

I-5-1: Puits en J

Le profil en J est de loin le plus courant, il est caractérisé par:

A) Dans un plan vertical

1. Une partie verticale au démarrage de puits.
2. Une partie courbe pour faire passer progressivement de l'inclinaison 0° à une certaine « i ».
3. En fin une partie inclinée droite qui doit atteindre l'objectif. [1]

B) Dans un plan horizontal

1. Une demi-droite orientée par rapport au NORD est dirigée vers l'objectif.

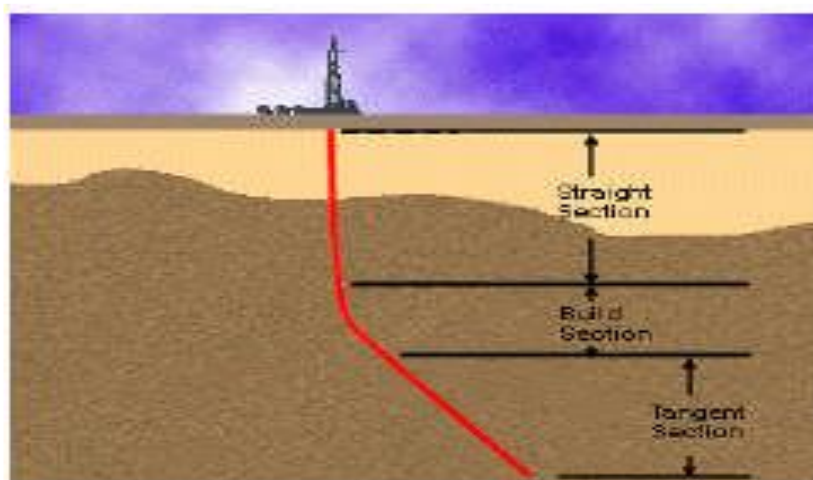


Figure 03: Puits en J

I-5-2: Puits en S

D'une forme légèrement plus élaborée, ces puits commencent comme un puits en J, mais se terminent par une chute en inclinaison, quelque fois jusqu'à la verticale, le plus souvent pour des considérations de production (installation de la pompe). [6]

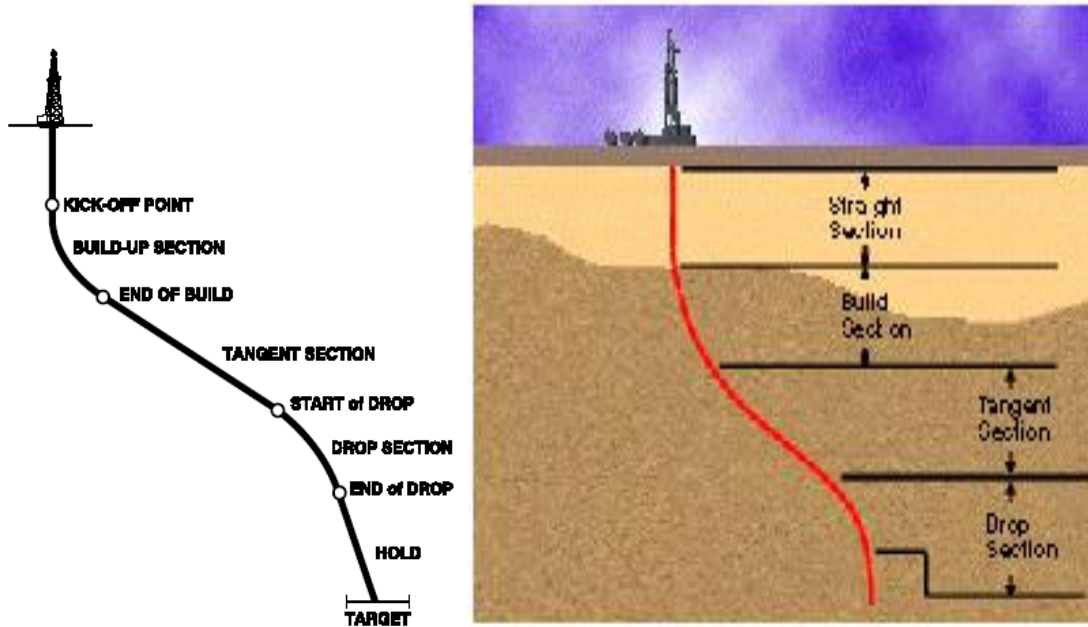


Figure 04 : Puits en S

I-5-3: Puits à double montée

Au contraire des puits en S, ces puits se terminent par une seconde montée en inclinaison et donc avec une inclinaison importante.

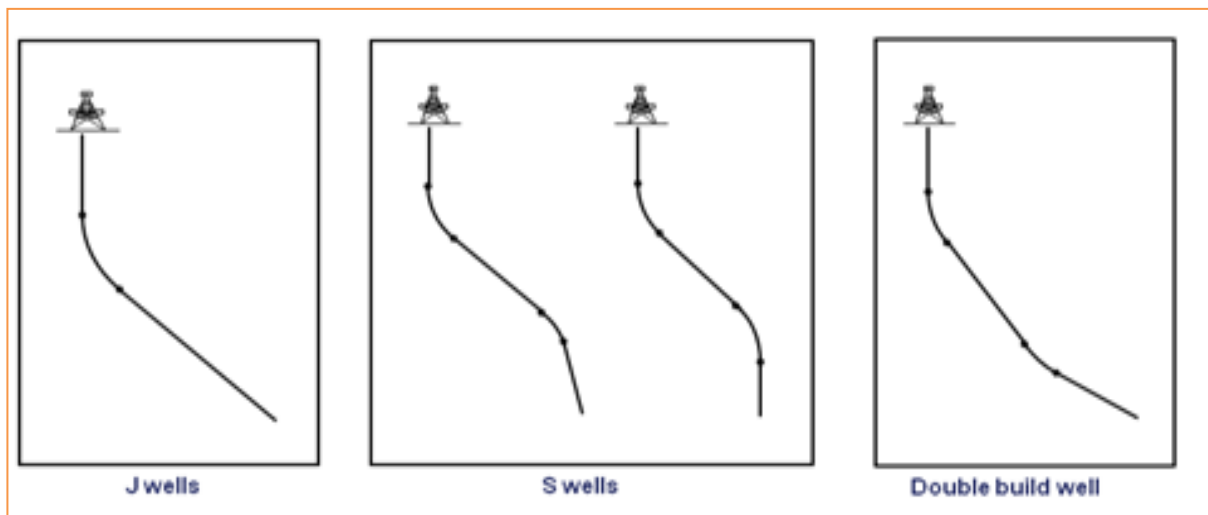


Figure 05 : Profils de forage dirigé

I-5-4: Puits Horizontaux

Cette terminologie couvre les puits où le réservoir est percé par une section horizontale or sub-horizontale (80 à 100 degrés).

Trois variantes peuvent être considérées selon le gradient de montée et donc le rayon de courbure:

- Long rayon (gradients de 1 à 2 deg/10m)
- Moyen rayon (gradients de 3 à 10 deg/10m)
- Court rayon (gradients < 10 deg/m)

Ils peuvent être:

- à montée unique
- à montées multiples, séparées par des sections rectilignes (dites tangentielles).

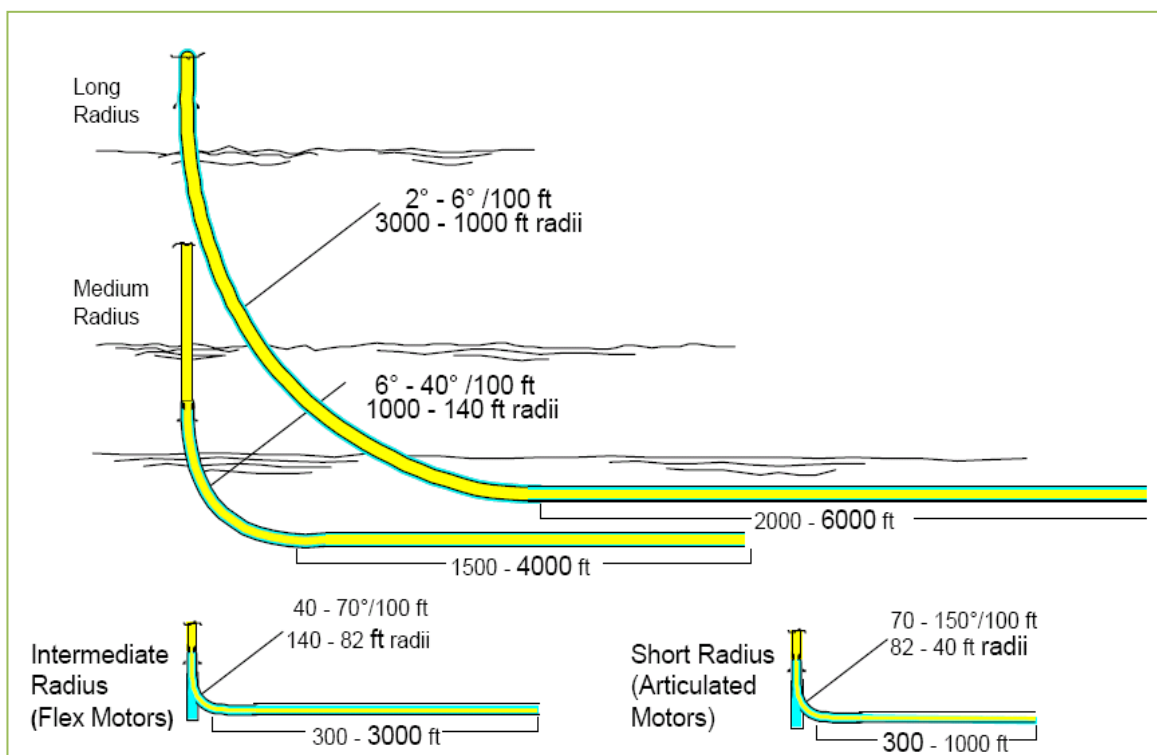


Figure 06 : Types de forage horizontal

I-5-5: Puits à long déplacement (*Long reach or Extended Reach wells*)

Puits avec un déplacement horizontal de plusieurs kilomètres, foré à haute inclinaison et se terminant par un drain horizontal. [6]

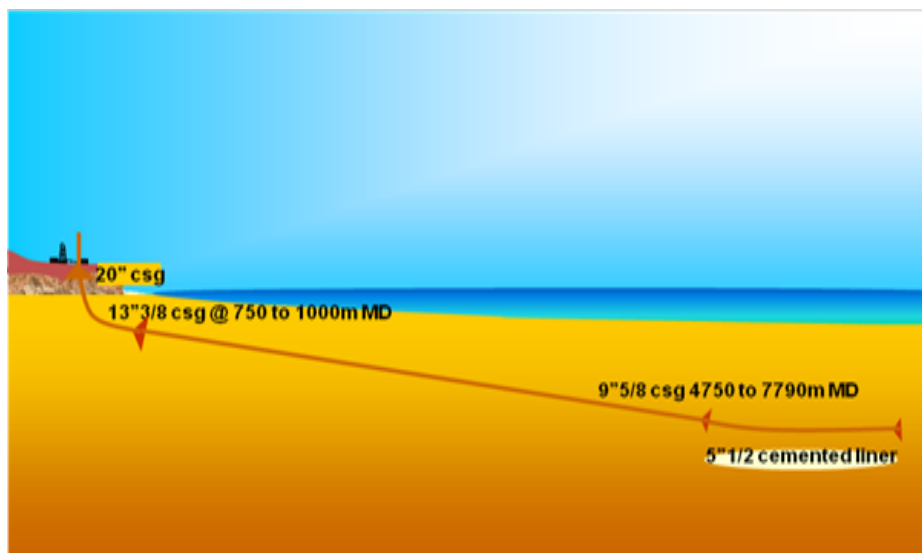


Figure 07 : Démonstration d'un puits à long déplacement

I-5-6: Puits inclinés dès la surface

Puits avec une inclinaison dès la surface, pouvant atteindre 45 degrés, et nécessitant un appareil de forage spécial (tilt ou slantrig)

Entre autres utilisations cette technique permet d'atteindre l'horizontale dans des réservoirs peu profonds.

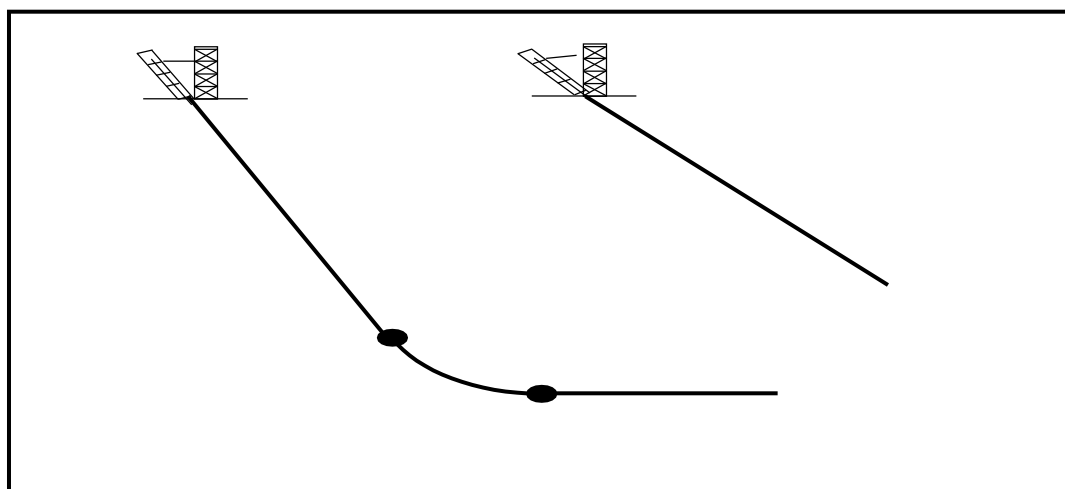


Figure 08 : Puits inclinés à l'origine

I-5-7: Puits de réentrée

Cette technique utilisée intensivement depuis les années 80 consiste à abandonner le fond d'un puits existant (vertical ou dévié) pour forer latéralement un nouveau puits, celui-ci se terminant souvent par un drain horizontal (Figure 09). [6]

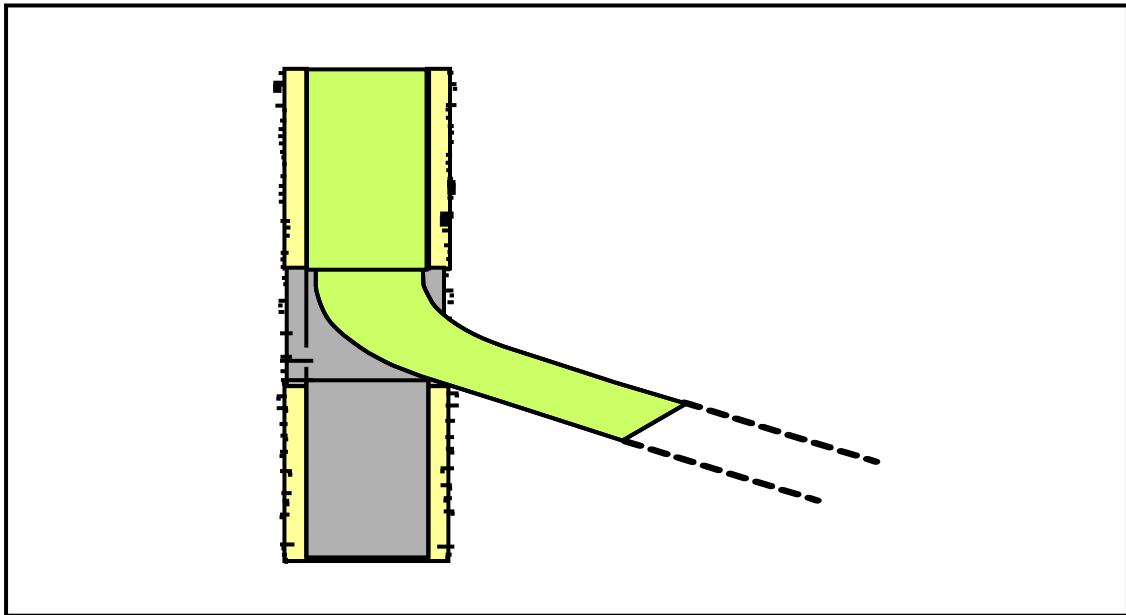


Figure 09 : Puits en réentrée

I-5-8: Puits multilatéraux

Cette technique consiste à forer plusieurs "drains" à partir d'un puits principal et donc une seule tête de puits (Figure10).

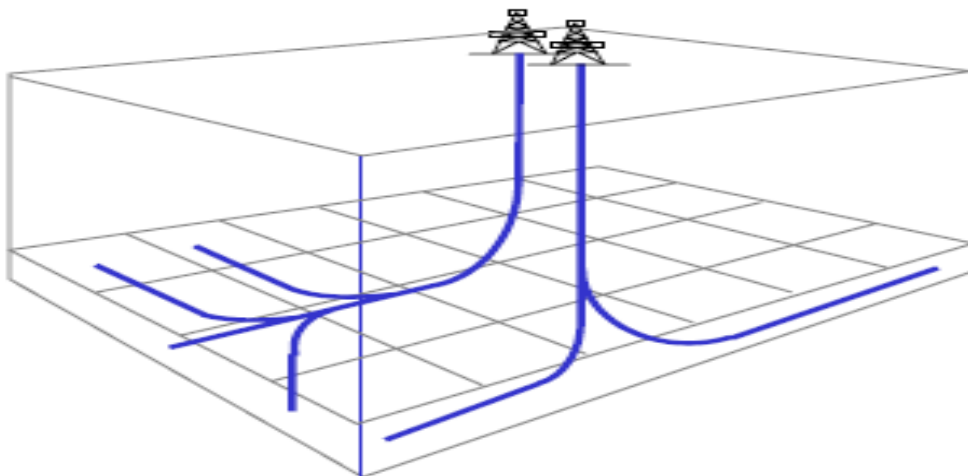


Figure 10 : Puits multilatéraux

I-6: Représentation des puits

La nécessité de représenter les puits et de les repérer dans l'espace est évidente et il est apparu logique de se rattacher à l'un des nombreux systèmes de cartographie existants.

Un grand nombre de projections ont été proposées, le problème de fond étant de représenter la sphère (ou plutôt le sphéroïde) terrestre sur une surface plane.

De plus les instruments permettant de repérer la position d'un puits déterminent les azimuts:

- Soit à partir d'une centrale inertielle permettant de repérer le Nord géographique. Ces instruments sont communément appelés "gyroscopes". [6]
- Soit en repérant le Nord magnétique (boussoles, compas) soit en mesurant le champ magnétique terrestre (magnétomètres), Ces instruments sont dits "magnétiques".

Les systèmes de coordonnées les plus utilisés dans l'industrie pétrolière sont :

- Systèmes de coordonnées.
- Projections horizontales.

I-6-1: Systèmes de coordonnées

Le choix du système varie d'un pays à l'autre et dépend à la fois des autorités locales et de la compagnie pétrolière. Les systèmes communément utilisés sont :

- Les coordonnées polaires.
- Le système Lambert.
- Le système UTM (Universel Transverse Mercator).

A) Les coordonnées géographiques ou polaires

- Les coordonnées polaires sont exprimées en degrés-minutes-secondes à partir des origines suivantes :
- Le méridien de Greenwich pour la longitude.
- L'équateur pour la latitude.

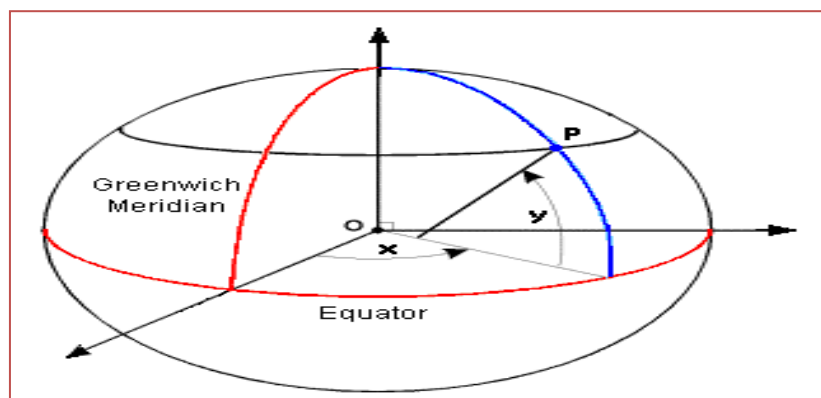


Figure 11: Représentation des Coordonnées polaires

B) Le système de Lambert

La projection Lambert est une projection de la sphère terrestre sur un cône :

- L'axe du cône coïncide avec l'axe de rotation de la terre.
- La surface du cône tangente la sphère terrestre au «Parallèle de référence ».

Les déformations sont minima au voisinage du parallèle de référence et augmentent Vers le Nord et vers la Sud. Les projections Lambert sont donc mieux adaptées à des petites superficies.

Elles sont en général définies au niveau d'un pays. Afin de réduire les déformations, différentes projections peuvent être définies pour un même pays. Les distances sont exprimées en mètres à partir de lignes de référence définies comme suit, avec le souci d'avoir à n'utiliser que des nombres positifs :

- En fonction de la projection, un méridien est défini en tant que « Méridien de référence », numéroté "600", et donc définissant une origine virtuelle située 600km à l'Ouest de ce méridien de référence,
- Le parallèle de référence est numéroté "200 ", définissant une origine virtuelle située 200km au Sud du parallèle de référence.

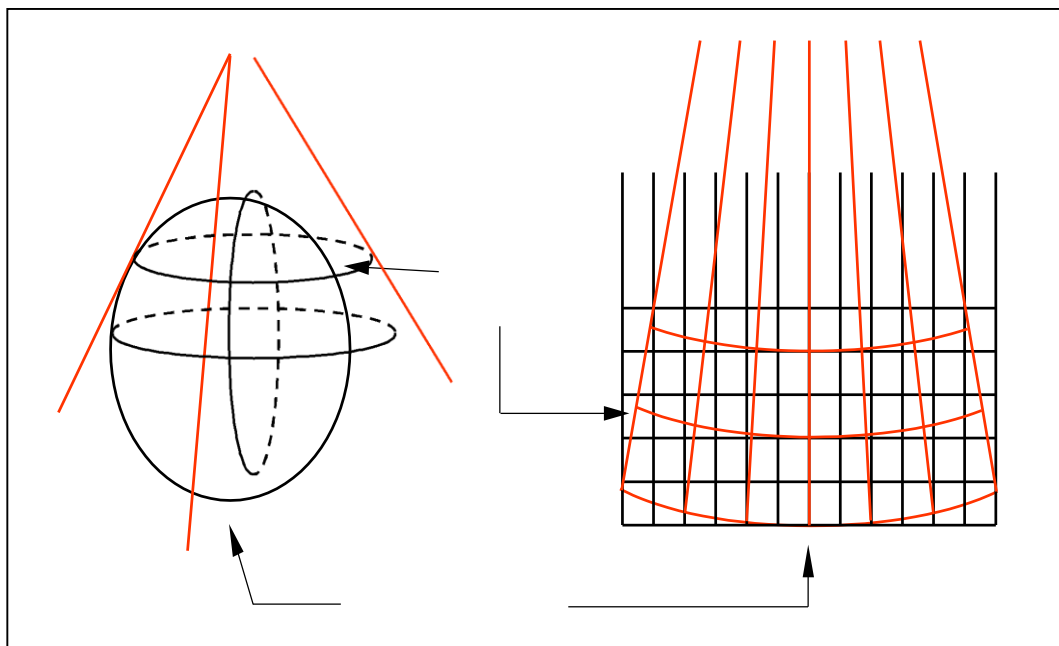


Figure 12 : La projection conique tangentielle et quadrillage Lambert

C) La projection UTM

Le sphéroïde terrestre est projeté de l'intérieur sur un cylindre horizontal enveloppant la sphère terrestre et en contact tangent avec un méridien.

Le développement du cylindre donne alors une représentation de plus en plus déformée au fur et à mesure que l'on s'éloigne du méridien de contact.

Afin de limiter ces imprécisions, différents méridiens de contact sont utilisés. La projection UTM est définie comme suit :

Des méridiens de référence ont été définis tous les 6 degrés de longitude, en partant du méridien de Greenwich, divisant le globe en 60 fuseaux, ces fuseaux sont numérotés de 1 à 60 en partant du méridien 180 degrés.

➤ Le fuseau 31 est donc situé immédiatement à l'est du méridien de Greenwich, ces 20 secteurs sont identifiés par des lettres allant de C à X (excluant L et O), en partant du parallèle 80° sud et remontant jusqu'au parallèle 80° nord.

➤ Un secteur couvre donc une surface d'environ 666 km par 888 km. Dans chaque secteur les coordonnées UTM sont exprimées en mètres à partir d'origines définies ainsi :

- L'axe des X (longitude) a pour origine une ligne tracée à 500 km à l'Ouest du méridien central (lui-même situé 3 degrés à l'Est du méridien de référence)

- L'axe des Y (latitude) a pour origine : - L'équateur dans l'hémisphère Nord.

- Le pôle Sud dans l'hémisphère Sud.

Universal Transverse Mercator
UTM Zone Configuration

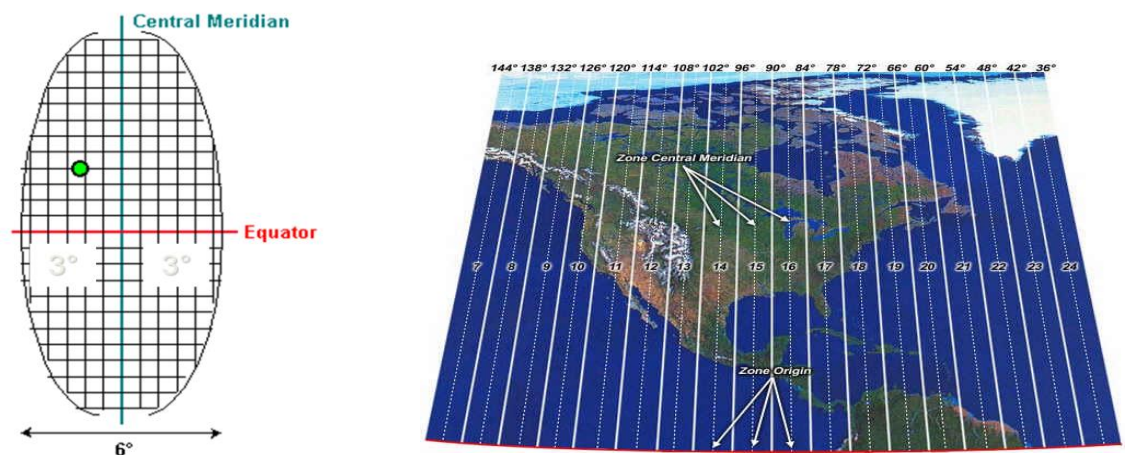


Figure 13: Schéma indicatif des projections UTM

I-6-2: Projections horizontales

A) Les différents nord

A-1) Le Nord géographique

Le "Nord géographique" est le point d'intersection entre l'axe de rotation de la terre et son hémisphère, Ce point est fixe géométriquement et dans le temps.

Tout point du globe terrestre peut donc être repéré, d'une manière permanente, par sa direction vers ce point. Cette direction est appelée *azimut géographique ou azimut vrai*. [6]

A-2) Le Nord Magnétique

L'azimut magnétique est la direction obtenue à l'aide d'une boussole ou d'un compas. C'est la direction du "Nord magnétique".

Le Nord magnétique est un point mobile au voisinage du Nord géographique, résultant des phénomènes liés au champ magnétique terrestre.

L'azimut magnétique est soumis aux variations de position du Nord magnétique dans le temps, L'angle entre les directions magnétique et géographique est appelé "déclinaison magnétique".

A-3) le Nord Système

Le "Nord système" est la direction indiquée sur une carte par le quadrillage vertical de la carte. L'angle entre les directions Nord Système et Nord géographique est appelé "*Convergence*".

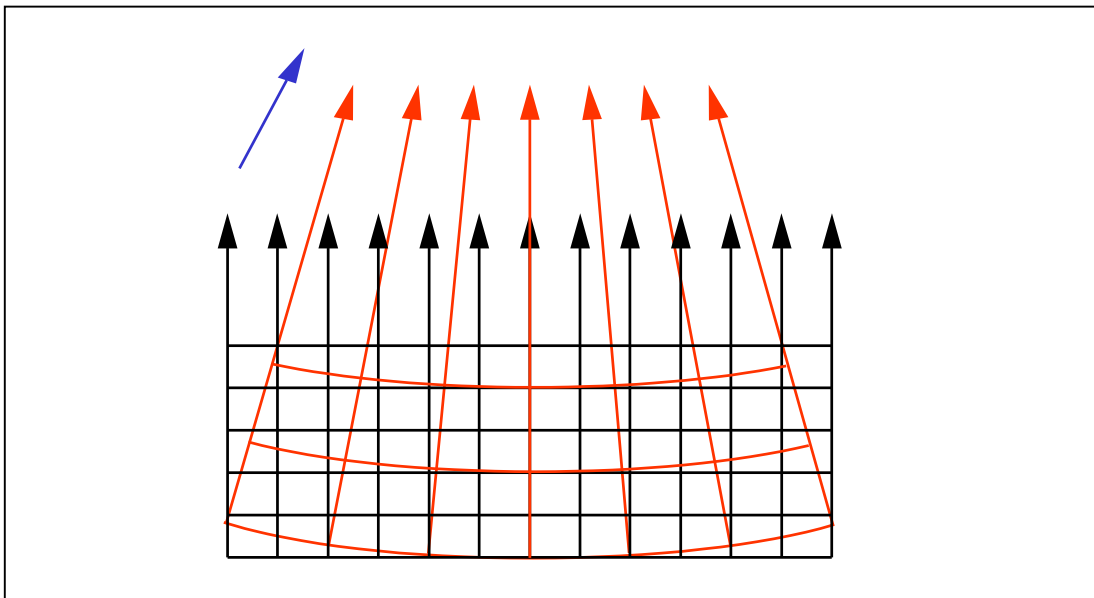


Figure 14: Schéma représente les différents nord

B) Déclinaison magnétique

La plupart des mesures d'azimut effectuées pendant les opérations de forage sont réalisées à l'aide d'instruments s'alignant sur le champ magnétique terrestre (compas, magnétomètres).

Le champ magnétique terrestre varie en direction et en intensité selon la position géographique à la surface du globe, ainsi qu'en fonction du temps.

A un instant donné le champ magnétique terrestre peut être caractérisé par :

- Son intensité.

- Son inclinaison.

- Sa direction.

La **déclinaison magnétique** est l'angle entre le Nord magnétique et le Nord géographique. Elle est exprimée comme un angle orienté vers l'est ou vers l'Ouest.

Les cartes **isodynamiques** représentent les lignes joignant les points de même intensité horizontale, Les cartes **isoclines** représentent les lignes joignant les points de même inclinaison. Les cartes **isogoniques** représentent les lignes de même déclinaison magnétique.

Remarque :

Les mesures d'azimut réalisées à l'aide d'un instrument magnétique sont donc des mesures à un instant donné, qui devront être corrigées de manière à revenir dans le repère permanent du Nord géographique.

La connaissance de la déclinaison magnétique au moment du forage permettra cette correction (voir Figure 15).

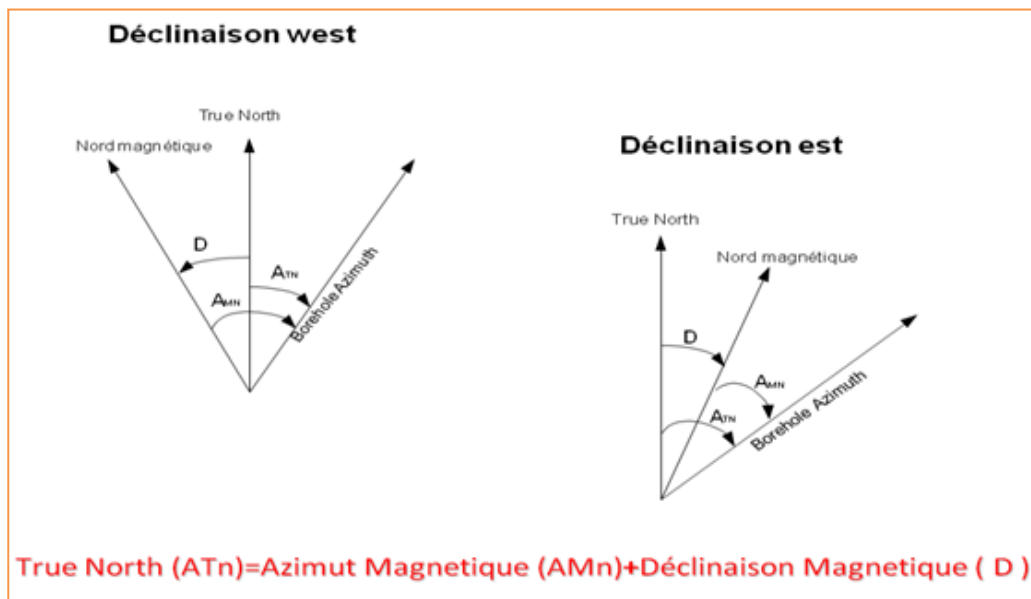


Figure 15: Démonstration des déclinaisons

C) La convergence

La convergence est l'angle entre le Nord géographique et le Nord système. Elle est exprimée comme un angle référence par rapport à l'Est ou à l'Ouest.

La convergence dépend de la situation géographique de la tête de puits par rapport au système de référence utilisé.

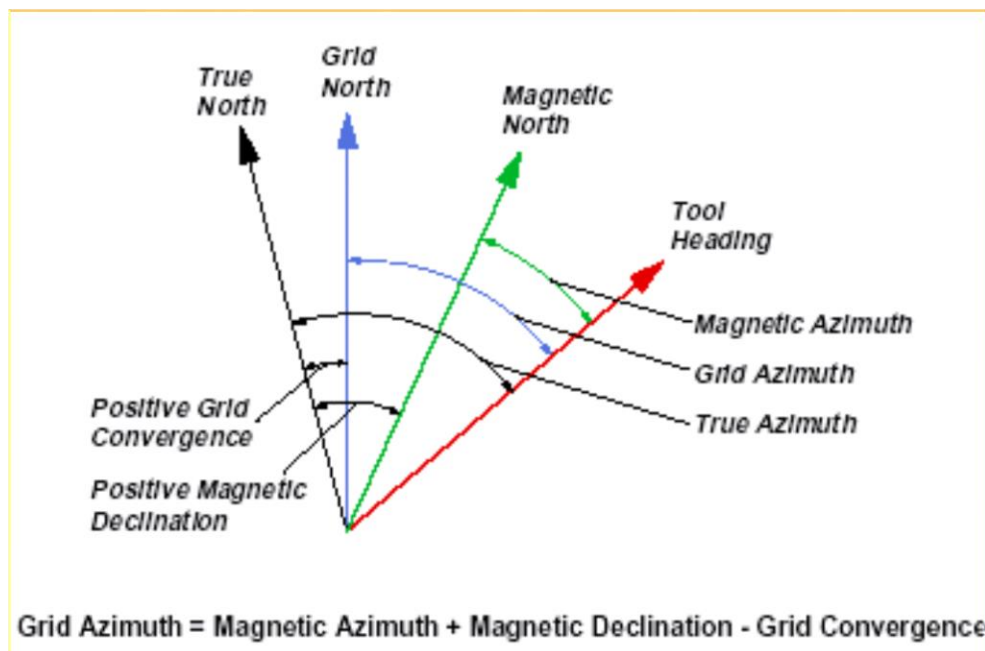


Figure 16: La convergence

I-7: Equipements spécifiques au forage dirigé

- Stabilisateurs
- Equipement amagnétique
- Raccords d'orientation
- Raccords coudés
- Outils de déflexion
- Equipement de mesure
- Moteurs de fond

I-7-1: Stabilisateurs

En forage dirigé, l'utilisation de stabilisateurs est l'un, sinon le moyen, de contrôler l'inclinaison du puits. Ils sont donc largement utilisés, particulièrement en forage dirigé conventionnel. [9]

Ces outils sont constitués par des "lames" installées sur des corps tubulaires équivalents aux masses tiges de la même phase. Ces lames ont un diamètre égal ou inférieur à celui de l'outil de forage. Elles centrent les masses tiges dans le puits et constituent autant de point d'appuis permettant de contrôler la "déformée" de la garniture de forage.

Ce contrôle est obtenu en jouant soit sur le diamètre des stabilisateurs, soit sur la longueur entre lames, soit sur les deux à la fois.

Les stabilisateurs sont installés soit directement au-dessus de l'outil de forage et sont alors appelés "near-bit" ou plus haut dans la BHA où ils sont appelés "string".

Les stabilisateurs near-bit possèdent des filetages femelle x femelle permettant le vissage direct sur l'outil. Un logement permettant d'installer une valve anti-retour est souvent aménagé à leur extrémité inférieure, évitant ainsi l'utilisation d'un raccord.

Différents types de stabilisateurs sont disponibles, variant essentiellement par la conception de leurs lames:

- lames soudées
- lames intégrales
- à chemise
- à chemise non rotative



Figure 17 : Stabilisateur

I-7-2: Equipements amagnétiques

Cette perturbation est proportionnelle à la masse et inversement proportionnelles à la distance.

Pour la bonne utilisation d'instruments de mesures magnétiques il est donc nécessaire d'éloigner les équipements de mesure des éléments perturbants. Ceci est réalisé en utilisant des matériaux dits non-magnétiques ou amagnétiques au voisinage des capteurs de mesure. [10]

Ces matériaux amagnétiques peuvent être:

- de l'aluminium
- des aciers inoxydables de haute qualité
- des alliages tels que le "Monel" (70% nickel + 30% cuivre)

Les équipements amagnétiques les plus courants sont:

- des masse-tiges
- des masse-tiges courtes
- des tiges de forage compressives
- des tiges de forage
- des stabilisateurs
- des raccords

Et bien sur les équipements de mesure eux-mêmes:

- MWD
- steeringtools

I-7-3: Raccords d'orientation

Les raccords d'orientation sont conçus pour recevoir une chemise. Ils sont habituellement fabriqués en acier amagnétique en raison de leur proximité par rapport au compas ou aux magnétomètres. [10]

La chemise peut être positionnée et bloquée dans une position permettant d'indexer l'orientation de l'outil de déviation par rapport à l'outil de mesure.

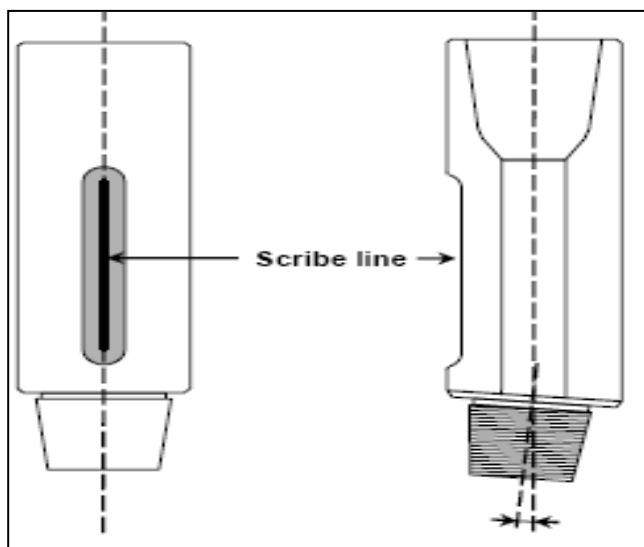


Figure 18 : Raccords d'orientation

I-7-4: Raccords coudés

Les raccords coudés sont utilisés en combinaison avec un moteur de fond (de corps droit) Pour le désaxer par rapport à l'axe du puits et donc désaxer l'outil de forage.

L'angle est obtenu en désaxant le filetage mâle et sa portée par rapport à l'axe du corps (voir figure19).

Ils sont installés immédiatement au-dessus du moteur. Ils sont fabriqués soit en acier standard, soit en acier amagnétique.

La valeur de l'angle est gravée dans le corps du raccord et une ligne de repérage ("*scribe line*") est usinée le long du corps afin de permettre le repérage précis de l'angle.

La valeur de l'angle détermine le gradient de montée ou de rotation du puits, qui dépend aussi des diamètres du trou et du moteur ainsi que de la longueur de celui-ci, mais aussi de la formation, Le rendement du raccord est donc difficilement prévisible à moins de disposer d'une expérience locale.

Il est donc nécessaire de disposer sur site de raccords de différentes valeurs afin de couvrir une gamme de gradients adaptée au programme de forage.

L'utilisation des raccords coudés tend à disparaître avec le développement des coudes incorporés aux moteurs ("*bent-housing*").

Les raccords coudés et les raccords d'orientation sont fréquemment combinés en seul raccord appelé "raccord coudé d'orientation"



Figure 19 : Raccord coudé incorporé "Bent housing" & Raccord coudé indépendant "Bent-sub"

I-7-5: Outils de déflexion

Les outils de déflexion sont souvent appelés "Whip stock" du nom de leur inventeur.

Un Whip stock est un sabot d'acier dont la surface intérieure est concave et sur la quelle viendra s'appuyer l'outil de forage, ainsi obliger de riper vers la paroi et de sortir du puits initial.

Les Whip stocks peuvent être :

- permanent ou récupérables
- orientable ou non. Ils peuvent être utilisés :
 - en trou ouvert, pour effectuer un side-track ou démarrer un drain latéral
 - dans un tubage, pour y ouvrir une fenêtre.

Communément utilisés au début du forage dirigé, les Whip stocks avaient peu à peu disparus avec le développement des moteurs de fond et les progrès relatifs à l'orientation.

Ils réapparaissent en raison du développement des puits en ré-entrée, offrant un bon moyen d'ouvrir une fenêtre dans le tubage.

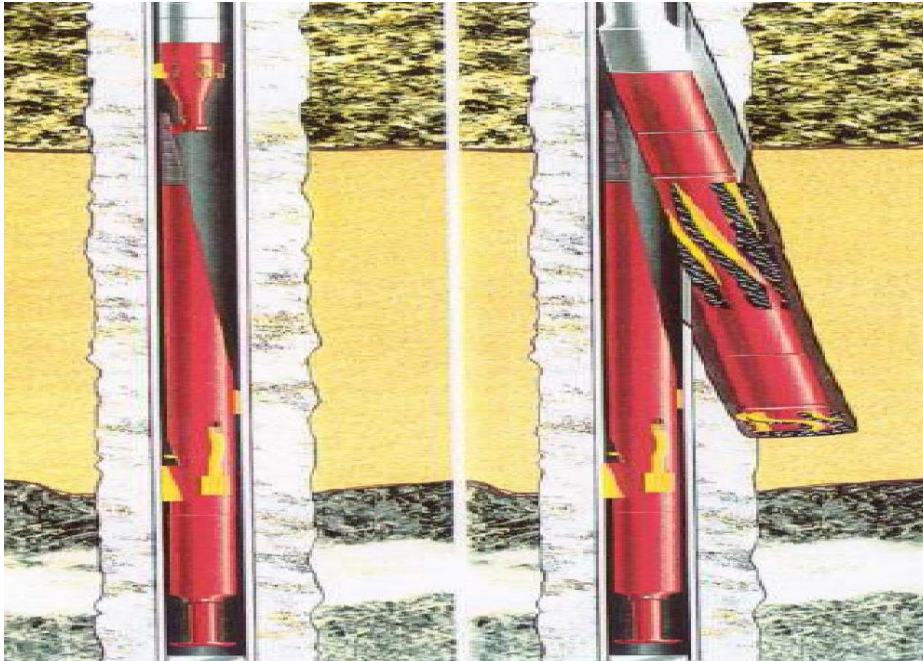


Figure 20: Whip-stocks

I-7-6: Equipement de mesure

Ces mesures peuvent être effectuées par des instruments de mesures en fond de trou. Ils Diffèrent par le type des capteurs utilisés mais surtout par leur type de transmission de l'information qui peut être:

En temps différé: l'information est remontée avec l'outil lui-même

En temps réel: l'information est transmise du fond vers la surface par l'intermédiaire d'un système de télémétrie

Outils de mesures en temps différé :

Ils sont composés:

- d'un ensemble de capteurs de mesures
- d'un système d'horlogerie capable de déclencher les mesures et leur enregistrement

Après un délai programmé

- d'un système d'enregistrement

On distingue les:

- Inclinomètres
- Single-shots magnétiques
- Multi-shots magnétiques
- Gyroscopes

Outils de mesures en temps réel :

Ils sont composés:

- d'un ensemble de capteurs de mesures
- d'une électronique de contrôle
- d'un système de télémétrie

On distingue les

- Steering tools
- MWD ET LWD
- Gyroscopes

Chapitre II

Généralités sur les moteurs de fond

II : Introduction

Le premier concept du moteur de fond est apparu trente ans avant la technique du forage Rotary, en 1873, mais sa première application n'a eu lieu qu'en 1924. Après plusieurs dizaines d'années, vers 1950, 80% des puits ont été forés en utilisant des moteurs de fond entraînés par les fluides de forages sous pression. En 1975, ce moteur est devenu similaire au pompe aux cavités progressives ou bien pompe à moineau, en le rendant plus avantageux, par W. Clark. Les turbo foreuses, ont été utilisées après 1980, cette dernière est équipée par un réducteur de vitesse. [8]

De nos jours, ils existent plusieurs versions des moteurs de fond, soit de déplacement positif(PDM), soit une turbo-foreuse.

Dans cette partie nous essayerons de voir la composition de chaque type de moteur, leur principe de fonctionnement et leur domaine d'utilisation.

II-1 : Le moteur de déplacement positif (PDM)

Le moteur de déplacement positif s'appelle aussi le moteur volumétrique, hydraulique à déplacement positif ou à cavité progressive, il est basé sur le principe des pompes à Moineau.

Lorsque le train des tiges n'est pas entraîné en rotation depuis la surface. Les moteurs à déplacement positif peuvent également être utilisés pour le forage de performance, le forage de trous droits, le carottage, le sous-fraisage et les opérations de fraisage. En forage de trou droit, le moteur fonctionne comme un outil de performance de forage pour augmenter le taux de pénétration et réduire l'usure du tubage en minimisant la rotation du train de forage. [

II-1-1: Principe de fonctionnement

Quand le fluide de forage est pompé à travers le moteur en remplissant la première cavité qui se présente, une montée de pression apparaît entraînant la rotation du rotor et permettant le passage du fluide dans la cavité voisine. Le fluide progresse alors de cavité en cavité entraînant ainsi une rotation régulière du rotor. Cette action se traduit par une conversion d'énergie hydraulique contenue dans le fluide de forage en énergie mécanique de rotation.

La vitesse de rotation est proportionnelle au débit à travers le moteur. Les moteurs de fond fonctionnent correctement dans une plage de débit donnée, indiquée par le constructeur.

A débit constant et dégagé du fond, la perte de charge à travers le moteur est constante.

Elle augmente quand l'outil atteint le fond et avec elle la pression de circulation.

Le poids sur l'outil est directement proportionnel à cet accroissement de pression appelé "delta P" du moteur. [8]

II-1-2: La structure

Le PDM adopte une structure proche de foret, un carter de couplage universel réglable, des stabilisateurs de différents tailles, types et structure, ainsi qu'un coupleur universel spécialement conçu pour les foret de grand taille et les couples importants, avec une capacité de charge de couple supérieur, une des stabilisateurs intégrée ou interchangeable de différentes taille sont disponibles. [10]

II-1-3: Les composantes d'un PDM

Le PDM se compose de trois sections, sont :

- Section motrice (**Power Section**).
- Section transmission (**Transmission Unit**).
- Section d'appui (**Bearing Section**). [3]
- dump valve.

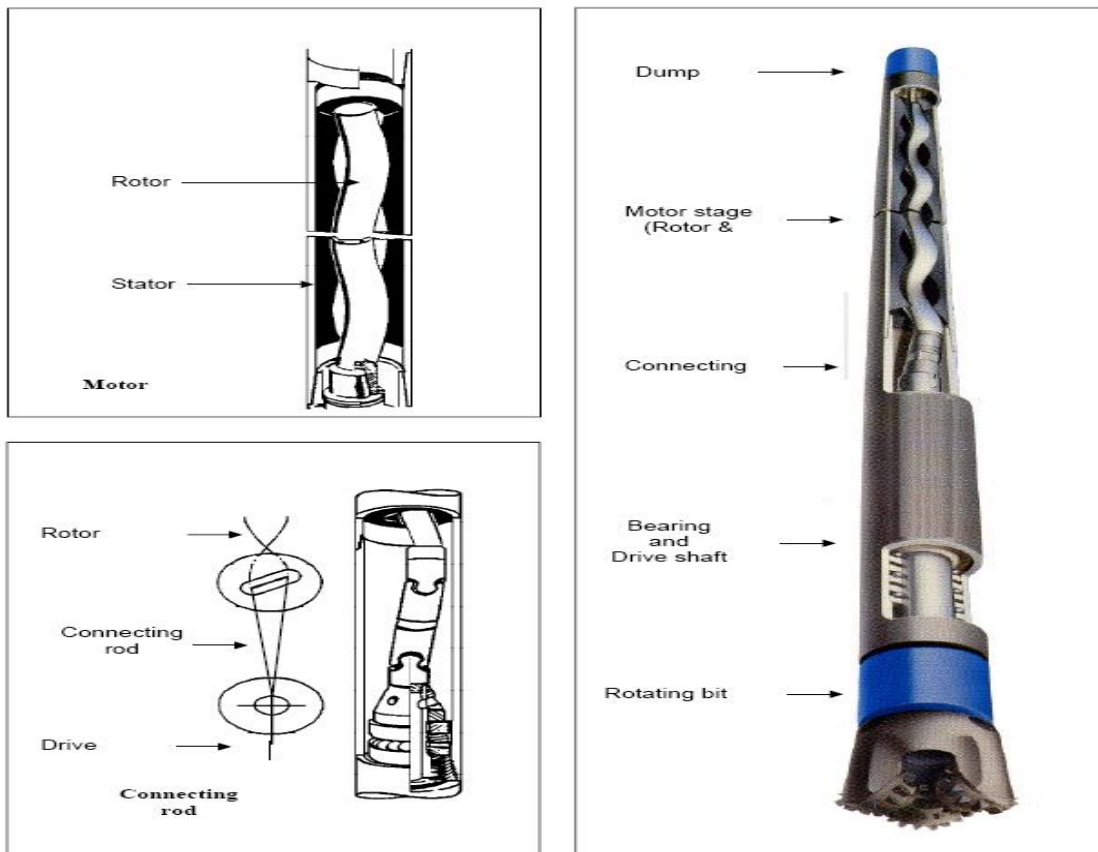


Figure 21 : Les différents composants d'un PDM

II-1-3-1: Section motrice

La section motrice convertit l'énergie hydraulique du fluide de forage en puissance mécanique qui fait tourner le trépan. Ceci est accompli par l'application inverse du principe de la pompe Moineau. Le fluide de forage est pompé dans la section motrice du moteur à une pression qui provoque la rotation du rotor par rapport au stator. Cette force de rotation est ensuite transmise via un arbre de transmission et l'arbre d'entraînement à l'outil.[11]

❖ Le rotor :

C'est une pièce hélicoïdale en acier, monobloc ou constituée de plusieurs tronçons Raccordés par soudure, le diamètre extérieur est protégé contre la corrosion par : un Revêtement en oxyde de chrome, une trempe de surface ou une cémentation et une nitruration. La nature complexe de la boue, les additifs chimiques, et les solides dans la boue peuvent Endommager et corroder l'enduit du rotor.

❖ **Stator :**

Il est constitué d'un tube métallique doté à l'intérieur d'un revêtement en élastomère lisse ou bien ébauché. Le choix du matériau et son design est basé sur les paramètres de Forage, la durée de stockage et de transport, la résistance à l'abrasion, l'érosion, la Température et les additifs de la boue.

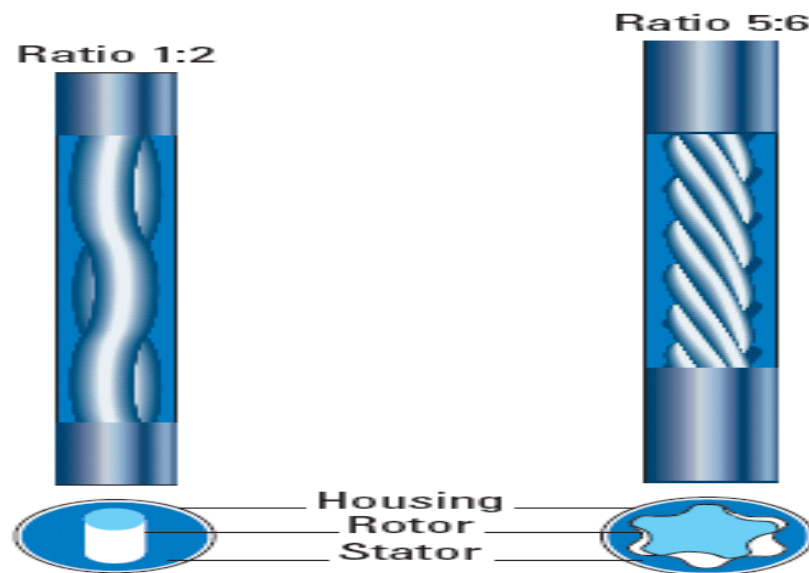


Figure 22 : Configuration des Stators et des Rotors

La variation de la vitesse et du couple se fait selon le nombre de lobes figure 24 :

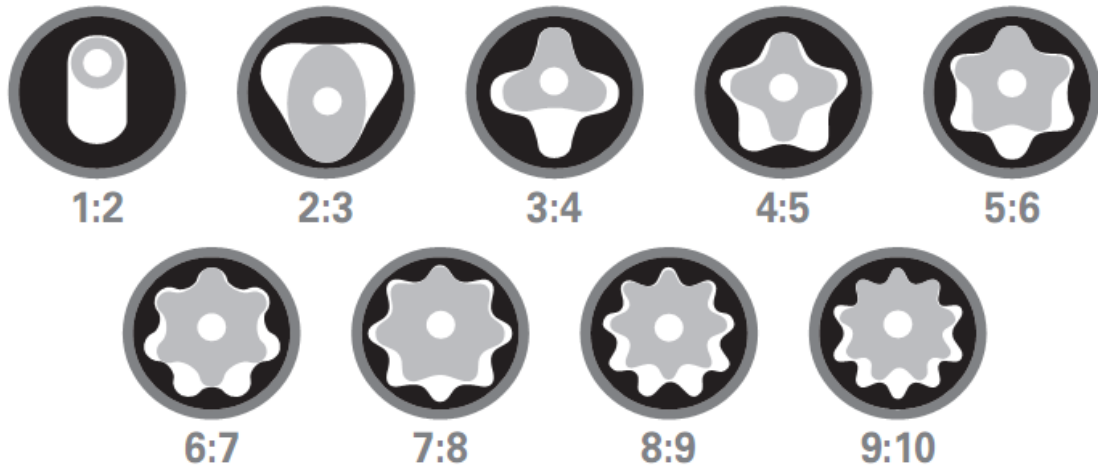


Figure 23 : Les différents types de la section motrice

La section motrice d'un PDM est définie par le grand diamètre du stator (DH), le petit diamètre du stator (ID), l'excentricité du rotor (e), le nombre de lobes et la longueur de l'étage qui est définie comme un cycle plein de l'hélice du stator. [5]

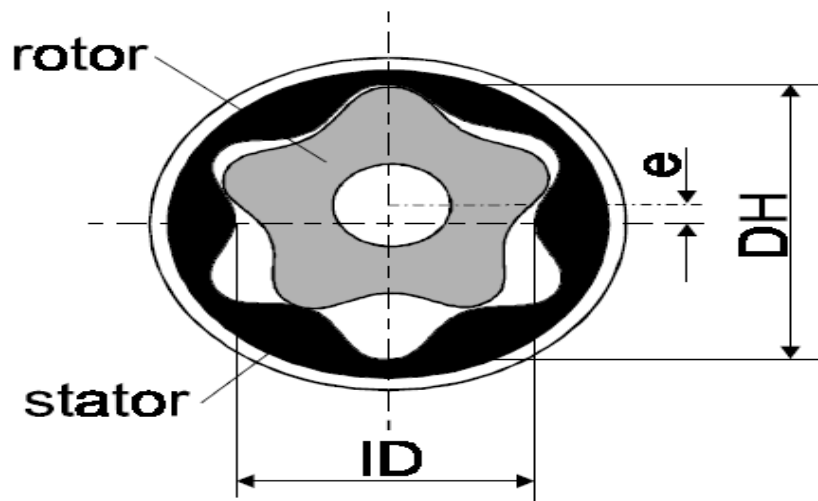


Figure 24 : Caractéristique de la section motrice

La longueur de l'étage du stator est définie comme la longueur axiale requise pour un lobe. Dans le stator est pivoté sur 360° le long de sa trajectoire hélicoïdale autour du corps du stator. La longueur de l'étage d'un rotor n'est pas équivalente à la longueur de l'étage de son stator correspondant. Un rotor a une longueur plus courte que celle du stator. L'équation qui décrit la

Relation générale entre la longueur des étages du rotor au stator est donnée comme suit :

Étage de rotor = $(n+1)/n$ * étage de stator..... II -1

n : nombre de lobe du rotor.

Influence du nombre des lobes

Nombre de lobes élevé + (la longueur de la section motrice) → augmente le volume de la cavité hélicoïdale → torque important → vitesse de rotation faible (RPM). La surface de contact stator-rotor détermine le couple délivré. [12]

II-1-3-2: section de transmission

Elle transmet le couple et la vitesse de rotation produits par la section motrice à l'arbre D'entraînement (**Drive Shaft**). Cette transmission doit éliminer les mouvements légèrement Excentriques du rotor par rapport au stator, et délivrer uniquement un mouvement Concentrique à l'arbre d'entraînement. De plus elle doit être capable de transmettre la poussée Vers le bas engendrée par la section motrice, et de permettre au rotor de rester correctement Aligné par rapport à l'axe du stator, et enfin de supporter une certaine excentricité dans le cas D'un **housing** présentant une déflexion (**Bent Housing**).

La figure (26) représente la section de transmission de mouvement de rotation vers L'outil. Les différents composants de cette section sont le **CV shaft**, **CV coupling(upper And lower)** et le système de déflexion.[5]

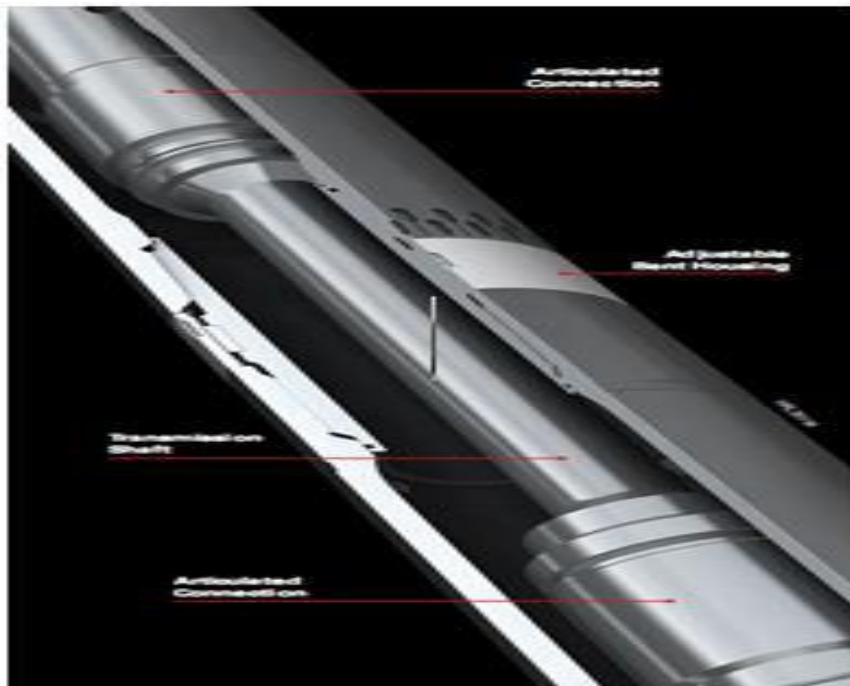


Figure 25: La section de transmission

C'est la partie la plus importante du **PDM**, car elle contient l'angle de déviation de Trajectoire du puits pétrolier. Les stabilisateurs excentriques (**offset**) situés à l'extrémité de la Section de roulements, avec une lame à la fois plus large (I-4-a) ou bien trois lames et parfois Quatre lames. Et le système ajustable, faisant partie intégrante du (**Mandrel, Adjusting ring,**) de (**l'Offset Housin get du (Stator HousingAdaptot)**).

II-1-3-3: Section d'appui

Elle contient des paliers / roulements qui supportent et transmettent la poussée vers le bas de la section motrice, ainsi que la force de réaction au poids appliqué sur l'outil de forage, dirigée vers le haut. Les charges axiales agissant sur l'arbre de sortie sont supportées par un empilement de roulements à billes (**Ball Bearings**) tandis que des paliers de friction radiaux (**Journal Radial Bearings**) fournissent le support latéral au-dessus et au-dessous des roulements à billes. Ces roulements sont lubrifiés, soit par le fluide de forage lui-même, soit en étant enfermés dans des logements étanches remplis d'huile. Plus que l'étage moteur, c'est l'étage "sensible" duquel dépend la durée de vie du moteur. [13]

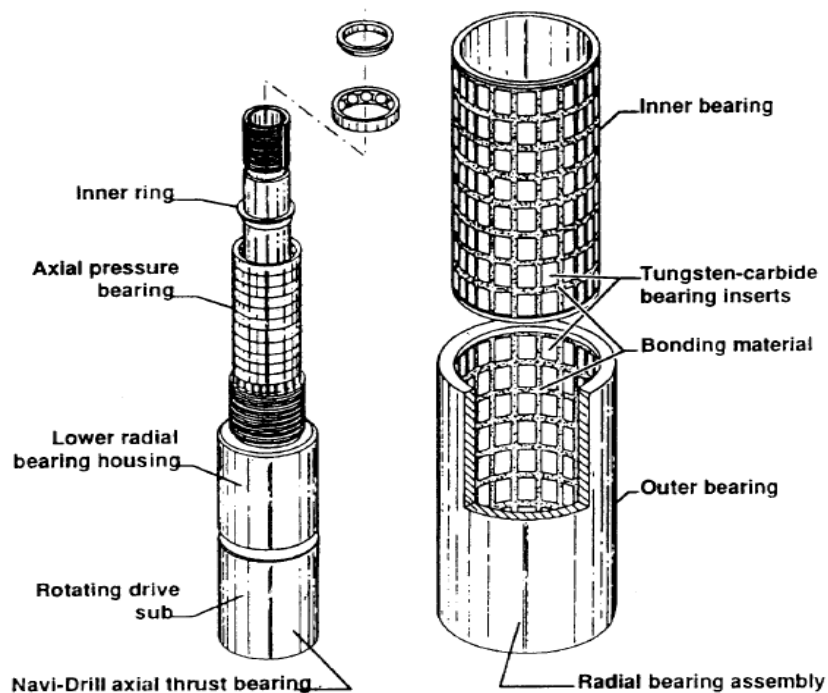


Figure 26 : Schéma d'une section d'appui (bearing section)

• **Un corps externe (Housing) et des stabilisateurs :**

Le corps de la section d'appui peut être lisse, fileté pour accueillir des sleeves de stabilisation changeables, ou bien doté d'un stabilisateur intégral, suivant l'application et le diamètre du moteur. Dans tous les cas ce stabilisateur (sleeve ou integral) est sous-dimensionné. Le housing de la transmission peut être lisse ou stabilisé (sous-dimensionné).[8]

• **Un système de déflexion:**

Il peut s'agir d'un stabilisateur excentrique (offset) situé à l'extrémité de la bearing section, avec une lame à la fois plus large et d'offset 1/8" (a). Généralement le stabilisateur est à trois lames, mais il peut être à une lame (single blade) si l'on craint des frottements trop importants.

Ou bien c'est un système ajustable sur le rig, faisant partie intégrante du housing de la transmission, appelé 'benthousing' ou 'kick off sub', et permettant une déflexion de 0° à 2.75°, soit progressive (système à vis (b)) soit par paliers (système à 1/2 bagues étalonnées).

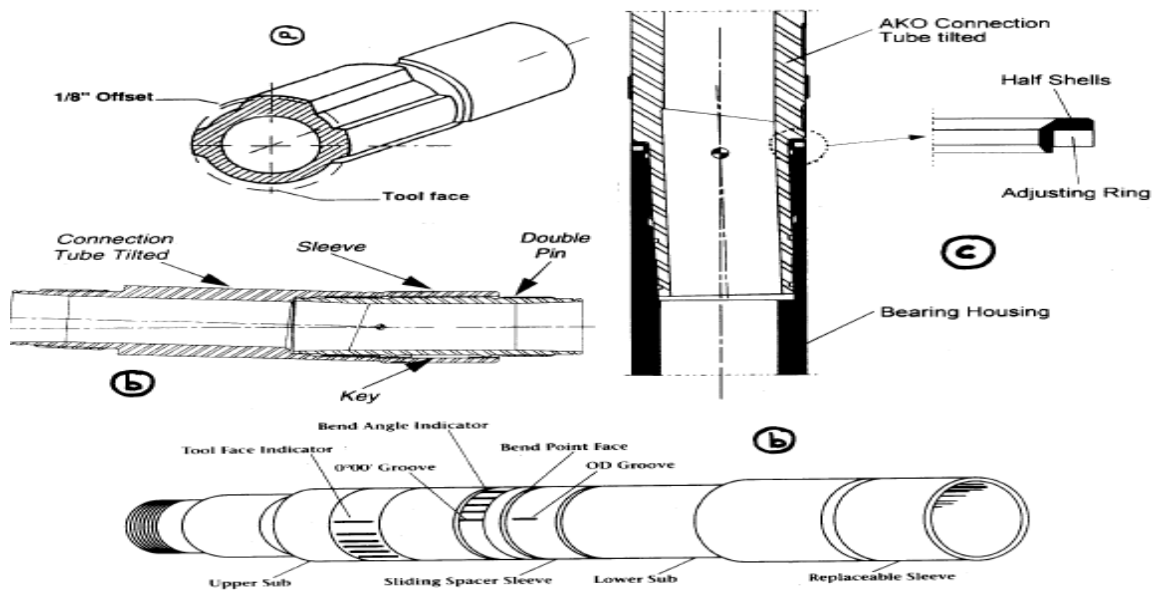


Figure 27 : Systèmes de déflexion pour moteurs de fond

II-1-3-4: By-pass valve or dump sub

Ceci permet à la boue de remplir ou vider le train de tige lors du manœuvre de descente ou remonte.

Quand un débit minimum est établi, le piston de valve est forcé vers le bas, fermant les orifices à l'annulaire. Ainsi, toute la boue est dirigée vers le moteur. Quand le débit devient moins que cette valeur minimum, le retour de ressort le piston de valve à la position ouverte ouvrant les orifices à l'annulaire. Pour éviter l'entrée des solides de l'annulaire quand les pompes sont éteintes (particulièrement en sable lâche), il est normal de placer un float sub de flotteur comme près du moteur si possible.[8]

Le moteur fonctionnera parfaitement sans dump valve - il peut être fixé et remplacé en un sub ayant les mêmes raccordements ou course avec les orifices bloqués.

Cependant, il est préférable d'utiliser la dump valve. Il permet à train de tige de remplir au cour de manœuvre de descente dans le trou et, si les orifices ne sont pas bloqués par formation, il permet les tige d'être tirée vide.

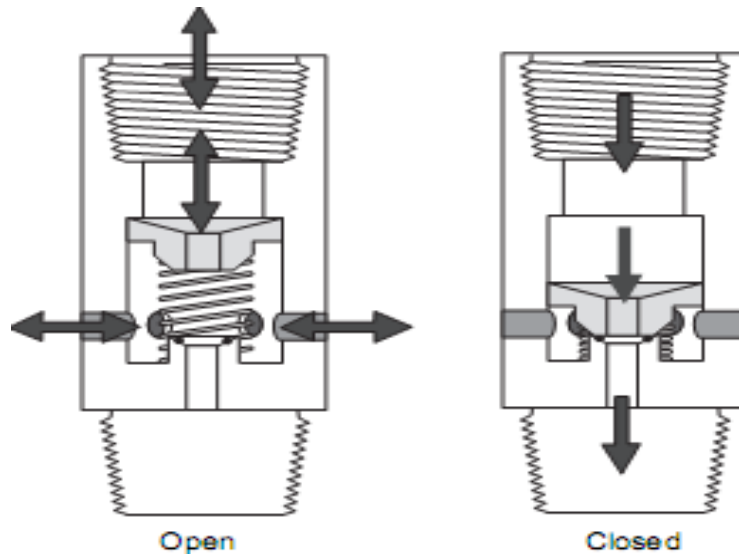


Figure 28 : dump valve

II-1-4-5: Dispositif de capture du rotor

Tous PDM sont équipés d'un dispositif de capture de rotor (RCD) qui sécurise les parties inférieures du moteur en cas de rotation en sens inverse ou arrière. Le DDR comprend une tige de retenue avec un disque de retenue en forme de champignon qui se bloque sur un anneau d'arrêt à l'intérieur du tube de stator. Le disque conserve toutes les parties internes du moteur et toutes les parties externes sous le recul ou la torsion, minimisant ainsi la probabilité qu'un Fish reste dans le trou. [11]

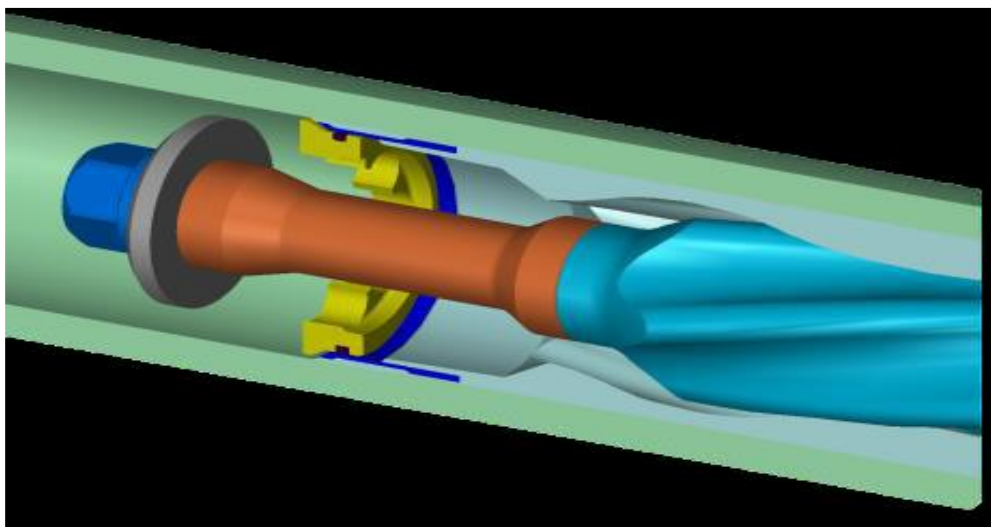


Figure 29 : Dispositif de capture du rotor

II-1-4: Caractéristiques des moteurs de fond PDM

II-1-4-1: Dimensions des moteurs de fond

Dimensions typiques comprenant la longueur à bend, longueur total, aussi bien que les diamètres extérieurs maximum pour différents arrangements de remplissage. En outre inclus sont les diamètres de puits que les moteurs de forage sont recommandés pour, des caractéristiques de raccordement au dessus et au bas et le poids total. [12]

II-1-4 -2: Estimation du dog-leg

Le dog-leg attendu qui peut être réalisé par des outils et des moteurs spécifiques (benthousing offset angle) est calculé par la géométrie des trois points. Lorsque aucune information (build up rate) précise n'est disponible sur le steerable motor's, une bonne estimation est obtenu en utilisant la formule suivante:

$$\frac{\text{Benthousing angle} \times 200}{L} = BUR^\circ / 100ft \dots \dots \dots \text{II-2}$$

L : longueur

Remarque

Cette formule est valable seulement dans la phase build up, dans la phase drop off la formule n'est pas valable puisque l'outil donne une repense différente. [12]

II-1-4-3: Maximum Dog-leg pour le mode rotary

Chaque moteur est caractérisée par les dog-legs recommandés maximum pour tourner pour Les angles sélectionnent, les diamètres de trou, et la stabilisation choisis. [8]

Dépasser ces valeurs aura comme conséquence la fatigue composante accélérée et le chargement excessif de roulement.

Ces limites sont basées sur une limite de vitesse rotatoire maximum de 60 t/mn.

II-1-4-4: Débit & Perte de charge

Les moteurs de fond fonctionnent correctement dans une plage de débit donnée, indiquée par le constructeur.

A débit constant et dégagé du fond, la perte de charge à travers le moteur est constante. Elle augmente quand l'outil atteint le fond et avec elle la pression de circulation.

Le poids sur l'outil est directement proportionnel à cet accroissement de pression appelé "delta P" du moteur. [8]

II-1-4-5: Caractéristiques de fonctionnement

Les caractéristiques de fonctionnement du moteur de forage sont comprises des capacités minimum et maximum de débit, et des valeurs d'unité sans charge de RPM/ unité d'écoulement.[5]

La vitesse minimum et maximum d'outil à full load différentiel pressure sont également énoncées.(Full load différentiel pressure est définie comme la pression différentiel maximum que le moteur de forage est capable du fonctionnement au dessous des taux d'usage et l'espérance de vie acceptables.)

En outre dans les spécifications est la capacité maximum de couple qui se corrèle avec le full load différentiel pressure du débit indiqué minimum.

La puissance maximum est calculée à partir de la vitesse maximum d'outil et du couple maximum pour full load différentiel pressure pour le débit maximum indiqué.

II-1-4-6: Diagramme de fonctionnement

Des diagrammes pour les unités métriques sont montrés pour fournir des caractéristiques opérationnelles sur la gamme complète des débits et la pression différentielle pour le moteur de fond. Le premier composant du diagramme est la ligne RPM.À travers le fond du diagramme est la pression différentielle (kPa, livre par pouce carré). [12]

La pression différentielle est la différence entre la pression de système quand le moteur de forage est le sur-fond (on-bottom) et l'au loin-fond (off-bottom).Du côté gauche du diagramme est la vitesse RPM.

Le deuxième composant du diagramme est la ligne de couple. Du bon côté du diagramme est la balance de couple (pi-livres, N-m).

La ligne de couple est employée avec cette échelle et l'échelle de pression différentielle à travers le fond.

La ligne de couple commence à pression différentielle égale à 0 et à couple égale 0, et augmente linéairement au fur à mesure que la pression différentielle augmente. La même ligne de couple est employée pour les divers débits parce que le couple est indépendant de débit. Cette ligne de couple est la même pour les moteurs de forage.

Les lignes full load indiquent le maximum recommandé actionnant des pressions différentielles du moteur de forage.

Si la différence de pression dépasse ces valeurs maximum, la durée de fonctionnement du stator sera réduite.

II-1-5: Les différents types des PDM

Il existe plusieurs types de PDM utilisés dans l'industrie pétrolière dont les plus employés sont les suivants :

II-1-5-1: Moteurs à une seule courbure (Single Bend)

Le système de déflexion standard est un 'Bent Housing', encore appelé AKO 'Adjustable Kick off Housing', positionné sous le stator, au-dessus de la section d'appui.

L'ajustement du tilt angle se fait sur le plancher de forage.

Si aucune navigabilité n'est exigée, par exemple pour le reforage du shoetrack (anneau, ciment, sabot), le réglage peut se faire à 0°.

La valeur maximale du tilt angle dépend du diamètre du moteur et du diamètre du trou. Des abaques ou des tables donnent les capacités de dogleg potentielles pour les différentes valeurs du tilt angle, ainsi que les limitations relatives à la rotation du train de sonde. [5]

II-1-5-2: Moteurs à deux courbures (Double Bend)

La double courbure du moteur est réalisée par l'adjonction d'un bentsub fixe (2°) ou ajustable en haut d'un moteur à simple déflexion. On peut obtenir ainsi des gradients jusqu'à 24°/30m. Une telle configuration interdit la rotation du train de sonde. [5]

II-1-5-3: Moteurs DTU (Double Tilted U-joint)

Le concept du DTU housing est de minimiser l'offset de l'outil de forage grâce à deux angles de tilt situés dans le même plan, mais opposés l'un à l'autre (à 180°).

L'offset est la distance entre le centre de la base de l'outil et l'axe de la section motrice.

La valeur du tilt angle DTU (résultante des 2 angles opposés) n'est pas ajustable sur chantier.[5]

Un moteur DTU définit un système géométrique à 3 points : outil, BS, TS.

$$TGDS = \frac{60 \times \alpha}{L_1 + L_2} \dots\dots\dots \text{II-3} \quad \text{Theoretical geometric dogleg severity en } ^\circ/30\text{m}$$

Tel que : L_1 = la longueur de puit en verticale.

L_2 = la longueur de moteur.

α : Tilt angle de l'outil.

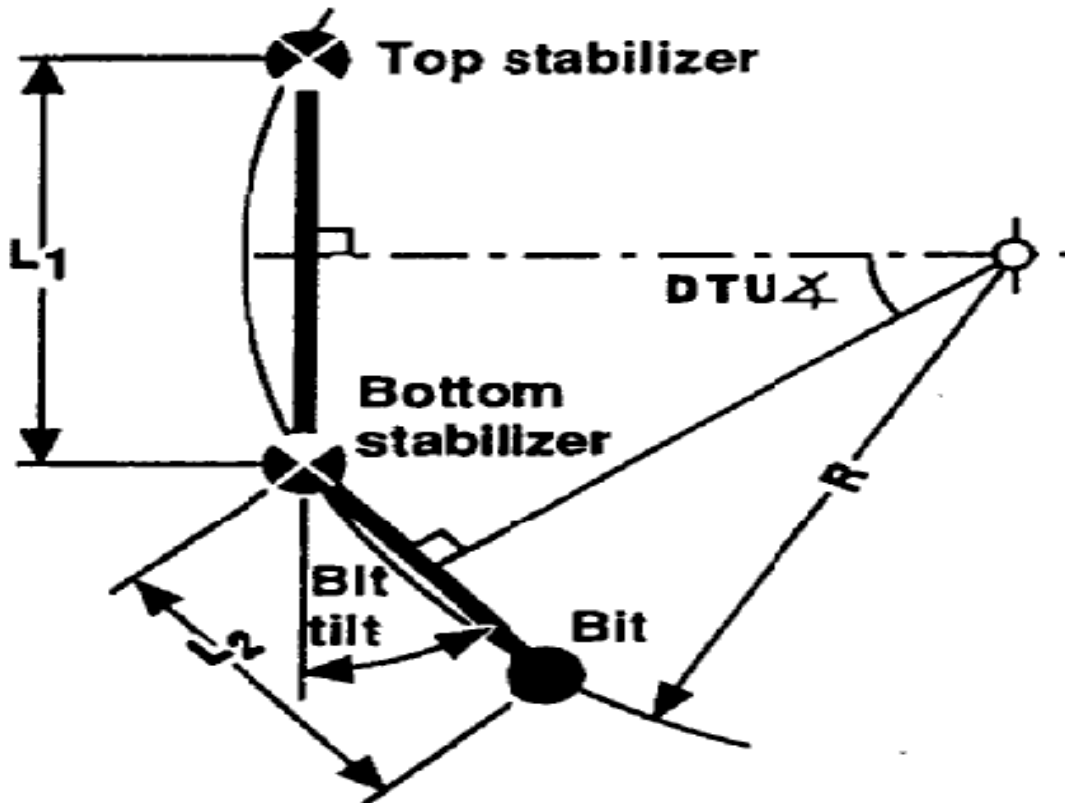


Figure 30 : Concept du double tilt

Ces moteurs sont disponibles avec des valeurs différentes de tilt angle DTU, de 0.25° à 0.80° selon les moteurs, de façon à offrir des capacités de dogleg d'environ 2° , 3° et $4^\circ/30m$.

Du fait de l'offset minimal de l'outil, on peut utiliser les moteurs DTU en mode rotary pendant des périodes très longues, avec une faible excentricité comparée à un benthousing de même capacité de dogleg. La rotation de la garniture annule l'effet du tilt de l'outil, et l'on fore ainsi un puits rectiligne et de diamètre à peine plus gros. [16]



Figure 31 : Les moteurs de navigation les plus utilisés (PDM)

II-1-6: Limitations d'utilisation & problèmes pratiques

Les moteurs de fond sont des outils relativement fragiles, en particulier leurs stator et roulements. Ceci entraîne quelques limites de fonctionnement. La durée de vie d'un moteur peut être dramatiquement réduite si ces limites ne sont pas respectées. [16]

II-1-6-1: Couple réactif

La rotation de l'arbre est obtenue par le passage du fluide de forage à travers le rotor/stator. Pendant le forage l'outil de forage rencontre une résistance qui se traduit par un couple, et le moteur a alors tendance à tourner en sens inverse en raison du débit qui continue à l'actionner, jusqu'à atteindre un état d'équilibre. Ce phénomène est appelé couple réactif. Son amplitude dépend à la fois du type d'outil de forage, de la puissance du moteur et de la formation forée. [5]

Si le couple réactif est trop fort, il deviendra difficile de contrôler le tool-face et donc la trajectoire. Ceci peut aller jusqu'à l'impossibilité de diriger le puits et donc de forer.

II-1-6-2: Calage

Si un poids excessif est appliqué à l'outil de forage, le moteur calera (stall-out) c'est à dire stoppera brutalement de tourner. Des calages répétitifs risquent d'endommager le moteur, en particulier son stator, et doivent être évités. Le calage est en général dû à un excès de poids sur l'outil, lui-même dû à un excès de "delta P". Il peut également être dû à une usure du moteur résultant en une perte de puissance et une impossibilité de forer. En cas de calage le foreur doit dégager l'outil du fond, remonter quelques mètres en stoppant la circulation, puis redémarrer la circulation et reprendre le fond doucement en n'excédant pas le "delta P" nominal. [5]

II-1-6-3: Chute de pression à l'outil de forage

La perte de pression à travers l'outil de forage affecte le débit de circulation et donc la quantité de fluide traversant les roulements et donc leur lubrification. Il est donc quelquefois nécessaire de limiter cette perte de pression en utilisant soit des duses de gros diamètre soit un outil sans duse. [5]

II-1-6-4: Bouchage

Dans les formations tendres ou dans les formations où l'accumulation de déblais est un problème, le moteur peut avoir tendance à se remplir et se boucher. Ce problème peut être résolu par l'introduction d'une valve anti-retour entre l'outil et le moteur. [15]

II-1-6-5: Quantité de solides dans le fluide de forage

Un excès de solides dans le fluide de forage aura un effet abrasif accélérant l'usure du stator et même du rotor. [17]

II-1-6-6: Température

Les élastomères constituant les stators supportent mal les hautes températures réduisant la durée de vie des moteurs. Cependant des élastomères dits "hautes températures" sont apparues dans les années récentes repoussant les limites d'utilisation des moteurs. [7]

II-1-6-7: Boues à l'huile

De même les boues à base d'huile ont un effet corrosif sur les élastomères et réduisent la durée de vie des moteurs. Là aussi des progrès récents améliorent les performances des moteurs. [7]

II-1-6-8: Durée de vie des outils de forage

La durée de vie des outils de forages à molettes est limitée par un nombre total de rotation des roulements et donc inversement proportionnelle à la vitesse de rotation des outils. Un outil utilisé avec un moteur à grande vitesse verra sa durée de vie réduite, limitant la longueur forable en une seule descente. [7]

II-1-7: Paramètres influençant sur les performances des PDM

Les facteurs influençant sur les performances de moteur de fond sont : les caractéristiques de la roche, la pression au fond du puits, la conception et l'état de l'outil de forage, la composition de la boue et les paramètres opératoires de l'outil. [5]

II-1-7-1: Les paramètres de forage

On appelle paramètres de forage les différents facteurs qui conditionnent la vitesse d'avancement d'un outil de forage. [5]

Ils peuvent être classés en deux catégories :

❖ Les paramètres mécaniques :

- type de l'outil,
- poids sur l'outil,
- vitesse de rotation.

❖ Les paramètres hydrauliques :

- le débit,
- la pression,
- la nature du fluide de forage et ses caractéristiques (densité, viscosité et filtrat).

II-1-7-2: Les paramètres mécaniques

Les terrains traversés présentent une grande variété de dureté. Les avancements peuvent varier de 80 mètres/heure à quelques dizaines de centimètres par heure. Il est évident que pour détruire des roches ayant de telles différences de formabilité, on utilisera des outils qui travaillent selon des principes différents. [7]

a. Sélection du moteur

Trois configurations des moteurs de forage fournissent la large gamme des vitesses de l'outil et des sorties de couple exigées satisfaisant une multitude d'applications de forage.

Ces configurations incluent:

- À grande vitesse / Couple Bas ;
- Vitesse Moyenne / Couple Moyen ;
- À vitesse réduite / Haut Couple.

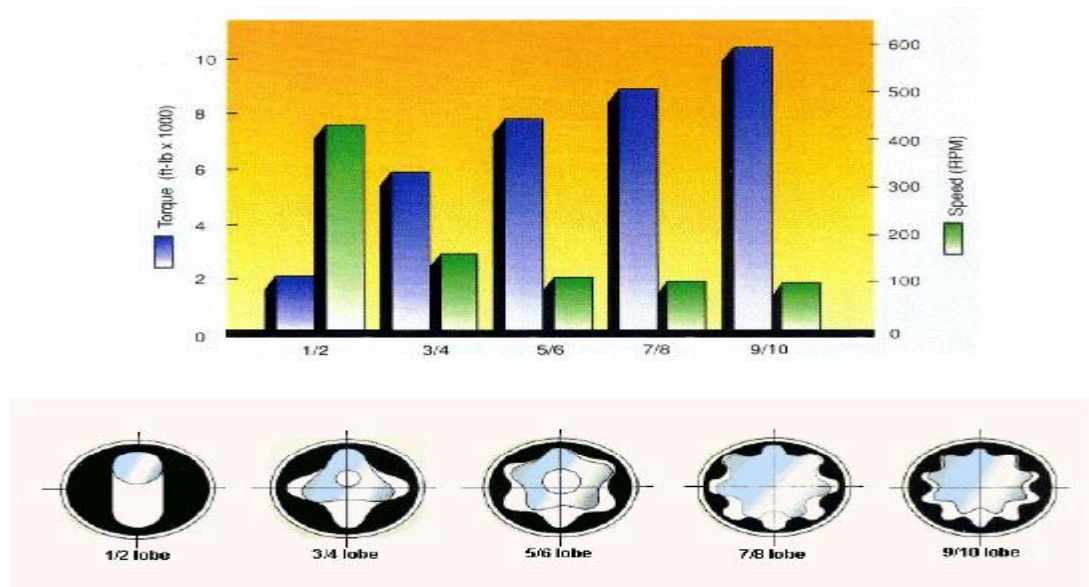


Figure 32 : Différents types de moteurs / Puissance, Couple et Vitesse

b. Poids sur l'outil

D'après des études en laboratoire et des essais effectués sur les chantiers, il a été constaté que si, à vitesse de rotation constante, on augmente le poids appliqué sur l'outil, on enregistre une augmentation de la vitesse d'avancement.

Cette augmentation varie à peu près en proportion directe du poids sur l'outil si le débit de circulation est suffisant.

Toutefois, la vitesse d'avancement peut atteindre un maximum si le poids appliqué à l'outil atteint la charge limite qui est la charge nécessaire pour faire pénétrer entièrement une dent dans la formation. Au-delà de cette charge limite, tout poids supplémentaire est supporté par le corps du cône qui s'applique contre la formation et il en résulte une diminution de la vie du roulement sans augmentation correspondante de la vitesse d'avancement. Cette charge limite est d'autant plus importante que le terrain est plus dur et peut, dans certains cas, ne pas pouvoir être atteinte avec les équipements de forage dont on dispose.

Par suite des frottements du train de tiges, du train de masse-tiges, des stabilisateurs, on peut noter, sans précision, que le poids sur l'outil est souvent inférieur à celui marqué par l'indicateur de poids.

En plus de cette charge limite, le poids sur un outil est limité par sa construction même, c'est-à-dire par le type de l'outil :

- un outil pour terrain tendre, ayant les dents longues, aura obligatoirement des chemins de roulements pour les billes et les galets de dimension limitée, donc acceptant des charges plus faibles,
- par contre, pour un outil pour terrain dur, ayant de petites dents, les chemins des roulements sont plus conséquents et acceptent de fortes charges.

Le poids sur l'outil peut également être limité :

- par le poids des masse-tiges utilisées. Actuellement, la tendance est d'augmenter le poids sur les outils pour améliorer l'avancement. Il faut donc augmenter le nombre ou la dimension des masse-tiges. Il est nécessaire d'avoir un poids apparent de masse-tiges supérieur d'environ 20% au poids maximal que l'on peut appliquer sur l'outil,
- par certaines formations à fort pendage ayant tendance à faire dévier les outils.

On essaie de limiter cette tendance à la déviation, tout en maintenant un poids acceptable sur l'outil par l'emploi de stabilisateurs ou de masse-tiges surdimensionnées. [7]

c. Vitesse de rotation

Le poids sur l'outil est étroitement lié à la vitesse de rotation. On ne peut augmenter indéfiniment et simultanément ces deux paramètres sans provoquer un travail extrêmement dur pour le train de sonde et pour les roulements des tricônes.

Une augmentation de l'un entraîne très souvent une réduction de l'autre. Avec les tricônes à dents, une constante est maintenue dans la vitesse de rotation considérée la mieux adaptée. D'après les études et essais sur chantier, il ressort que la vitesse de pénétration ne croît pas en proportion directe avec la vitesse de rotation. Il existe une vitesse optimum au-delà de laquelle la vitesse d'avancement n'augmente plus. Cette vitesse de rotation maximale décroît à mesure que la dureté de la formation augmente et la vitesse optimale de rotation décroît quand on augmente le poids sur l'outil. [5]

La vitesse de rotation peut être limitée également :

- par les vibrations du train de sonde (phénomène de résonance qui peut être la cause de fatigues et de ruptures),
- par les grandes profondeurs,

- par certains types d'outils (à pastilles) qui travaillant par broyage, le facteur poids est plus important ; une vitesse de rotation excessive entraînerait une diminution de la vitesse d'avancement ainsi que la détérioration des pastilles en carbure de tungstène.

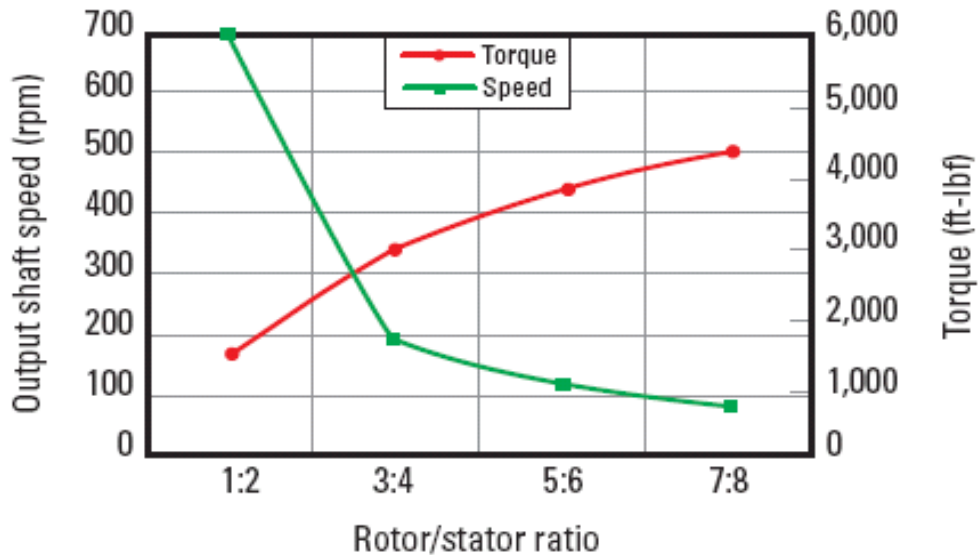


Figure 34 : Variation de la vitesse avec le couple

II-1-7-3: Les paramètres hydrauliques

a. Fluide de forage

La plupart des moteurs du forage sont conçus pour opérer efficacement avec pratiquement tous types de fluides de forage. Les courses prospères ont été accomplies avec l'eau douce ou salée, fluide de forage à base d'huile, fluides avec additifs pour contrôler la viscosité ou perte de circulation, et avec l'azote. [2]

Cependant, quelque considération devrait être prise pour sélectionner le fluide de forage, comme les composants de l'élastomère du moteur du forage qui sont susceptibles exposé à certains fluides surtout sous plus hautes températures.

b. Débit

La vitesse d'avancement croît en proportion directe avec le poids que l'on applique sur l'outil ; pour un débit donné, si on augmente progressivement le poids sur l'outil, il peut arriver un moment où l'avancement ne croît plus proportionnellement au poids et peut même diminuer si on continue à augmenter le poids. Ce phénomène à partir duquel il n'y a plus proportionnalité directe entre avancement et poids est appelé balling up ou point de bourrage de l'outil. [2]

Au-delà de ce point le débit n'est plus suffisant pour évacuer la totalité des déblais au fur et à mesure qu'ils sont produits par les dents de l'outil et une partie du poids mis sur l'outil est supportée par les déblais.

On peut retarder l'apparition du balling up en augmentant la vitesse aux jets, ce qui permet un meilleur nettoyage du front de taille.

Le débit a donc une influence sur l'avancement mais jusqu'à une certaine valeur limite au-delà de laquelle il n'améliore plus l'avancement et risque au contraire d'être nuisible par la formation de caves (turbulence au niveau des tool joints et des masse-tiges), l'érosion au droit des masse-tiges où la vitesse de la boue est d'autant plus élevée que l'on emploie des masse-tiges surdimensionnées.

c. Viscosité

Des essais réalisés en laboratoires ont mis en évidence l'influence de la viscosité sur la vitesse d'avancement.

Plus un liquide est visqueux plus il a de difficultés à pénétrer dans les petites fractures produites par l'outil dans la formation. [2]

d. Pourcentage d'huile dans la boue

L'expérience a montré que l'huile ajoutée à la boue augmente la vitesse d'avancement. De plus, la lubrification par l'huile prolonge la durée de vie des roulements de l'outil. [2]

Les boues à huile donnent des meilleures performances en:

- éliminant le problème d'hydratation des argiles,
- prévenant le bourrage de l'outil,
- diminuant l'érosion/corrosion,
- éliminant la fatigue par corrosion,
- combattant les fissurations dues à la corrosion,
- diminuant les chocs thermiques,
- réduisant les fissurations par les forces thermiques.

e. Pourcentage de solides dans la boue

L'augmentation du pourcentage en solide dans la boue diminue la vitesse d'avancement et la vie de l'outil. Il est nécessaire de faire des traitements mécaniques corrects de la boue pour évacuer les solides. [2]

II-1-6: Les avantages des PDM moteur

- PLUS d'énergie directe à l'outil.
- RPM élevée à l'outil.
- ROP élevée due à RPM.
- Moins de perte de friction due à La réduction du String RPM.
- Moins d'usure du drill string.
- Meilleure stabilité des Parois.
- control directionnel.

II-2: Les turbines

Elles servent à transmettre la rotation sur l'outil lorsque la vitesse à transmettre est trop grande pour être exercée avec la table de rotation, comme pour l'outil diamanté ou lorsqu'il y a des difficultés de rotation (mauvais profil des trous en déviation et frottements trop importants) ou dans certains cas lorsqu'on ne peut pas utiliser la rotation du tout (départent déviation). L'utilisation de la turbine n'est pas toujours possible car elle demande un équipement approprié en surface. [13]

Il existe deux types : les turbo-foreuses de déviation à un design court et les turbo-foreuses d'avancement sont plus longues. [12]

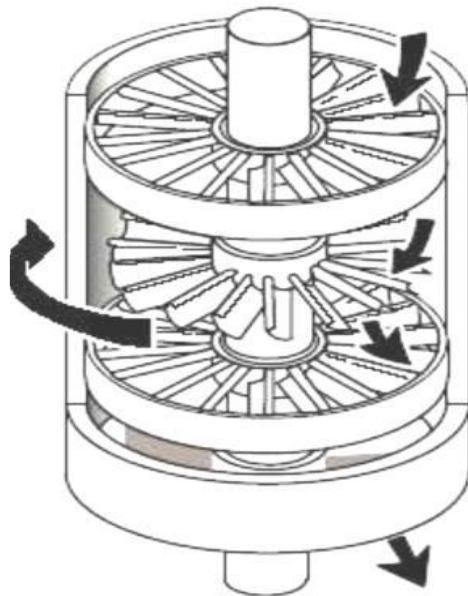


Figure 34 : Turbine

Influence du débit

Le torque est en fonction de : débit, densité de la boue, angle des aubes, nombre d'étage et le WOB.

RPM : pas d'influence de densité, directement proportionnel au débit au torque constant. [13]

II-2-1: Principe de fonctionnement

La turbine convertit l'énergie contenue dans l'écoulement hydraulique (boue), sous la forme de pression et de débit, en énergie mécanique sous forme de rotation. Cette conversion a lieu dans les étages de la turbine, (un étage comprend un rotor et un stator), situés dans la section motrice. La puissance fournie par la turbine est la somme des puissances fournies par tous les étages (généralement 75 à 125 par section), dans une ou plusieurs sections motrices.

Plus précisément, l'énergie emmagasinée dans le fluide hydraulique, est convertie en vitesse de rotation et en couple. La vitesse de rotation de la turbine est proportionnelle au débit du fluide hydraulique. Le couple est une fonction du débit de fluides hydrauliques, la densité du fluide hydraulique (poids de la boue), et le nombre des étages employé dans la turbine.

La vitesse de rotation et inversement proportionnels au couple de sortie de la turbine. Les Turbo-foreuses fonctionnent en général à haute vitesse de rotation, ce qui implique que le couple est généralement assez faible. La puissance mécanique fournie par la turbine étant constante et égale à la puissance d'entrée (hydraulique) moins les pertes. Ces pertes peuvent être caractérisées par le rendement η qui est le rapport entre la puissance consommée par la turbine et la puissance fournie.

En pratique, la puissance fournie par la turbine est modifiée en changeant le débit du fluide, la densité de la boue ou la chute de pression à travers la turbine. Comme suggéré au dessus, la puissance produite peut aussi être modifiée en ajoutant ou enlevant des étages de la turbine.

Finalement, en changeant la nature des caractéristiques des aubes des étages de la turbine, on change la vitesse et le moment de rotation fournis par celle-ci. Les caractéristiques des aubes n'affectent pas la puissance produite si on ignore le rendement. [14]

II-2-2: Composition

Une turbine est généralement composée de deux sections, une section motrice (power section) qui délivre l'énergie à l'arbre de transmission, cette section est constituée d'un nombre d'étages, chaque étage contient un stator qu'est fixé au corps du moteur et un rotor fixé sur l'arbre de transmission, au-dessous de la section motrice on trouve la section d'appui (bearing section) qu'est constituée d'un nombre de palier (blades) qui consiste à éliminer les vibrations sur la turbine en éliminant les effets de la charge hydraulique et le poids sur l'outil.[5]

II-2-2-1: Section motrice

Une turbine de forage peut avoir une ou plusieurs sections motrices, selon les exigences de puissance. Les sections sont numérotées à partir de celle du haut, c'est-à-dire la section du dessus est désignée "TS1" et la section motrice intermédiaire "TS2." Toutes les sections sont composées d'un grand nombre d'étages de turbine, (typiquement 75 à 125 par section). L'étage de turbine est la machine de base de conversion de l'énergie dans une Turbo-foreuse.

Ils sont empilés les uns sur les autres dans la section motrice. La somme des puissances délivrées par tous les étages qui composent une turbine est égale à la puissance de la turbine elle-même. La puissance fournie par la turbine peut donc être modifiée en changeant le nombre d'étages incorporés. Ceci signifie qu'en augmentant le nombre d'étage, la capacité de la turbine augmente. Cependant en réalité ceci augmentera l'énergie hydraulique exigée par la Turbo-foreuse pour délivrer une telle puissance. [5]

A) Etage de turbine

Un étage de turbine est composé de :

- **Un stator** : il est pressé de manière très serrée et colle parfaitement à l'intérieur du corps de la Turbine et ne peut pas tourner par rapport au corps. Ce serrage est très important. Si un stator pouvait tourner quand il reçoit un courant de fluide, il dissiperait l'énergie hydraulique contenu dans celui-ci. Le serrage prévient aussi les fuites de fluide entre le stator et le corps de la turbine le long de la paroi. Les fuites dissipent l'énergie hydraulique lorsqu'elles sont possibles.

La fonction du stator est de collecter le flux turbulent entrant à l'étage, de le réintroduire en courant laminaire, et diriger ce courant "amélioré" dans le rotor. Pour diriger le courant dans le rotor, la direction du courant est changée d'axial à semi-radial exigé par le rotor pour forcer la rotation. L'efficacité du stator est déterminée par:

- le degré au quel le courant axial est redirigé en un courant radial.
- L'ampleur à la quelle les conditions de l'écoulement laminaire sont rétablies dans le Courant de décharge du rotor.
- L'importance des turbulences de sillage auto générées en aval des lames du rotor. [13]

- **Un rotor** : il est fixé à l'arbre de rotation de la turbine. Il reçoit le courant de fluide oblique (semi - radial) sortant du stator. Ce courant imprime un mouvement de rotation à l'arbre de la turbine. Les rotors (en dehors du rotor du dernier l'étage) déchargent le fluide directement à l'entrée du stator de l'étage suivant.

L'efficacité du rotor est dépendante de la forme des lames et du degré au quel le courant à travers le rotor est laminaire. Comme avec le stator, l'ampleur des turbulences de sillage auto générées est aussi importante. Des larges turbulences à la sortie du rotor entraîneront d'importantes turbulences au rotor de l'étage suivant et par conséquent une baisse du rendement de l'étage en question.

B) Les aubes du rotor et stator

Les stators rassemblent et dirigent l'écoulement dans un étage de la turbine. Les rotors convertissent l'énergie hydraulique du fluide de forage débordant en mouvement tournant d'arbre d'entraînement. [13]

Comment est-ce que ceci est accompli ?

Pour répondre il faut qu'on sache que les stators et rotors ont un aspect peu semblable, Le dispositif le plus important de tous les deux est un arrangement d'ailes, des lames formées radialement disposées autour de l'axe vertical de la turbine, Cette similitude suggère un rapport fonctionnel étroit entre les deux , la lame de l'aube du stator est conçue pour éliminer les turbulences du flux .La plus grande partie de l'écoulement entrant dans un stator de turbine est turbulente. L'efficacité globale de l'outil s'améliore de manière significative avec la réduction de la turbulence des étages de la turbine encore plus important, les lames du stator changent le sens d'écoulement indépendamment de s'il est laminaire ou turbulent le stator cause une courbure angulaire dans l'écoulement, L'écoulement qui quitte chaque lame agit tangentiellement au diamètre du rotor en cours du plier l'écoulement, des grandes charges axiales sont développées dans le stator, ces charges doivent être supportées par les paliers axiaux comme mentionné, les sections transversales de la lame de la turbine sont des ailes, Dans le rotor, l'intention est de créer une force, le résultat de la différence de pression entre le dessus et le fond de la lame pousse du côté inférieur de la lame et tire du côté supérieur, Ils agissent sur le rotor dans une direction qui cause le mouvement autour du centre du rotor, un flux de fluide passant par la partie supérieure d'une lame de turbine de forme d'une aile doit parcourir une distance plus grande qu'un écoulement à travers le côté inférieur, une différence

de pression s' établie Cette différence essaye de causer le mouvement tangentiel dans les rotors, autour de leur axe, et dans la direction du côté de basse pression des lames du rotor, cette force est influencée par la forme de l'angle d'attaque de l'aile relativement à l'écoulement.

II-2-2-1: Section d'appui

Une section d'appui (bearing section) qui contient des paliers (roulements) qui supportent et transmettent la poussée vers le bas de la section motrice voire la force de réaction au poids appliqué sur l'outil de forage, dirigée vers le haut. Les charges axiales agissant sur l'arbre de sortie sont supportées par un empilement de roulements (bearings) tandis que des paliers de friction radiaux (radial bearings) fournissent le support latéral au-dessus et au-dessous des roulements, tous ces roulements sont lubrifiés soit par un bain d'huile étanche, soit par la boue (5-10 % du débit). Le système de roulements adopté influence la longévité de la turbine, le poids maximal applicable sur l'outil, et enfin la distance entre l'outil et le bent-housing. [16]

A) Les paliers axiaux

Avec la turbine off-bottom, le poids du rotor de la turbine avec la poussée hydraulique axiale crée une force axiale vers l'outil. Quand on fore, le poids sur l'outil crée une force réactive qui s'oppose à la charge axiale. Dans la plupart des cas, le poids sur l'outil est inférieur à la poussée axiale, et la force résultante est orientée vers l'outil. En tout cas, les roulements et la réaction de WOB doivent équilibrer les charges de la poussée. Les roulements axiaux comprennent des composants fixes, et un composant rotatif qui est fixé à l'arbre, (comme un rotor). Les composants fixes et rotatifs sont alternés et empilés dans la section d'appui, et tournent les un contre les autres. Le nombre des éléments a empilé est fonction des forces de poussée prévue dans les étages de la turbine mais aussi de la nature des matériaux constituant ces éléments.

Il existe plusieurs types de roulement, ils peuvent être des roulements à billes ou des paliers de friction en élastomère, métal ou même PDC. Le système de roulements adopté influence la Longévité du moteur, le poids maximal applicable sur l'outil, et enfin la distance entre l'outil et le benthousing. Dans les turbines modernes on opte les plus souvent pour des paliers en élastomère ou en PDC.

A-1) Paliers en élastomère

Ils sont composés d'un palier fixe en élastomère et acier, et un élément rotatif en acier avec revêtement en oxyde de chrome sur la surface d'appui. Ces roulements fournissent une bonne résistance à l'abrasion et d'excellentes propriétés de résistance au choc. Le matériau est exposé à des dommages thermiques par des températures supérieures à 320 ° F (160 ° C). (2)

A-2) Palier en PDC

Les butées en PDC (polycristallin diamant compact) ont une résistance très élevée à l'abrasion, et peuvent opérer à de très haute température (450 ° F / 233 ° C est le maximum actuel), et sont en mesure de soutenir très grandes charges axiales, les PDC ont une très haute résistance à la compression et peuvent soutenir des grandes charges axiales par unité de surface. Les PDC ont un faible coefficient de frottement, sont insensibles à tous les produits chimiques ou naturels de la boue qui pourrait circuler en cours de forage, et fonctionner sans problème à des températures très élevées. Les capacités de charge et le faible coefficient de frottement contribuent efficacement, à réduire au minimum la longueur de l'outil, en minimisant le nombre de palier nécessaire, et prolonger sa durée de vie. Leur principal défaut est leur prix plus élevé que tous les autres types. [5]

B) Paliers de friction radiale

Les roulements radiaux supportent les charges transversales (côté à l'autre) qui peuvent être appliquées à une turbo-foreuse et permettent de maintenir le centrage latéral des pièces tournantes. Deux types de roulements radiaux sont utilisés dans une turbo-foreuse, roulements radiaux inférieurs et roulements radiaux intermédiaires. Un palier radial inférieur unique est installé au bas de la section d'appui de l'outil. Un certain nombre de paliers radiaux intermédiaires sont répartis à travers l'outil pour supporter les charges transversales. Ils sont installés selon les besoins, dans les sections motrices et d'appui, afin de parvenir à un centrage latéral des composants tournants (principalement rotors de turbine, butées et l'arbre d'entraînement). À l'exception du palier radial inférieur, directement au-dessus de l'outil, les roulements radiaux sont refroidis et lubrifiés par le fluide hydraulique qui les traverse. En sortant des butées, la plupart du flux entre dans la tige de transmission, en passant par trois orifices d'entrée, pour être transféré à l'outil. Une petite partie du flux est détournée pour lubrifier et refroidir le palier radial inférieur. Ce flux est en suit rejeté dans l'espace annulaire.

Le courant latéral doit être minimisé pour éviter une réduction significative de l'écoulement à l'outil. Un dispositif de compensation de pression appelé labyrinthe est donc installé au dessus du palier radial inférieur pour égaliser la pression dans le boîtier du palier inférieur à celle de l'annulaire, la suppression de la pression différentielle limite généralement le débit de lubrification des paliers radiaux de quelques pour cent du débit total. [5]

C) Cylindre d'équilibrage des poussées (balance drum)

Situé au top de la section motrice, le cylindre d'équilibrage des poussées réduit les charges axiales sur la section d'appui (bearing section) en diminuant la poussée hydraulique vers le bas jusqu'à 70 %. Le cylindre d'équilibrage égalise la pression au top de l'arbre moteur (drive shaft) de la turbine avec la pression dans l'annulaire. Cet équilibre est réalisé grâce à un cheminement de la boue à travers un micro-annulus entre l'axe du rotor et l'annulaire. On a besoin donc de moins de paliers de roulement, et la section d'appui est plus courte : le bénéfice est une efficacité du moteur accrue.

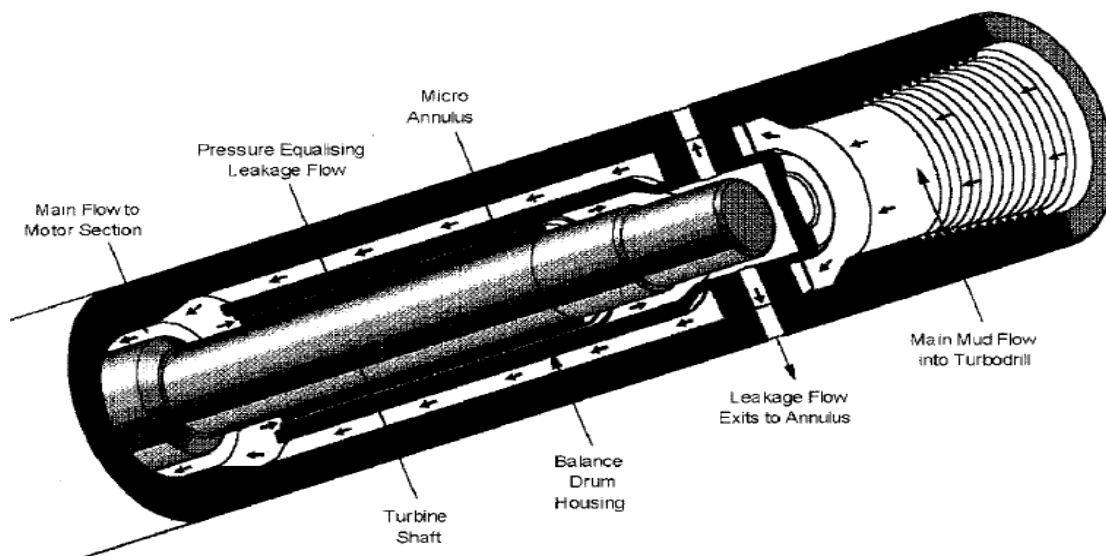


Figure 35 : Cylindre d'équilibrage des poussées (balance drum)

D) Les turbines orientables (Steerable turbine et le benthousing)

L'introduction d'un coude ou bien « benthousing » permet d'orienter des puits verticaux et horizontaux et assure un suivi précis de leur déviation, cela optimise l'exploitation des potentiels de réservoir, les benthousing sont placés dans la section de roulement de la turbine pour être aussi plus proche de l'outil de forage permettant la meilleur commande de celui-ci.

Pour changer la direction ou l'inclinaison du puits, le bent est orienté dans la direction désirée et le forage sera continué sans rotation de la garniture de forage. La clé pour incorporer la bent-housing dans des turbines était le développement des moyens par lesquels la puissance donnée à l'arbre d'entraînement pourrait être réorientée pendant les cycles de rotation étendus par l'angle de bent. Les conceptions initiales ont employé un joint universel" qui est un axe rigide avec une rotule à chaque extrémité. Aujourd'hui, la majorité des turbines modernes intègrent un bent-housing équipé d'un arbre de transmission flexible en titane. Celui-ci a la solidité et l'élasticité physiquement nécessaire pour tolérer la réorientation du couple et de la rotation de l'arbre d'entraînement sur des milliards de cycles de rotation. [12]

Les angles de flexion induits dans l'arbre d'entraînement par le bent-housing varient entre 0° et $1,5^\circ$, selon les besoins directionnels, Cet angle est réglable sur le terrain.

L'ajout d'un coude réglable voire la figure (36) augmente la longueur de la section d'appui. Les turbines orientables sont couramment utilisées pour initier les déviations (kickoff), initier et forer des sidetracks, et pour faire des corrections de direction. La longueur de l'outil a tendance à être un obstacle dans le forage directionnel. Ainsi, afin d'optimiser l'efficacité de déviation, la longueur des outils orientables doit être réduite au minimum. La longueur de la section motrice et de la section d'appui sont minimisées à condition qu'elles puissent fournir la puissance et la vitesse nécessaire à l'outil.



Figure 36 : bent-housing réglable

II-2-3: Caractéristique des turbines

Chaque type de turbo-foreuse est évalué à un débit donné appelé débit nominal. Les caractéristiques mécaniques sont mesurées et décrites au débit nominal. Les caractéristiques aux autres valeurs de débit sont généralement calculées sur la base des valeurs mesurées du débit nominal. Calcul des vitesses de rotation, des couples de sortie, puissance, efficacité de l'outil, et la chute de pression à travers une turbine de forage. [14]

A) Puissance

La puissance délivrée par une turbo-foreuse est égale au couple de sortie multipliée par la vitesse de rotation. La puissance est donc proportionnelle au cube du débit.

La puissance nominale est définie comme la puissance maximale délivrée au débit nominal. Le couple et la vitesse de rotation correspondant sont appelés couple nominal et vitesse nominale. Pour un débit donné, la puissance est égale à zéro au calage, aussi à la vitesse de rotation d'emballement, et la puissance maximale est obtenue lorsque la vitesse de rotation est la moitié de la vitesse d'emballement. À ce stade, le couple développé est la moitié du couple produit au calage. En règle générale, le fonctionnement de la turbo-foreuse se déroule dans une gamme quasi-maximum de puissance. Les courbes suivantes représentent la puissance de sortie d'une turbine. Les courbes telles que celles-ci sont disponibles pour chaque modèle de Turbo-drill.

La puissance de sortie de la turbo-foreuse peut être augmentée en augmentant la densité de boue et / ou en augmentant mais avec débit moitié car les mécanismes des fluides dans la Turbo-foreuse sont compliqués et les performances des outils ne peuvent pas être prédites avec précision à partir des équations théoriques. En conséquence, les diverses caractéristiques d'une turbo-foreuse donnée doivent être mesurées à plusieurs reprises sous différentes conditions. Avec les valeurs mesurées peuvent alors prédire les caractéristiques dans d'autres conditions d'utilisation sur le terrain. [14]

B) Vitesse de rotation

La vitesse de rotation de la turbine est directement proportionnelle au débit de l'écoulement du fluide hydraulique. Pratiquement, pour un débit donné, la vitesse réelle dépend du couple exercé par la formation sur l'outil. La vitesse varie donc entre la vitesse d'emballement en l'absence du couple appliqué par l'outil, (outil au dessus du fond), à zéro lorsque le couple appliqué par l'outil est égal ou supérieur au couple maximum (couple de calage). [14]

C) Couple moteur

La turbine est un outil auto-régie qui a une caractéristique de travail préféré, qui dépend de la valeur du couple nécessaire à l'outil de forage. Le couple moteur est proportionnel au carré du débit de la boue, de la densité de la boue et au rayon des aubes de la turbine. Le couple d'entraînement d'un outil particulier est directement proportionnel au nombre d'étages de la turbine. Pour un débit donné, le couple moteur varie de zéro avec l'outil au-dessus du fond (vitesse d'emballlement) à une valeur maximale lorsque la turbo-foreuse est calée. Au débit nominal, le couple de sortie est appelé «couple nominal ». Généralement, la gamme des couples de sortie d'un outil est calculée en fonction du couple nominal. Le couple nominal est d'environ la moitié de la valeur du couple de calage. [14]

D) Chute de pression

La chute de pression hydraulique à travers une turbine est proportionnelle au carré du débit du fluide hydraulique à la sortie de l'outil, à la densité de la boue, et au nombre d'étage. En matière d'information, la chute de pression est essentiellement indépendante de la vitesse de rotation de l'outil. [14]

E) Le rendement

Le rendement d'une turbo-foreuse est le rapport entre l'énergie mécanique produite, (puissance fournie par la turbine), et l'énergie hydraulique absorbée à partir des fluides hydrauliques. Les courbes de rendement et de puissance ont des formes proches les unes des autres dans lesquels un maximum d'efficacité correspond généralement à une vitesse légèrement inférieure ou supérieure à la vitesse nominale.

Le type de lames utilisées dans une turbo-foreuse donne un rendement théorique de 65% à 70%. Ces valeurs ne prennent pas les pertes par frottement dans les roulements en considération. En prenant en considération les pertes par frottement, l'efficacité est en général, d'environ 60% en fonction de divers facteurs tels que la vitesse de rotation de la garniture, le débit de boue, l'usure des roulements et les caractéristiques de la boue. [14]

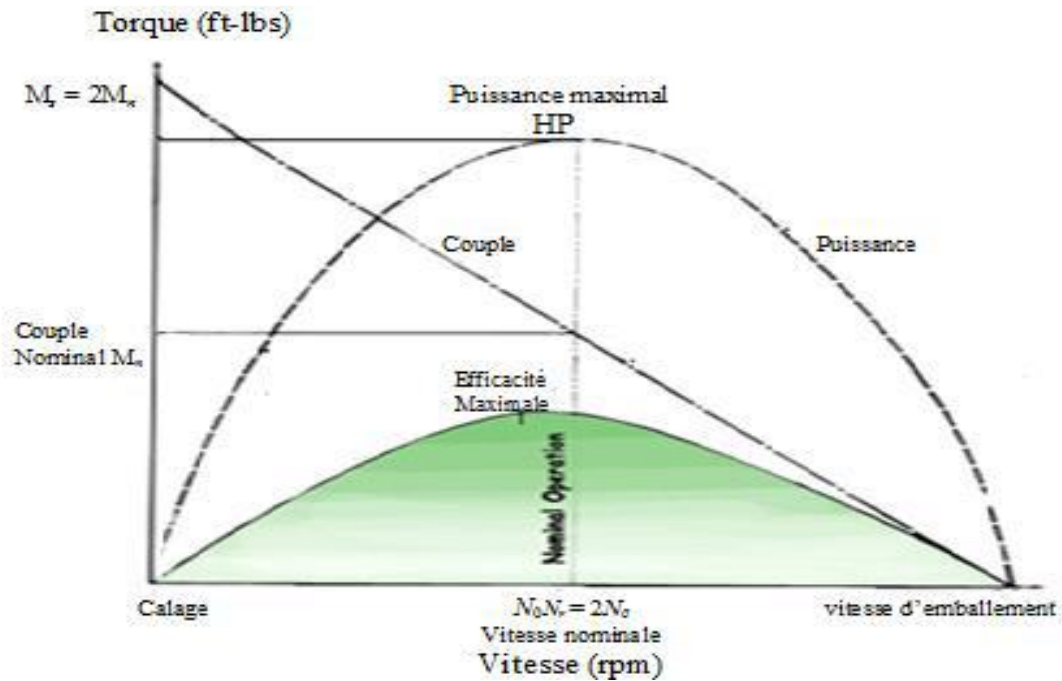


Figure 37 : Caractéristiques de fonctionnement d'une turbine

II-2-4: Les avantages des constitutions des turbines

Tableau 01: Caractéristique des turbines et ses avantages

Caractéristique	Avantage
Taux de télémessure élevé grâce à un système de contrôle de vanne unique.	Données haute résolution pour la prise de décision en matière d'évaluation de la formation et la gestion de la dynamique de forage.
Pulseur flexible en fond de trou: modulation optimale du signal et hauteur d'impulsion configurable via la liaison descendante pendant le forage.	Fournit une grande fiabilité pour un débit optimal dans toutes les conditions.
Tolérance LCM élevée en mode de débit maximal spécial	Prévenir les pertes de boue pendant le forage et assurer un forage à la profondeur cible
Système de décodage flexible: synchronisation et re-décodage automatisés du signal de fond de trou en cas d'environnement bruyant ou difficile	Fournit une grande fiabilité pour un débit optimal dans toutes les conditions

Descente rapide et fiable pendant le forage	Réduction du TNP et contrôle flexible du BHA depuis la surface
Des algorithmes uniques de fond et de fond fournissent une optimisation automatique du filtrage et du traitement du signal numérique	Augmentation de la fiabilité des canaux de communication à haute vitesse, même dans des conditions extrêmement difficiles (boue à densité et viscosité élevées, par exemple)
Les algorithmes de compression de pointe fournissent des débits de données effectifs plus élevés pour les applications d'imagerie	Images d'évaluation de la formation pour la caractérisation en temps réel du réservoir et son utilisation dans la navigation du réservoir

Chapitre III

Planification des opération des moteurs

III-1: Manipulation des moteurs

III-1-1: Gerbage des moteurs de fond

- ✓ Toujours utiliser la tête de levage fournie par le contracteur de déviation pour gerber ou dégerber le moteur.
- ✓ Les demi-coquilles servant au réglage du benthousing sur certains moteurs sont contenues dans le protecteur de filetage femelle du bit box.
- ✓ Procéder à la mesure du jeu axial.
- ✓ Utiliser une plaque de vissage (bit breaker) pour visser l'outil de forage, en plaçant les clés de forage exclusivement sur le bit box du moteur.
- ✓ ATTENTION: si un raccord est utilisé entre l'outil et le moteur, sa longueur doit être juste suffisante pour pouvoir placer les clés de forage lors du vissage (longueur maximale recommandée: 10 pouces, soit 25 cm). Un raccord plus long est susceptible de réduire la durée de vie des roulements, de modifier le comportement en déviation du moteur, ou même de provoquer une rupture de l'arbre de transmission (drive shaft), entraînant la perte de l'outil, du raccord et du bit box dans le trou.
- ✓ Une fois l'outil vissé, et toujours en place dans la plaque de vissage, il est nécessaire de désolidariser le rotor et le stator, qui sont « collés » l'un à l'autre (phénomène de dry contact), en procédant de l'une des deux manières suivantes:

a) placer les clés de forage sur le stator, et tourner lentement la table de rotation de un ou deux tours à gauche

Ou

b) placer les clés de forage sur le stator, bloquer la table, et tirer sur les clés pour faire tourner le stator de un ou deux tours à droite.

- ✓ Installer le moteur dans les cales et mettre en place un collier de serrage de drill collar avant de dévisser la tête de levage pour visser le reste de la garniture.
- ✓ Ne pas utiliser la rotation à gauche de la table lors de l'assemblage de la garniture. L'outil peut se trouver contre la paroi du tubage, et une rotation inverse peut entraîner le dévissage de certains filetages internes du moteur, ou le dévissage de l'outil lui-même et sa perte dans le puits.

- ✓ Pour éviter le dévissage possible de connexions internes du moteur, le bit box doit toujours être tourné dans le sens inverse des aiguilles d'une montre par rapport au corps du moteur.
- ✓ Si un raccord coudé doit être vissé directement au-dessus du moteur, prendre particulièrement garde à ne pas endommager les filetages. [15]

III-1-2: Test de la vanne de remplissage

- Appuyer sur le piston, par exemple à l'aide du manche d'un marteau. Le piston doit s'enfoncer d'environ 3 pouces (7.5 cm) sous une poussée modérée.
- Test de la vanne: remplir la dump valve avec de l'eau et relâcher la pression exercée sur le piston. L'eau doit s'écouler librement par les orifices latéraux.
- La dump valve permet le remplissage et le vidage automatique de la garniture pendant les manœuvres.
- Cependant, des problèmes fréquents de bouchage ou de sifflage des orifices latéraux (ports) à cause des solides contenus dans la boue peuvent entraîner une perte de puissance du moteur (une partie de la boue va directement vers l'annulaire en cas de sifflage), un mauvais remplissage de la garniture en cours de descente, ou une remontée de la garniture pleine.
- Il est donc généralement recommandé de supprimer la dump valve. A défaut, obturer les ports avec un blanking kit.
- ATTENTION: l'utilisation d'un moteur sans dump valve et dont le rotor n'est pas dusé entraîne.

a) la remontée de la garniture tiges pleines. L'incorporation d'un raccord de circulation dans la garniture au dessus du moteur permet la remontée tige vides.

b) la nécessité de remplir la garniture lors des manœuvres de descente

c) le risque de remontée de boue de l'annulaire à travers les duses de l'outil et le moteur (effet U-tube), pouvant forcer le moteur à tourner à l'envers, avec risque de détérioration ou de blocage du moteur par intrusion du cuttings. L'utilisation d'un floatsubau-dessus du moteur permet de remédier à ce problème. [15]

III-1-3: Test du moteur en surface

- ❖ Ce test peut être effectué en premier lieu, avant le vissage de l'outil (en particulier dans le cas d'un outil PDC ou diamant).
- ❖ Les tests de surface du moteur et du MWD sont généralement effectués simultanément. Dans le cas où le test est réalisé avant le gerbage du MWD, la tige carrée ou la top drive étant directement au-dessus du moteur, la pression obtenue sera la pression hors charge du moteur.
- ❖ Connecter la tige carrée ou la top drive, et descendre de façon à ce que la dump valve du moteur soit sous la table de rotation.
- ❖ Démarrer les pompes lentement, pour atteindre le débit nécessaire à la fermeture de la vanne. Noter le débit et la pression au moment de la fermeture.
- ❖ Dégager suffisamment, de façon à pouvoir voir le drive sub du moteur sous la table de rotation.
- ❖ Vérifier sa rotation, et confirmer le passage de boue entre le palier radial et le drive sub (cette fuite est normale, et indique une bonne lubrification des paliers).
- ❖ Réaliser le test à trois débits différents et noter les pressions correspondantes.
- ❖ Des vibrations importantes peuvent se produire à certains débits, c'est une caractéristique commune à tous les moteurs.
- ❖ Descendre, de façon à avoir la dump valve sous la table, et arrêter les pompes. Attendre l'ouverture de la dump valve du moteur, et l'écoulement total de la boue à travers les orifices.
- ❖ Il est possible que la dump valve ne s'ouvre pas, à cause de la pression résiduelle. Dans ce cas, purger le circuit
- ❖ Eviter de prolonger la durée du test, afin de ne pas endommager l'outil, le casing de surface ou les BOP.
- ❖ ATTENTION: un test de surface avec un outil diamant ou PDC en rotation dans le casing est déconseillé.
- ❖ Dans le cas d'un moteur sans dump valve, le test se déroule de manière identique, en positionnant le moteur dans la table de rotation de façon à pouvoir voir le bit sub.[11]

III-1-4: Manœuvre de descente des moteurs de fond

La vitesse de manœuvre doit être contrôlée afin de ne pas endommager l'outil et le moteur, en particulier au niveau des sabots des tubages, des marches. Dans les puits profonds, avec des températures de fond élevées, il est recommandé, à partir du point où la BHCT estimée est de 200 °F (93°C) d'arrêter la manœuvre et de circuler, au débit et à la pression minimum nécessaire au démarrage du moteur, pendant quelques minutes afin de refroidir le moteur. Renouveler l'opération tous les 300 mètres Si des circulations longues sont nécessaires avec l'outil dans le casing, réciproquer la garniture pour éviter une usure localisée du tubage. Si des mesures MWD (checkshots, rotation shots ou benchmark surveys) sont programmées lors de la manœuvre de descente, garder la garniture à la même place le moins de temps possible pour éviter un sidetrack accidentel. Si le moteur est dépourvu de dump valve, ou s'il y a une float valve dans la garniture, remplir la garniture à intervalles réguliers. Réduire la vitesse de descente sur les deux ou trois derniers simples. Avec l'outil au-dessus du fond, relever la pression en surface pour trois débits proches du débit prévu en forage. Prendre le fond en ajoutant lentement du poids et en notant les changements de pression.[11]

III-1-5: Manœuvre de remontée des moteurs de fond

La table de rotation ne doit pas être utilisée pour dévisser les connections lors de la remontée d'une garniture double bend ou d'une garniture steerable dans des sections de forte montée en inclinaison. Ralentir la manœuvre aux cotes des sabots de tubages.

Contrôler la vitesse de remontée pour éviter le pistonnage. Un alésage en remontée (back-reaming) trop important réduira la durée de vie du moteur. Une fois en surface, mesurer l'usure des lames de stabilisateurs, et le jeu axial des paliers (moteur suspendu puis moteur posé, mesurer la distance entre le bas du stator et le haut du bit box). Ne pas laisser de boue à l'intérieur du moteur (en particulier dans le cas de boue à l'huile). Dans ce but, opérer de la façon suivante:

- Placer l'outil dans le bit breaker
- Placer les clefs sur le corps du moteur (stator)
- Tourner la table à droite pour évacuer la boue

Une fois l'outil dévissé, injecté de l'eau directement par le bit box. Cela permet de nettoyer les orifices au dessus de l'arbre de transmission et favorise le nettoyage des paliers. Graisser les deux filetages femelles du moteur et installer des protecteurs.[15]

III-2: Les opérations réalisées par les moteurs de fond

III-2-1: Pour le reforage des équipements de cimentation

Les équipements de cimentation (bouchons, anneau, sabot, DV) peuvent être reforés avec une garniture comportant un moteur steerable (coudé). Des précautions particulières sont cependant à prendre. La rotation de la garniture doit être limitée à 20 à 40 tours/mn, et la pression différentielle du moteur doit rester faible, inférieure à 200 psi (14 bars).

Il est déconseillé de taper vers le bas pour tenter de casser un bouchon ou les équipements avec une garniture comprenant un moteur de fond. Une fois que l'outil a reforé l'anneau et le sabot, faire une manœuvre de contrôle sans rotation de la garniture, pour s'assurer que le "shoetrack" est au diamètre nominal. [2]

III-2-2: Pour l'alésage des trous

En cas d'accrochage, il est possible d'aléser le trou. Mais un alésage excessif se fera au détriment de la durée de vie du moteur, sujet à des efforts cycliques importants. Le débit doit être maintenu à 50% ou plus du débit maximum recommandé pour le moteur, afin d'assurer la lubrification et le refroidissement des paliers. Si durant l'alésage la garniture pose sans que la pression n'augmente, il est probable que les stabilisateurs accrochent. Il est alors nécessaire de mettre la rotation (table ou top drive).

La vitesse de rotation de la garniture ne doit pas excéder 50 tours/mn et le poids sur l'outil doit être aussi faible que possible. Si l'alésage du trou est nécessaire dans une partie déviée du puits, il y a un risque de sidetrack accidentel; ne commencer l'opération qu'en présence de l'opérateur déviation. Il est recommandé d'éviter le reforage avec un moteur de fond si le trou est sous-dimensionné de plus de 1/8", si la section à reforer dépasse 60 mètres, ou si la formation est très dure et abrasive. [15]

III-2-3: Pour le forage

Démarrer les pompes et augmenter le débit progressivement jusqu'au débit prévu en forage avant de reprendre le fond. Les moteurs de fond sont des outils hydrauliques, et la référence en cours de forage est donc la pression en tête. Par exemple, le poids sur l'outil lu au plancher peut ne pas être représentatif du poids réellement appliqué au fond, du fait de problèmes de pose pendant les phases de forage en mode orienté (sliding). Dans ce cas, la seule indication véritable pour savoir si l'outil est au fond ou non est la pression.[15]

❖ Pression "OFF-BOTTOM"

Quand on circule avec le moteur au-dessus du fond, la perte de charge à travers le PDM est constante. La pression off-bottom est la somme de la 'pression sans charge' et de toutes les autres pertes de charge du système de circulation.

❖ Pression "ON-BOTTOM"

Lorsque l'on pose l'outil sur le fond, la résistance à la rotation crée une augmentation de torque et donc de pression au standpipe. Pour un débit et un poids sur l'outil donnés, on appelle cette pression de surface 'Pression on-bottom'.

La différence entre pressions on et off-bottom est la pression différentielle du moteur, proportionnelle au couple appliqué à l'outil. Si on augmente le poids sur l'outil, la résistance à la rotation s'accroît, et il faut une plus grande pression différentielle pour la vaincre. Le poids sur l'outil est directement proportionnel à la pression différentielle du moteur.

En maintenant la pression en surface constante à débit constant, on applique donc un couple et un poids constant sur l'outil. La progression de l'outil s'accompagne d'une baisse de pression aussitôt compensée par l'opérateur en remettant du poids. A la prise du fond, toujours démarrer les pompes avant de mettre la garniture en rotation. A l'arrêt du forage, arrêter la rotation avant d'arrêter les pompes.

Si on applique un poids trop important sur l'outil ou lors d'un changement de formation, le couple requis à l'outil peut dépasser la capacité de couple de sortie de la section motrice : le moteur cale (stall out), c'est-à-dire que la rotation de l'arbre s'arrête brutalement, résultant en une brusque augmentation de pression au travers du moteur. Des calages répétés endommagent le moteur (revêtement du stator surtout, et roulements). Ce phénomène est immédiatement

visible en surface, car accompagné d'une forte augmentation de pression (plusieurs centaines de psi, selon les moteurs). L'opérateur doit immédiatement:

- ❖ arrêter la table (dans le cas de forage rotary)
- ❖ dégager la garniture
- ❖ arrêter les pompes.

La reprise du forage se fait en redémarrant la circulation et en abaissant l'outil. sur le fond doucement. Si le moteur cale fréquemment, soit le poids sur l'outil doit être réduit, soit le moteur est usé et a perdu sa puissance.

III-2-4: Pour le Forage en rotation

Un moteur coudé fore un trou surdimensionné et relativement droit lors de son utilisation en mode rotary (garniture de forage en rotation). Le trou est de diamètre plus faible et présente une courbure dans les sections forées en mode orienté.

Les pires contraintes qui s'exercent sur un moteur apparaissent quand la garniture est mise en rotation, avec l'outil au fond, alors que l'on vient de forer un intervalle en mode orienté.

La rotation de la garniture dans une section courbe et de diamètre "réduit" du trou engendre des contraintes de torsion et des forces latérales pouvant aisément atteindre 3 à 8 tonnes selon le diamètre du moteur.

Les frottements résultant de cette situation peuvent entraîner des calages du Moteur, et l'utilisation de la garniture au-delà des paramètres critiques.

Après une passe de forage en mode orienté, il convient donc de remonter l'outil jusqu'à atteindre la section précédente forée en rotation. La garniture peut alors être mise en rotation pour reforer l'intervalle foré en "sliding" et poursuivre le forage en mode "rotary".

(Il est à noter que dans des formations tendres à moyennement tendres, ce reforage présente le risque de compromettre le travail directionnel effectué en mode orienté). [15]

III-2-5: Pour Forage en mode orienté

La valeur du coude du moteur steerable doit être ajustée de façon à pouvoir réaliser le gradient de montée ou de courbure voulu.

En mode orienté, la garniture n'est pas en rotation, se qui se traduit par l'existence d'une force de friction statique entre la garniture et les parois du trou.

Plus le déplacement horizontal du puits s'accroît, plus il est difficile de faire glisser la garniture dans le trou et forer en mode orienté devient problématique. Il faut appliquer une certaine compression à la garniture avant qu'elle ne glisse soudainement vers le bas, provoquant une brusque augmentation du poids sur l'outil, qui risque d'entraîner un calage du moteur.

Le risque de calage est particulièrement important en cas d'utilisation d'un moteur développant un couple faible (Low torque motor) avec un outil à structure de coupe agressive.

Des calages répétés réduisent les performances de forage et rendent difficile l'orientation correcte du moteur.

Les risques de défaillance du moteur sont accrus du fait de l'augmentation extrême de la pression et du couple lors d'un calage.

Les moteurs à section de puissance rallongée ("extended power section") donnent parfois des gradients de montée en inclinaison plus faibles ou plus forts que prévu à cause de leur flexion, accrue du fait de leur longueur supérieure à celle d'un moteur standard. [15]

III-3: Fluides de forage

Tous les types de fluides de forage peuvent être utilisés sur les moteurs de fond, avec quelques réserves quant à la boue à base d'huile (OBM). Les systèmes à base d'eau à base de boue à base d'eau contenant beaucoup de chlorures peuvent poser certains problèmes en ce qui concerne la fissuration par corrosion sous contrainte ou la corrosion à la corrosion au chrome dans tous les éléments du train de tiges. Cela concerne particulièrement certains assemblages de roulements à grande vitesse et les rotors chromés. [11]

Comme les autres composants de train de tiges, ne sont généralement pas compatibles avec les environnements de forage à l'hydrogène sulfuré (H₂S). Le H₂S est connu pour provoquer des piqûres, une fragilisation par l'hydrogène et une corrosion sous contrainte du sulfure dans

les composants internes et externes du moteur et les connexions filetées. De plus, les élastomères de stator peuvent être affectés négativement par H₂S dans le fluide de forage. En raison de sa nature agressive, le H₂S dans un environnement de forage doit être traité par un programme de fluides approprié.

Nettoyer le moteur et le rincer avec un lubrifiant sans pétrole peut réduire la corrosion des composants du moteur lorsque le moteur est en retrait ou en transit depuis la plate-forme. Les fluides de forage polymères aident à la lubrification et sont attrayants à utiliser avec le moteur, car ils permettent une bonne capacité de charge des déblais de coupe avec une teneur minimale en solides.

Les fluides à base d'huile ont l'avantage d'offrir un bon pouvoir lubrifiant, à la fois en interne pour réduire le frottement rotor / stator et l'usure des roulements du moteur et en externe pour réduire le couple et la traînée. Leur plus grande stabilité thermique réduit également les fluctuations rhéologiques à des températures élevées.

III-3-1: Teneur en sable (particules abrasives)

Une teneur en sable trop élevée dans le système de boue entraînera une usure abrasive importante du stator et d'autres composants des moteurs de fond. Par conséquent, pour une espérance de vie moteur optimale, la teneur en sable doit être inférieure à 0,25%, comme déterminé par le test de teneur en sable de l'American Pétroleur Institute (API). [13]

Toujours utiliser des centrifugeuses ou l'équivalent sur le site de digestion pour réduire la teneur en sable. La propriété abrasive du sable dépend de la forme du grain, de sa taille et de son acuité.

L'expérience sur le terrain a montré qu'une durée de vie moteur acceptable peut être atteinte dans la plupart des cas avec une teneur en sable API allant jusqu'à 1%. Avec plus de 1%, il faut s'attendre à une réduction de la durée de vie des moteurs de fond. D'autres particules (par exemple des particules de calamine ou de corrosion provenant de la surface intérieure de la chaîne ou du serpent) peuvent être très abrasives et doivent être évitées. Ces particules peuvent provoquer des incidents d'outils (stators totalement usés après très peu d'heures de fonctionnement).

III-3-2: Solide

Un bon contrôle des propriétés de la boue est essentiel pour un fonctionnement prolongé du moteur et des performances optimales. La teneur en solides dans la boue dépend du système de boue requis, de la densité et des conditions de fonctionnement. Les solides ne doivent généralement pas contenir de particules abrasives. [11]

Les solides à faible gravité (LGS), tels que la bentonite, les polymères et les solides de forage dans une boue à base d'eau, doivent être inférieurs à 7% en volume; sinon, ils risquent de provoquer le «blocage» des voies de fluide dans le roulement et de priver celui-ci de tout fluide, entraînant la défaillance de celui-ci. L'équipement de contrôle des solides doit être maintenu en bon état de fonctionnement.

III-3-3: Matériau perdu en circulation

Les moteurs de fond peuvent être utilisés avec du matériel de circulation perdue commun (LCM). Parmi les types de LCM les plus couramment utilisés actuellement, on compte les carbonates de calcium calcifiés et en flocons, les coques de noix, la cellophane, les matériaux celluloseux et le mica. Trois paramètres importants à prendre en compte sont : la préparation du mélange, la taille du grain et la concentration. [11]

Il est essentiel de mélanger soigneusement le LCM pour éviter d'obstruer l'ensemble de roulement, les buses de foret et les passages de fluide. Toujours pré mélange, il est déconseillé d'utiliser LCM directement dans le système actif. Ne jamais "jeter" de LCM dans les fosses à boue à l'entrée de la pompe. Utilisez toujours un réservoir de pré mélange pour mélanger le LCM. Lors du pompage de pilules LCM, le taux de ROP peut diminuer temporairement.

Le LCM peut conduire à un colmatage des voies de fluide internes du moteur Navi-Drill (par exemple, des orifices de capot). La circulation du système de boue et le contrôle du puits peuvent devenir impossibles en cas de blocage du moteur. Les recommandations pour la taille maximale du LCM sont les suivantes:

1. LCM OD = 0.039 in. (1 mm) for 2 3/8 in. motors
2. LCM OD = 0.157 in. (4 mm) for 2 7/8 in. to 3 1/2 in. motors
3. LCM OD = 0.197 in. (5 mm) for 3 3/4 in. to 9 1/2 in. motors
4. LCM OD = 0.256 in. (6.5 mm) for 11 1/4 in. to 12 3/4 in. motors.

La concentration en LCM doit commencer à 3 lb / bbl (8,6 kg / m³) avec un bon mélange. Il n'y a pas de limite définitive, mais la concentration maximale ne doit pas dépasser 114 kg / m³ (40 lb / bbl), alors que 13 lb / bbl (37 kg / m³) est considérée comme normale. Tant que le fluide LCM peut être pompé avec une pompe centrifuge, aucun problème n'est attendu pour les moteurs de fond.

III-3-4: Teneur en chlorure

Les fluides contenant moins de 20 000 ppm de chlorure (20 000 mg / litre) ont des effets minimes sur les outils dans l'environnement de fond. Les fluides dont les niveaux de chlorure sont compris entre 20 000 et 56 000 ppm (20 000 à 56 000 mg / litre) ont un effet moyen et il faut faire attention lorsque vous sortez du trou. Lorsque les niveaux de chlorure dépassent 56 000 ppm (> 56 000 mg / litre), la corrosion (même dans l'environnement de fond) peut être sévère. Il est donc conseillé d'utiliser des inhibiteurs de corrosion lorsque les niveaux de chlorures sont supérieurs à 56 000 ppm (56 000 mg / litre). La plupart des outils de fond sont endommagés en profondeur, là où de l'oxygène est plus facilement disponible pour alimenter la réaction, les moteurs devant être rincés et arrosés en profondeur, à l'extérieur et à l'intérieur, après utilisation dans les systèmes OBM ou WBM. Le liquide de nettoyage doit avoir une faible teneur en chlorure - de l'ordre de l'eau douce (<500 ppm / <500 mg / litre).

III-3-5: Problème produit dans les fluides des moteurs

Les moteurs de fond conçus pour une utilisation avec un fluide de forage conventionnel comme source d'alimentation, pour la lubrification et pour la dissipation de chaleur ont des limitations lorsqu'ils sont utilisés avec de l'air, un brouillard ou une mousse en tant que fluide en circulation. En raison de la capacité réduite de l'air, du brouillard et de la mousse à soulever les déblais de forage, des volumes beaucoup plus importants doivent être distribués pour permettre un nettoyage adéquat des trous. Ces débits élevés peuvent entraîner une défaillance prématurée de l'outil. [11]

A) Mist

La brume se produit lorsque la fraction liquide est inférieure à 2,5% dans des conditions de fond de trou. Dans ce cas, le liquide reste sous forme de gouttelettes dans le gaz.

B) Foam

La mousse apparaît lorsque la fraction liquide est comprise entre 2,5% et 25% dans des conditions de fond de trou. Les mousses sont généralement spécifiées en% de la qualité de la mousse. La qualité de la mousse est la fraction volumique du gaz; c'est-à-dire que 75% de la qualité de la mousse est composée à 75% de gaz et à 25% de liquide en volume.

C) Aérated Mud

La boue aérée se produit lorsque la fraction liquide est supérieure à 25% dans des conditions de fond de trou. Dans ce cas, le gaz reste sous forme de bulles dans le liquide.

III-4: Température et boues à l'huile des moteurs

Les moteurs de fond sont assemblés avec un jeu précis entre le rotor et le stator (interference fit). Les forces de contact entre rotor et stator augmentent avec la température, du fait du gonflement du stator, ce qui peut amener au phénomène de chunking. [15]

Il est donc impératif de tenir compte de la température au fond lors du choix de l'ensemble rotor/stator.

Les stators des moteurs de fond sont généralement conçus pour résister à des températures de l'ordre de 100 à 130°C. Il existe des stators spéciaux, résistant à des températures allant jusqu'à 160°C.

Les élastomères des stators sont sensibles aux boues à l'huile, et en particulier aux composants aromatiques qu'elles contiennent..

Une des mesures de l'agressivité d'une boue à l'huile sur l'élastomère du stator est son point d'aniline. Le point d'aniline est la température la plus basse à laquelle des volumes égaux d'aniline (un composé aromatique) et d'huile se mélangent complètement. Plus le point d'aniline d'une boue est bas par rapport à la température prévue en circulation, plus la boue attaquera le stator.

Sous l'effet de la boue et de la température, l'élastomère se gonfle, et perd ses propriétés physiques (dureté, élongation). Sous l'effet du gonflement, les forces de contact entre le rotor et le stator augmentent, l'élastomère se fissure et finit par perdre des morceaux (phénomène appelé stator chunking). Il est recommandé d'utiliser des boues avec un point d'aniline

supérieur à 60°C. Il faut prendre la température au fond du puits en circulation, et éviter les boues à base de diesel.

Les compagnies de déviation proposent toutes des tests de compatibilité, réalisés à partir d'échantillons de boue et d'élastomère.

III-5: Caractéristiques de la boue

- Le contenu en solides de la boue de forage dépend des conditions de forage et des caractéristiques du système de boue utilisé. En général les solides dans la boue ne contiennent pas de particules abrasives. En conséquence, si les solides contenus dans la boue ne sont pas abrasifs, un pourcentage élevé de solide ne doit pas réduire la durée de vie du moteur.
- Le pourcentage de sable maximum recommandé est de 1%. Au-delà de cette concentration, la durée de vie du moteur est notablement réduite (abrasion du stator en particulier).
- La concentration en LGS doit être inférieure à 7% en volume. A des concentrations plus élevées, les LGS risquent de bloquer le passage de boue dans les paliers, amenant leur usure anormalement rapide.
- Il a été constaté que l'utilisation d'hématite comme alourdisant réduit la durée de vie des moteurs. [15]

III-6: Traction et battage des moteurs

En cas de coincement de la garniture, les opérations normales de dégagement doivent être entreprises.

- La traction maximale admissible pour assurer la reprise du forage avec le même moteur. Si cette valeur de tension est dépassée, le moteur devra être dégerbé et renvoyé chez le fournisseur pour contrôle et réparation.
- La traction maximale absolue à ne pas dépasser sous risque de rupture.
- Un moteur équipé d'un coude doit, si possible, être orienté vers le haut du trou (high-side) avant d'être soumis à des tensions importantes. Ceci limite les risques de détérioration du moteur.
- Au cours d'une opération de battage, le moteur est soumis à des chocs et des efforts, qui peuvent être sans commune mesure avec la tension nécessaire au déclenchement de la

coulisse. Il est impossible de savoir en surface quelles conséquences le battage peut avoir sur la coulisse. Après des opérations de battage, le moteur ne doit pas être utilisé pour continuer à forer ou pour le run suivant. Il faut impérativement le dégerber et le renvoyer à l'atelier du fournisseur pour contrôle.

III-7: Réglage de l'angle de l'AKO

Suivant le diamètre du moteur Navi-Drill, le système de déflexion est soit du type à manchon, soit du type à demi-coquilles.[13]

L'angle de l'AKO à manchon est réglable de façon continue à toute valeur comprise dans la plage 0° - angle maximum pour le type de moteur donné.

Dans le cas de l'AKO à demi-coquilles, les valeurs de l'angle sont prédéterminées par l'épaisseur des bagues de calage utilisées, et s'étagent également de 0° à la valeur de l'angle maximum pour le type de moteur.

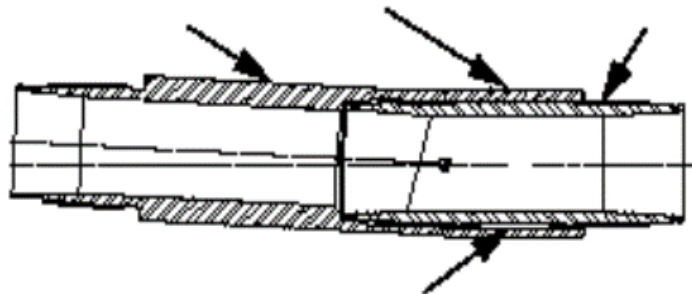


Figure 39 : AKO à manchon (sleeve type AKO)

Pour changer l'angle de l'AKO à manchon, procéder conformément à la procédure suivante:

1. poser le moteur sur cales dans la table de rotation, les cales au niveau du carter des roulements. Faire une marque à la craie sur le manchon et le tube inférieur. Placer la clé de retenue sur le carter des roulements, l'autre clé sur le manchon, et débloquer la connexion. Dégager la clé de retenue.
2. Dévisser le carter des roulements d'un tour (se repérer à la marque faite à la craie), en mettant prudemment la table en rotation à droite. Dégager la clé du manchon.

3. A l'aide de deux clés à chaîne, faire tourner le tube raccord coudé jusqu'à la position voulue, la graduation de l'angle désiré devant être alignée avec le repère sur le manchon.

Note: toujours tourner le tube coudé dans le sens du chemin le plus court vers le repère du manchon.

4. replacer la clé de retenue sur le manchon, et mettre prudemment la table en rotation à gauche, pour revisser jusqu'à l'épaulement. Placer l'autre clé sur le carter des roulements et bloquer au couple.

5. pour vérifier le réglage, dégager la clé de retenue du manchon et la placer sur le tube coudé, bloquer à nouveau au même couple. Si l'ajustage a été fait correctement, il ne doit pas y avoir de changement de la valeur de l'angle indiqué.

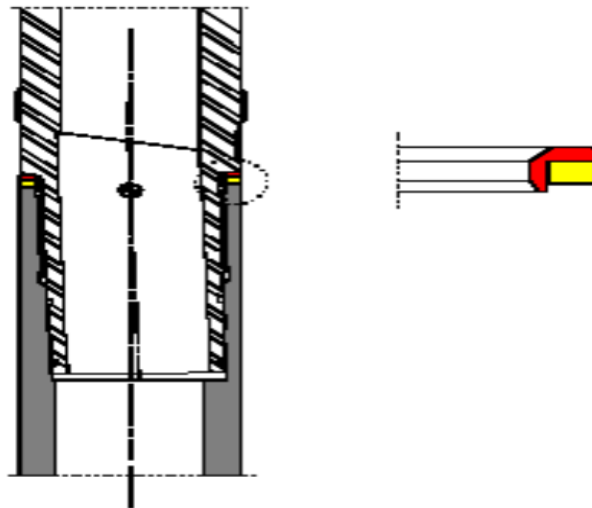


Figure 40 : AKO à demi-coquilles (halfshell type AKO)

Pour changer l'angle de l'AKO à demi-coquilles, procéder conformément à la procédure suivante:

1. poser le moteur sur cales dans la table de rotation, les cales au niveau du carter des roulements.

2. Placer la clé de retenue sur le carter des roulements, l'autre clé sur le tube raccord coudé, et débloquer la connexion. Dégager la clé de retenue.

3. en mettant prudemment la table en rotation à droite, dévissé la connexion d'environ 3/4", de façon à permettre l'installation des demi-coquilles choisies.

4. retirer les demi-coquilles précédentes et mettre les nouvelles en place. Chaque paire de demi-coquilles permet d'ajuster l'angle de l'AKO à une valeur précise.

5. replacer la clé de retenue sur le manchon, et mettre prudemment la table en rotation à gauche, pour revisser jusqu'à l'épaulement.

6. Placer l'autre clé sur le carter des roulements et bloquer au couple.

7. Vérifier que l'angle obtenu est conforme. Le couple de serrage peut être modifié de 10 % pour permettre l'ajustement précis de l'angle de l'AKO

Note : ne jamais utiliser de thread locking compound sur les filetages de l'AKO.

III-8: Vitesse de rotation de la garniture

- Mettre une garniture, comportant un moteur, en rotation peut endommager le stator de l'élastomère ; du fait de la force centrifuge accrue générée par le rotor.
- Plus la valeur du coude est importante, plus les risques de détérioration sont importants.
- Plus le moteur est stabilisé, plus les risques sont accrus.
- Anadrill donne les limites suivantes, basées sur la valeur du coude du moteur. Il est recommandé de ne pas excéder 80% de la vitesse maximale de rotation.

Tableau 02 : Vitesse de rotation maximale de la garniture Avec les moteurs

Valeur du coude Housing 0-3°	RPM Maximum	Valeur du coude Housing 0-2°	RPM Maximum
0.00°	200	0.00°	200
0.39°	160	0.26°	170
0.78°	120	0.52°	140
1.15°	60	0.77°	120
1.50°	40	1.00°	90
Au-delà	Pas de rotation	1.22°	60
		1.41	40
		1.59°	40
		Au-delà	Pas de rotation

La vitesse maximale de rotation en fonction du dog leg et de la valeur du coude du moteur. Chaque abaque est valable pour un type de moteur, un type de stabilisation (complète, partielle ou moteur lisse) et un diamètre de forage. (Pour les abaques se référer au Navi Drill MotorHandbook).

III-9: Problèmes des moteurs**III-9-1: Troubleshooting - Bit off-bottom**

Problème	Cause possible	Action
Chute de pression à une valeur inférieure à la valeur calculée.	Dump valve bloquée en position ouverte.	Sans reprendre le fond, recycler les pompes à plusieurs reprises.
	Sifflage dans la garniture.	Remonter en vérifiant la garniture.
	Pertes dans la formation.	Procédures pertes.
Augmentation de pression à une valeur supérieure à la valeur calculée.	Moteur bouché ou duses de l'outil bouchées.	Sans reprendre le fond, recycler les pompes à plusieurs reprises, faire varier le débit.
	Force latérale sur l'outil excessive.	Travailler la garniture.
	Paliers du moteur bloqués.	Reprendre le fond, observer l'évolution de la pression.

III-9-2 Troubleshooting - Bit On-bottom

Problème	Cause possible	Action
Chute de pression à une valeur inférieure à la valeur calculée.	Dump valve bloquée en position ouverte.	Sans reprendre le fond, recycler les pompes à plusieurs reprises.
	Changement de formation.	Augmenter le poids sur l'outil, faire varier le débit.
Augmentation de pression à une valeur supérieure à la valeur calculée.	Moteur bouché ou duses de l'outil bouchées.	Dégager, recycler les pompes à plusieurs reprises, faire varier le débit.
	Changement de formation.	Laisser le poids sur l'outil, descendre (drill off) ; si la pression ne décroît pas, alors le moteur est bouché ou les duses de l'outil sont bouchées.

III-9-3 Troubleshooting - Bit On-bottom - Sliding Mode

Avancement	Pression	Causes possible	Action
Pas d'avancement.	Accroissement soudain de la pression.	Calage du moteur.	Dégager pour que le moteur redémarré. Appliquer du poids sur l'outil avec prudence.
Avancement réduit.	La pression diminue progressivement.	Usure de l'outil.	Suivant la situation, continuer ou remonter.
	La pression chute.	Formation dure ou la garniture pose (hanging).	Continuer à forer avec précaution, remonter si les performances ne sont pas satisfaisantes.
	La pression augmente, l'avancement ne change pas quand on ajoute du poids sur l'outil.	Outil bourré	Dégager, réciproquer. Tenter de déboucher l'outil.
	La pression est instable.	Formation non-homogène. Ferraille dans le trou.Bit bouncing.	Vérifier s'il y a eu changement de formation. Essayer de circuler la ferraille.
Changement soudain.	Pression basse après un ajout.	Dump valve bloquée en position ouverte.	Dégager, arrêter et redémarrer les pompes, vérifier la pression. Si OK, reprendre le forage.
	Changement soudain.	Changement de formation.	Changer le poids sur l'outil pour retrouver la pression et le tool face précédents.

Chapitre IV

Défférence

entre

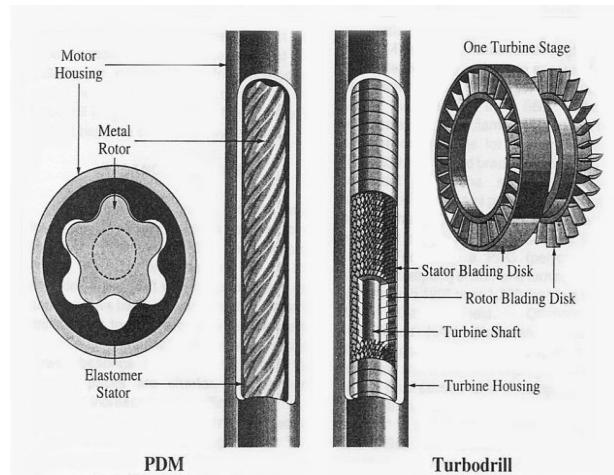
PDM et Turbine

VI-1 : Partie 1 Analyse général

VI-1-1 : Composition

Les turbines et les PDM incorporent une section de turbine ou de moteur qui convertit l'énergie contenue dans le fluide de forage en énergie mécanique pour tourner le trépan. Les sections de puissance sont sensiblement différentes au-delà de leur emplacement commun dans la garniture et de la source d'énergie qui les actionne, les moteurs à déplacement positif se composent d'un rotor hélicoïdal amovible en acier installé dans un stator hélicoïdal en élastomère fixe, L'élastomère est collé sur le corps du moteur, Le rotor et le stator ont des profils similaires en hélice, mais le rotor a un lobe de moins que le stator. Dans une section

motrice assemblée, le rotor et le stator créent une étanchéité continue à leurs points de contact, ce qui produit un certain nombre de cavités indépendantes. Lorsque le fluide (eau, boue ou l'air) est forcé à travers ces cavités progressives, il oblige le rotor à tourner à l'intérieur du stator pour qu'il puisse passer à la cavité suivante. Ce mouvement du rotor dans le stator est appelé nutation. Pour chaque cycle de nutation fait par le rotor



le stator, le rotor tourne la distance d'une largeur de lobe. [6]

Figure 41 : différence dans la composition dans

VI 1-2 : débits et puissance

PDM dépendent moins du débit que d'une turbine à grande vitesse. Par conséquent, une réduction du débit ne provoque pas de perte de puissance significative. Dans les applications où les pompes à boue fonctionnent à leur limite, telles que les trous profonds, les moteurs PDM peuvent fonctionner à des débits plus élevés - avec une puissance plus élevée délivrée directement au trépan et une ROP plus rapide. De plus, la sortie de puissance du PDM est indépendante du poids de la boue, fournissant un régime stable à débit constant et fournissant plus de puissance et un couple plus important au trépan. La baisse de pression dans le PDM permet de générer des débits plus élevés, ce qui améliore la durée de vie du trépan et le

nettoyage des trous. De plus, la direction est améliorée avec la longueur plus courte d'un PDM haute vitesse. [6]

VI-1-3 : Durée de vie

Les turbines conçues en tant que moteur de fond de haute précision de performance, d'habitude elles peuvent fonctionner plus de 400 heures et, dans quelques circonstances, même au-dessus de 600 heures, ainsi que avec les modernes conceptions des outils, elles rendent possible de forer des sections très longues et complexes sans arrêt. Généralement même le meilleur PDM ne peut pas aller juste plus de 200 heures. [6]

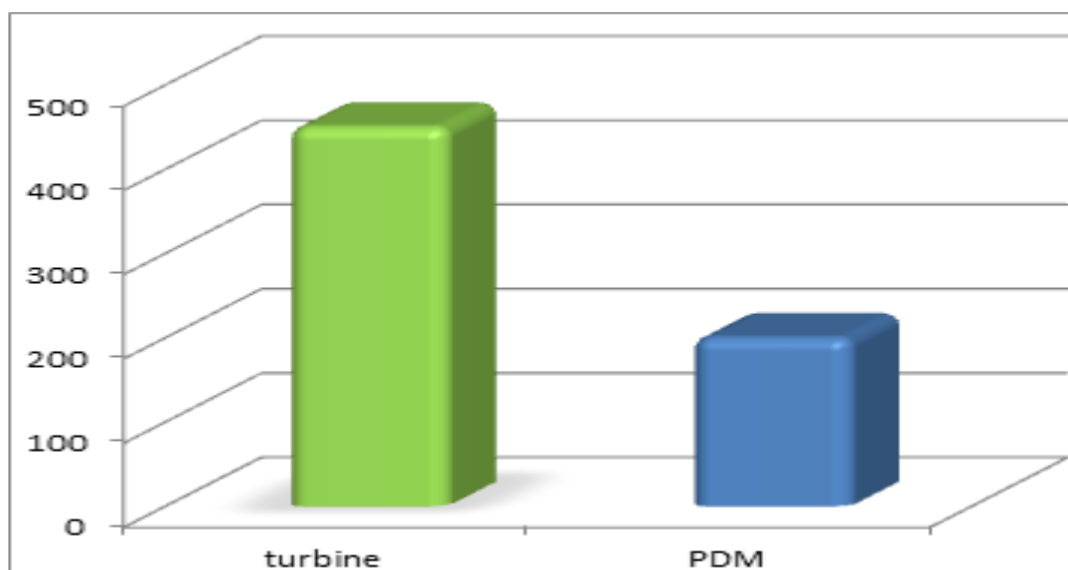


Figure 42 : Duré de vie pour chaque type de moteur

VI-1-4 : Vibration

Les caractéristiques de vibration sont apparues quand une turbine ou un PDM sont testés en surface,

La turbine semble pratiquement immobile pendant qu'elle est suspendue dans la tour de forage, tandis quel PDM agit violemment pendant que les effets de la conception non équilibrée de la section de puissance vont apparaitre, un outil dynamique de mesure de fond(DDM) a confirmé cette différence,

Les vibrations aux fond vont endommager les outils de mesure électriques tell que les MWD qu'ils sont coûteux, et contribuer à l'usure accélérée de l'outil de forage ce qui compromettre l'efficacité de totalité de l'opération de forage. [6]

VI-2 : Partie 2 : analyse pratique

Le but de notre étude est de déterminer la différence entre les PDM et les turbines dans le passé et le présent et voir c'est il y'a un développement des deux moteurs sur ses années. Ces pour ca on a sélectionné les 04 puits suivant (MDz720, OMLZ45, MDz720, OMLZ45) Sur différent formation géologique, pour réaliser ce travail on va l'étudié ces puits sur deux paramètre (la vitesse d'avancement et les problèmes de remonter). Et a la fin en va voir les prix de mètre couté par les deux puits mais seulement en 2010 parce que il n'y a pas un échange des prix d'allocations et en va voir aussi la vitesse de la boue utilisé sur les deux moteur en 2010.

VI-2-2-1 : Analyse des puits réalisé en foré en 2010

Donc on va commencer avec les deux puits (OMLz87, MDz595) foré en 2010 sur les formations (RI, DI, D2) a Hassi-messaoud. Le premier réalisé par Les PDM sur 03 run et le deuxième par les turbines sur 03 run, Alor on va commencer avec la vitesse d'avancement : [18]

A) La vitesse d'avancement

Tableau 03: les donnés des puits foré en 2010 a hassi-messaoud

Moteur	Puit	Nmr de run	Métrage	Heure	ROP	L'outil
PDM	OMLz87	1	299,50	79,22	3,78	K505BEPX
		2	174,00	64,28	2,71	HHD372G8
		3	3,00	1,50	2,00	HHD372G8
	Total		476.5	145	3.28	
Turbine	MDz595	1	120,00	29,22	4,11	KGR50
		2	273	75,75	3,60	KGR50
		3	510	123,75	4,12	KGR50
	Total		903	227.97	3.9	

Donc les turbines totalisent un mètre 903 pendant 227.97h contre 476.5 pendant une durée de 145h pour les PDM ce qui ne donne une vitesse d'avancement de 3.9m/h pour les turbines contre 3.28m/h pour les PDM. Alors les turbines sont plus rapides que les PDM sur l'avancement des puits. Donc l'avantage des turbines dans ces deux puits est principalement dû à sa dureté. Donc les turbines sont plus robustes que les PDM.

B) les défaillances

Donc on passe à la deuxième étude qui vise à déterminer les problèmes qui touchent les deux types de moteurs. En analysant les défaillances marquées sur les deux puits précédents, on pourra connaître lequel des deux moteurs est le plus compétent. Les différentes raisons de remonter sont sur le tableau suivant :

Tableau 04: Les défaillances marquées sur les deux puits forés en 2010

Moteur	Puit	Problème	Nombre	
Turbine	MDz595	Moteur	00	
		L'outil	03	
		Coincement	00	
			03	Totale
PDM	OMLz87	Moteur	01	
		L'outil	01	
		Coincement	01	
			03	Totale

D'après ce tableau, on voit que les problèmes rencontrés par les turbines, c'est l'outil utilisé sur eux et pour les PDM, les problèmes rencontrés dans le moteur sont les mêmes. Les PDM rencontrent aussi des problèmes de coincement et de l'outil. Mais le problème de l'outil est plus grave par rapport à la turbine.

Ses défaillances enregistrées ne conduisent à une seule conclusion que les problèmes rencontrés par les turbines diffèrent des problèmes rencontrés sur ses PDM, ceci est dû aux composants de chaque moteur.

VI-2-2-2 : Analyse des puits réalisés en 2018

En continue notre étude sur les deux moteurs mais en passe aux puits forés dans les années derniers a 2018 pour voir ces ils y'a un développement sur les deux moteur. Ces pour sa on va utilisée les données des deux puit (MDz720, OMLZ45) forés sur les formations suivant (Tag G35, Korzik elhamra, gridenhole, argile belgaci, zone anternance, réservoir RID5, coberienRID5, Ra). Le premier puit foré par les turbines sur 3 run et le deuxième puits par des PDM sur 4 run, on garde le même concept de la première partie en commence avec la vitesse d'avancement et en passe à la défaillance.

A) Analyse de l'avancement

Tableau 05 : Représentation des données des puits foré en 2018

Puit	Nmr de run	Métrage	Heure	ROP m/h	L'outil
MDz720	1	13	3.25	4	K505
	2	94	30.87	3.04	K505
	3	45	14	3.21	K505
Totale		152	48.12	3.15	
OMLZ45	1	400	89	4.49	HHD372
	2	173	39	4.43	HHD372
	3	215	55.69	3.86	KGR50
	4	231	40.17	5.75	HHD372
Totale		1019	223.84	4.55	

Donc la première remarque qu'ont déduit ce que les PDM sont plus rapide avec 4.55m/h contre 3.15m/h pour les turbines, une différence de 1.4 m/h donc un avancement important pour les PDM. Alor les PDM réalisent un développement satisfaisons.

B) les défaillances

Donc en passe au problème rencontrés par les deux moteur sur ces deux puits et voire c'est les problèmes rencontrés sur les puits foré en 1010 sont les même ou ils sont diffère. Les défaillances de ces puits sont marquées dans le tableau suivant :

Tableau 06: Les défaillances marquées sur les deux puits foré en 2018

Moteur	Puit	Problème	Nombre	
Turbine	MDz720	Moteur	00	
		L'outil	03	
		Coincement	00	
			03	Totale
PDM	OMLZ45	Moteur	01	
		L'outil	03	
		Coincement	00	
			04	Totale

➤ Analyse de tableau

Dans les deux puits MDz720 et OMLZ45 les causes de remonter sur ces puits est l'usure de l'outil comme il est indiqué dans le tableau, trois foi changement de l'outil pour les deux moteurs avec un endommagement de moteur pour les PDM donc les problèmes rencontrés par les deux moteur sont devenue presque les mêmes.

VI-2-2-3 : Analyse de la vitesse de circulation

La boue de forage est responsable du travail des moteurs, C'est pour quoi on va analyser dans cette partie la vitesse de circulation de la boue sur les moteur pour afin de suivre la consommation des deux moteur, Dont on va utiliser le tableau suivant pour réaliser cette analyse : [19]

Tableau 07 : les données de la vitesse et le temps de circulation de la boue

Moteur	Puits	La formation	Nmr de run	Métrage	Temps de circulation	La vitesse de circulation
PDM	OMLz87	RI	1	299,50	82,66	3.62
		D1	2	174,00	77	2.59
		D1	3	3,00	1,5	2
Turbine	MDz 595	RI	1	120,00	41.37	2.9
		D2	2	273	99	2.7
		D2	3	510	216	2.36

Si en prend en considération la formation géologique. La vitesse de la boue utilisée sur ces deux moteurs diffère, on a dans la formation RI la vitesse de la boue appliqué sur les PDM est élevé par rapport à la formation D1, donc les PDM trouvent des difficultés sur ses formation ces pour sa la vitesse de la boue appliqué sur les PDM est élevé. Contrairement aux turbines dans toute les formations les vitesses de la boue presque sont convergents et moins que les PDM, on peut dire que la formation géologique impact sur le travailles des PDM. On conclue que la vitesse de la boue utiliser sur les PDM est élevé que les turbines.

VI-2-2-4 : Analyse économique

Jusqu’ ici cette étude ne précise la différenciation et le développement des deux moteur entre 2010 et 2018, on va continuer notre étude mais cette fois en va toucher le coté économique. C’est pour ça nous allons utiliser les données de tableau suivant qui porte les prix de facturation et les données des deux puits foré en 2010 parce que les prix d’allocation des moteurs non pas changé entre c’est années. Mais avant de passé au tableau on va voir une formule qui a nous permettre a calculé le prix du mètre forés par ses deux moteur sur les puits étudié. [19]

Dont le but est de connaitre le prix du mètre de chaque moteur sur ses puit et les facteurs qu’il est contrôle.

$$P_m = \frac{J_{run}(P_{location\pareille} + P_{opérateur}) + P_{outil} + T_{circ} P_{prix\moteur}}{L} \dots\dots\dots VI-4$$

J_{run}: nombre de jours du run incluant le temps de forage et de manœuvres.

T_{circ}: temps de circulation lors du forage avec la turbine ou le PDM.

P_{opérateur}: prix des ingénieurs accompagnant la turbine.

L : métrage

Tableau 08 : Analyses économiques des puits

Moteur	Puit	Nmr de run	Métrage	Heure de cir	Nbr de jour	Prix de l'outil	Prix de moteur	Prix de l'appareil et l'opérateur	Prix de metre foré (Dollar)
PDM	OMz 87	1	299,5	82,66	5	40000	200	29 285.62	677,66
		2	174	77	5	34000	200	29 285.62	1 125,45
		3	3	1,5	1	34000	200	29 285.62	21195,21
	Totale		476.5	161.1	11	108000	200	29 285.62	970.3
Turbine	MDz 595	1	120,00	41.37	3	34000	500	30 985.62	1 230.34
		2	273	99	6	40000	500	30 985.62	1 008,84
		3	510	216	11	40000	500	30 985.62	958,51
	Totale		903	356.3	21	114000	500	30 985.62	1044.12

C'est en fait une petite analyse rapide sur les causes de l'élévation de prix de mètre des turbine par rapport au PDM. On jette un œil sur le prix de l'opérateur et le moteur et le prix de l'outil des PDM par rapport aux turbines sont moins chers, aussi le temps de circulation de la boue utilisé sur les PDM par rapport au métrage est moins que les turbines, 392.1h pour un métrage de 1316.5 mètre pour les PDM contre 356.3h pour 903 mètre des turbines. Donc tous ses facteurs qui contrôlent le prix du mètre permettent au PDM d'être moins cher que les turbines par une différence de 73.8 dollars par mètre.

Conclusion

ET

Recommandation

Au terme de cette étude sur la technologie et le développement des moteur de fond (PDM et turbine) entre le passé et le présent, spécialement leurs performances nous sommes convaincus que ces équipements de fond sont devenue aujourd'hui la clé du succès des opérations de forage. Ces faits nous ont conduits aux conclusions suivantes :

La vitesse d'avancement moyenne réalisé par les turbines entre 2010 et 2018 na pas évalué par rapport au PDM. Ces dernier ayant réalisé un avancement remarquable et devenue meilleur que les turbines à cause des recherche de développement sur ses moteur.

Les défaillances marquées sur les turbines dans les deux puits foré en 2010 diffèrent des problèmes marqués sur les PDM. La majorité des problèmes marqués sur les turbines dans c'est puits étudié est l'usure excessive des outils. Par contre les PDM sont le plus souvent mis en défaut par leur section motrice et aussi l'outil, mais le problème des outils n'est pas important par rapport à la turbine. Mais les problèmes marqué sur les puits foré en 2018 par rapport au puit foré en 2010 sont diffère pour les PDM contrairement au turbine. Donc l'usure des outils est devenue le problème numéro 01 pour les PDM a cause de l'élévation de la vitesse d'avancement.

Les vitesses de la boue utilisé sur les deux moteur est diffère avec l'impact de la formation géologique sur les PDM, la moyenne vitesse de la boue pour les turbines est 2.47m/h et les PDM 3.73m/h donc c'est pour sa la majorité des problèmes sur les PDM est la partie motrice parce que si elle qui reçoit le choc de la vitesse de la boue.

L'analyse économique ne permettre de connaitre le prix de mètre le moins cher des deux moteur, qui donnent un avantage au PDM avec 970.3 dollar/m contre 1044.12 dollar/m pour les turbines et Cet avantage est dû au prix de moteur et l'opérateur qu'ils sont moins cher,. Notre étude finalise que les PDM sont moins que les turbines.

D'Après cette étude sur ses puits en finalisons que chaque moteur a des avantages et des inconvénients diffère de l'autre, on ne peut pas dire que l'un est meilleur que l'autre. Mais ses dernières années la majorité des puits foré sont réalisé par des PDM grâce a des recherches de développement sur ces PDM (c'est la nouvel technologie).

Les résultats obtenu durant la réalisation de ce modeste travail nous a mené a proposé les
Recommandations suivante :

Pour un forage de performance dans les formations étudié dans ces dernières années en
propose les PDM (La nouvel technologie) pour la réalisation des puits on considération les
paramètres suivant :

ROP : 4.55m/h

Le prix de mètre : 940.3 Dollar.

Bibliographie

- [1] Mémoire de fin d'études **Réalisé par (OUGHANEM Rezki -MERZOUK Houda):Étude des paramètres optimaux pour un bon nettoyage lors du forage d'un medium radius dans la région de haoud el-hamra a hassi-messaoud.2010/2009**
- [2] Document BAKER-HUGHES:**Drilling Motors (DMTR) Detailed Description of Service.**
- [3] Mémoire de fin d'étude : **(Mahtout Habib –ChelghoumAbdelghani) Forage de la phase 12 1/4 en un seul Run avec le Moteur de fond Geoforce dans la région de Hassi-Messaoud 2011/2012**
- [4] **Court de forage dirigé. Niveau master 02(Mdz : Hadjadj Souad).**
- [5] Memoir fin d'étude : **réaliser par (ROKKABA Akram -BENCHOHRA Abdelkader Etude sur les moteurs de fond : PDM et Turbine 2015/2016**
- [6] **PDF Forage dirigé Ingénierie et méthodes réaliser par Jean-Paul Szezuka en 2005.**
- [7] Document EAP: U F R Drilling, Production & Reservoir Engineering février 2008.
- [8] Mémoire fin d'étude : **Réaliser par (TOUAHRI Abdeldjebbar).Le contrôle non destructif (CND) et maintenance du moteur de fond hydraulique (PDM de Sperry-Sun). 2015/2016**
- [9] **cour de forage, volume 4, les moteur de fond hydraulique réalise partiraspolskywladimir**
- [10] document entreprise fabricante des moteur de fond china **XOOS**
- [11] Document BAKER-HUGHES:**Navi-Drill Motor Handbook réaliser par Thomas Jaeger and Jan Lukas Herlitzius.**
- [12] Le Forage dirigé et horizontal (**Directionnel and horizontal drilling**) **Hadjadj Souad.**
- [13] Mémoire fin d'étude : **Etude des performances Comparative entre les turbines et PDM sur la phase 6"À In Saleh réaliser par FOUJIL MOHAMED AMINE-HARICHA HASSAN-KHELIF HOUSSAM. 2014/2015**
- [14] Document BAKER-HUGHES:**Bi-directional communication and power module.**
- [15] document sonatrack :**Moteurs de fond(PDM et turbine).**
- [16] **CHERIFI Billal CHERIF Souheyla mémoire de fin d'étude: Comparaison des performances des turbines et PDM sur la phase 6" À Hassi Messaoud. Présenter par : 2009/2010.**

