

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université de Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Mécanique

Filière : Génie Mécanique

Option: Transport et Distribution des hydrocarbures

Réf:.....

**Mémoire de Fin d'Etudes**

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

**MASTER**

***Thème***

**Etude paramétrique de l'écoulement  
annulaire du fluide de forage pétrolier situe à  
hassi-messaoud**

**Présenté par:**

**Adil GACEM**

**Proposé et dirigé par:**

**Dr. A.BENMACHICHE**

**Promotion : Juin 2017**



# Dédicaces

*J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail : A mes chères **parents**,  
à mes chers Frères, mes Chères Sœurs, a toute ma famille pour leurs  
soutient durant toutes mes années d'études..*

*A mes amis sans exception Et à toutes les personnes qui m'ont encouragé  
à poursuivre mes études.*

*Adil*

# Remerciements

*Langage tout d'abord à Dieu qui nous a donné la force*

*Pour terminer ce modeste travail.*

*Je remercie mon encadreur Dr. Abdelmoumène Hakim*

*BENMACHICHE pour son encadrement et ses aides précieuses.*

*Je remercie aussi les membres de jury qui nous ont fait l'honneur*

*d'accepter le jugement de mon travail.*

*L'ensemble des enseignants du département de génie mécanique.*

# SOMMAIRE

Dédicace.....	I
Remerciements.....	II
Sommaire.....	III
Liste des figures.....	VI
Liste des tableaux.....	VIII
Nomenclature.....	IX
Introduction générale.....	1

## CHAPITRE I : GENERALITE SUR FORAGE ET FLUIDES DE FORAGE.

I.1 Introduction.....	2
I.2 Déroulement d'une opération de forage .....	3
I.3 Principe du forage rotary .....	3
I.4 Description d'un appareil de forage .....	4
I.4.1 Fonction Levage.....	5
I.4.1.1 Structure de la tour de forage .....	5
I.4.1.2 La mécanique de levage .....	6
I.4.2 Fonction Rotation.....	6
a) La table de rotation .....	6
c) la tête d'injection.....	7
I.4.3 Les pompe de forage .....	8
I.4.4 Les sources d'énergie.....	8
I.4.5 Fonction de sécurité .....	9
I.5.1 Les paramètres mécaniques .....	10
I.5.2.1 Débit.....	11
I.6 Les fluides de forage .....	12
I.6.1 Introduction.....	12
I.6.2 Les type des boues de forage .....	13
I.6.2.1 Les boues à base d'eau.....	13
I.7 Circuit de la boue .....	14
I.6.1 Les éléments composants le système de circulation .....	16
- La pompe à boue.....	16
I.6.2 Equipement pour préparer le fluide de forage .....	16
I.6.3 Equipement pour éliminer les déblais du liquide de forage.....	18
I.6.3.1 Les bassins de décantation .....	18
I.6.3.2 Les goulottes .....	18

I.6.3.3 Le tamis vibrant .....	19
I.7 Les caractéristiques physiques de la boue .....	19
I.7.1 La densité .....	29
I.7.2 La rhéologie .....	20
I.7.2. 1 Matériel de contrôle .....	20
I.7.3 Les caractéristiques à déterminer .....	20
I.8 Les fonctions de la boue .....	22
I.8.1 Le nettoyage du puits .....	23
I.8.2 Maintenir les parois du puits .....	25
I.8.3 Suspension des déblais pendant l'arrêt des pompes .....	27
I.9 Différents problèmes résultant au mauvais nettoyage du puits .....	29

## **CHAPITRE II : RHEOLOGIE DES FLUIDES DE FORAGE.**

II.1 Introduction .....	32
II.2 Rhéologie des fluides newtoniens ou non-newtoniens .....	32
II.2.1 La Rhéologie .....	32
Science étudie la déformation des matériaux (cas des solides) ou leur écoulement (cas des liquides) sous l'effet d'une contrainte. ....	32
II.3 Le rôle principal .....	35
II.3.1 Notions sur les régimes d'écoulements (Laminaire, Transitoire, Turbulent) .....	35
II.3.2 Détermination du régime d'écoulement .....	37
II.4 Notion de perte de charge .....	38
II.4.1 Notion de la Viscosité d'un fluide .....	39
II.5 L'analyse hydraulique .....	39
II.5.1 Les paramètres suivants sont déterminés dans l'analyse .....	39
II.6 Description du puits RDOM-1 .....	40
II.6.1 Lithologie .....	41
II.6.3 Programme de Boue .....	42

## **CHAPITRE III : CALCULE HYDRAULIQUE ET INTERPRETATION DES RESULTATS.**

III.1 L'analyse hydraulique du model rhéologique binghamien .....	43
III.1.1 Les étapes de calcule dans l'annulaire .....	43
III.1.2 Les étapes de calcule à l'intérieur des tiges .....	47
III.1.3 La chute de pression au niveau de l'outil .....	49
III.1.4 Vitesse de sédimentation des déblais vers le fond du puits et l'efficacité du nettoyage du fond de puits .....	52
II.1.4.1 Les étapes de calcule de NPT, $E_t$ , ATT .....	53

III.2 Concentration des déblais dans le trou et densité effective du fluide .....	56
III.2.1 Cutting carring index .....	56
III.3 Calcul de la pompe a boue .....	58
III.3.1 Calcul de la puissance hydraulique .....	58
III.3.3 Calcul de la puissance mécanique maximale de la pompe .....	59
III.3.4 Calcul hydraulique de la pompe a boue.....	59
a) Calcul du diamètre de la chemise.....	59
III.4 Interprétation des résultats et conclusion finale de l'analyse .....	61
III.5 Les solutions Proposées .....	61
III.5.1 Les propositions avant de commencer le forage pour éviter le mauvais nettoyage de puits et risque de coincement.....	61
III.5.3 Les bouchons de nettoyage.....	62
a) Bouchon Low-Vis.....	62
b) Bouchon Hi-Vis.....	62
III.6 Recommandations .....	62
Conclusion.....	63
Bibliographie	

# LISTE DES FIGURES

## CHAPITRE I : GENERALITE SUR FORAGE ET FLUIDES DE FORAGE.

Fig. I.1 : Description simplifiée d'un appareil de forage.....	5
Fig. I.2 : Treuil de forage.....	6
Fig. I.3 : La table de rotation. ....	7
Fig. I.4 : La tête d'injection. ....	7
Fig. I.5 : Pompe a boue.....	8
Fig. I.6 : L'obturateur de sécurité B.O.P .....	9
Fig. I.7 : Schéma représente poids sur l'outil. ....	10
Fig. I.8 : Tableau d'affichage des paramètres de forage. ....	12
Fig. I.9 : circuit de la boue.....	15
Fig. I.10 : La pompe à boue.....	16
Fig. I.11 : Le mixeur.....	17
Fig. I.12 : Tamis vibrant. ....	19
Fig. I.13 : Densimètre Fann.....	20
Fig. I.14 : Rhéomètre Fann 35.....	20
Fig. I.15 : Filtre-presse HPHT Fann.....	21
Fig. I.16 : Emulsion Tester Fann .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Fig. I.17 : l'effet de la viscosité sur le nettoyage.....	24
Fig. I.18 : variation de l'indice de nettoyage en fonction de la vitesse .....	25
Fig. I.19 : variation de taux de filtration en fonction de la viscosité. ....	27
Fig. I.20 : Remonté des déblais dans l'espace annulaire .....	28
Fig. I.21 : L'écoulement de boue dans l'espace annulaire. ....	29
Fig. I.22 : bourrage de l'outil à cause de mauvaise nettoyage. ....	31

## CHAPITRE II : RHEOLOGIE DES FLUIDES ET CALCULE HYDRAULIQUE.

Fig. II.1 : Courbe Caractéristique du fluide.....	33
Fig. II.2 : courbe Caractéristique du fluide. ....	35
Fig. II.3 : Régime laminaire .....	36
Fig. II.4 : Régime turbulent. ....	36
Fig. II.5 : Régime transitoire. ....	37
Fig. II.6 : Localisation de RDOM-1puits .....	40
Fig. II.7 : Coupe litho-stratigraphique et différentes phases de forage. ....	41
Fig. II.8 : Programme de boue.....	42

## CHAPITRE III : CALCULE HYDRAULIQUE ET INTERPRETATION DES RESULTATS.

Fig. III.1 : profile de puits phase 12'' <sup>1/4</sup> .....	46
Fig. III.2 : schéma de garniture de forage .....	50
Fig. III.3 : Pompe à boue en coupe .....	58

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1</b> : Dimensions des différentes sections .....	45
<b>Tableau 2</b> : Paramètres de la boue de forage.....	47
<b>Tableau 2</b> : Dimensions des différentes tiges .....	50
<b>Tableau 3</b> : les résultats des pertes de charge dans l'intérieur des tiges et l'espace annulaire..	51
<b>Tableau 4</b> : les résultats des pertes de charge dans l'intérieur des tiges et l'espace annulaire..	51
<b>Tableau 5</b> : les résultats des pertes de charge dans le circuit de boue.....	52
<b>Tableau 6</b> : les résultats des pertes de charge au niveau de l'outil.....	52
<b>Tableau 7</b> : les résultats de l'efficacité du nettoyage. ....	57
<b>Tableau 8</b> : les résultats de l'efficacité du nettoyage. ....	57
<b>Tableau 9</b> : les résultats des pertes de charge dans le circuit de boue.....	62

## Nomenclature

**P<sub>h</sub>** : Pression hydrostatique (bar).

**Z** : Profondeur(m).

**ρ** : Densité de la boue (sg).

**γ**: Yield point (lb/100 ft<sup>2</sup>).

**VP**: La viscosité plastique (cp).

**L<sub>600</sub>** : Lecteur fann 600.

**L<sub>300</sub>** : Lecteur fann 300.

**L<sub>100</sub>** : Lecteur fann 100.

**L<sub>3</sub>** : Lecteur fann 3.

**τ**: l'effort de cisaillement calculée (lb/100 ft<sup>2</sup>).

**τ<sub>0</sub>**:le taux de cisaillement (s<sup>-1</sup>).

**K** : coefficient de consistance (lb/100ft<sup>2sn</sup>).

**n** : l'indice de comportement rhéologique (sans dimension).

**Q** : Débit de fluide (l/min).

**D** : Diamètre intérieur de casings (ou de open hole) (in).

**d**: Diamètre extérieur des tiges (in).

**V<sub>a</sub>** : Vitesse annulaire de fluide (m/min).

**μ**: Viscosité effective annulaire de la boue (cP)

**Re**: Nombre de Reynolds (sans dimension).

**f<sub>a</sub>**: Coefficient de friction.

**L** : longueur (profondeur) d'une section (m).

**P<sub>a</sub>** : Perte de charge dans une section (psi)

**P<sub>ar</sub>** : Pertes de charge totales (psi).

**ECD** : Equivalent circulation densité (ppg)

**P<sub>cd</sub>**: Perte de charge dans l'outil.

**V<sub>c</sub>**: la vitesse critique (ft/min).

**Q<sub>c</sub>**: Débit critique (gal/min).

**HP<sub>b</sub>**: Puissance hydraulique (hp).

**D<sub>d</sub>**: Diamètre des duses (1/32 in).

**V<sub>n</sub>**: Vitesse de fluide dans les duses (ft/min)

**IF**: Force d'impact (kgf).

**Ca**: Concentration des déblais dans l'annulaire (%).

**Abréviation :**

**WOB** le poids sur l'outil (weight on bit).

**SPP** pression de service (stand pipe pressur).

**RPM** vitesse de rotaion.

**TOT DEPTH** profondeur total.

**ROP** vitesse d'avancement.

**FLW POMP** débit des pompe (flow pomp).

**TORQUE** le couple.

**BHA** Assemblage de fond (**B**ottom **H**ole **A**ssembly).

**LA PHASE 12''<sup>1/4</sup>** une couche de formation forer par un outil de diamètre 12.25 pouce = 31.11 cm.

## **Introduction générale**

La technologie de forage des puits de pétrole et de gaz demande l'emploi d'un matériel complexe de surface et du fond, avec un prix de revient Moins cher possible et dans des meilleures conditions de sécurité.

Les problèmes coûtent à l'industrie pétrolière des milliards de dollars par an en temps perdu, tout cela a suscité un plus grand intérêt pour la prise en compte des problèmes du mauvais nettoyage du puits.

Le nettoyage du puits dépend essentiellement de la nature du fluide de forage, des dimensions du trou, de la granulométrie des déblais et des paramètres de circulations.

Le choix du fluide adéquat, et Le traitement de ces propriétés pendant le forage ont une influence importante sur le coût total du puits. Dépend de la vitesse d'avancement ou de pénétration (rate of penetration ROP) de l'outil de forage, et d'éviter des retards causés par le coincement de la garniture, la fracturation des formations, la panne des équipements de surface, et les pertes de circulation ; etc qui sont influencés par les propriétés de fluide de forage ; en outre, la boue de forage affecte la productivité du puits.

L'étude des écoulements des fluides de forage a pour objectif d'équilibrer les pressions des formations atteintes dans le puits et de définir les conditions de remontée des déblais.

Elle contribue à optimiser les paramètres hydrauliques et rhéologiques des fluides de forage.

A la lumière de ceci, le présent travail a comme objectif d'étudier, analyser et optimiser les paramètres hydrauliques affectant le nettoyage des puits pétrolier. Ce travail est divisé en trois chapitres : le premier chapitre traitera des généralités sur le forage et les fluide de forage, sera consacré à la notion les paramètres de forages, les fluides de forage, ses différents types et ses fonctions, nous aborderons les différents problèmes liés au nettoyage du trou.

Dans le deuxième chapitre une explication des principales propriétés de la rhéologie des fluides et aux principaux paramètres rhéologiques des fluides de forage

Dans le troisième chapitre on exposera les lois du comportement rhéologique des fluides de forage et calcule les pertes de charges dans différents sections et aussi contient d'interprétation des résultats et Recommandations.

## I.1 Introduction

Le forage est l'opération de désagrégation mécanique des roches en vue de pénétrer progressivement dans le sous-sol et d'atteindre l'aquifère situé à une certaine profondeur.

Le forage est une activité importante dans la recherche et l'exploitation des hydrocarbures. Il complète la prospection géologique et géophysique; Il précède la mise en production des hydrocarbures.

Le processus de forage est effectué à l'aide des machines, appelées appareil de forage, qui consiste en une combinaison de nombreux systèmes. Ce sont les masses-tiges, vissés sur le fond de l'assemblage de tube de forage au-dessus du trépan, qui fournissent le poids nécessaire, et éviter le flambage des tiges de forage au-dessus. Les masses-tiges de forage, ainsi que des tiges de forage et l'outil tous composent la chaîne de forage, qui est mise en rotation par la table rotative et le Kelly. Les éléments constitutifs du train de tiges sont creux dans l'axe, de sorte que le fluide de forage peut circuler vers le bas de l'outil. Un joint tournant étanche aux fluides, la tête d'injection, est situé au sommet de la Kelly et fournit une connexion entre la conduite de refoulement de la pompe à boue et à l'intérieur du train de tiges. Un système de levage est nécessaire pour supporter le poids de la chaîne de forage, descendu dans le trou et tiré. Ceci est la fonction du derrick, le crochet et les travaux de tirage. L'appareil de forage est doté avec des installations pour traiter le fluide de forage quand il revient à la surface, une zone de stockage pour les produits tubulaires, des abris et des bureaux sur place.

En outre, quand un puits est foré, il est régulièrement tubé. il est bordée de tuyaux en acier, ou boîtier, qui est descendu dans le trou sous son propre poids en diamètres plus en plus petits que le trou obtient plus profondément.

Afin de forer un puits, trois facteurs doivent être mis en place simultanément; i) une certaine charge doit être appliqué sur le trépan, ii) l'outil doit être mis en rotation, et iii) un fluide de forage doit être distribué à l'intérieur du puits de forage.

Le forage pétrolier nécessite deux constituant majeur i) la main-d'œuvre ii) le système matériel. La main-d'œuvre comprend un groupe d'ingénierie de forage et un groupe de commandes de l'appareil de forage. La première offre un soutien technique pour les opérations de forage optimales, y compris la sélection des appareils de forage, le programme de conception la boue, le programme de tubage et de cimentation, le programme hydraulique, programme des outils, le programme de la chaîne de forage et le programme de contrôle de puits.

Après le démarrage de forage, les opérations quotidiennes sont gérées par un groupe d'opérateurs de forage dirigé par un chef de chantier. Les systèmes matériels qui composent un appareil de forage rotatif sont i) un système de production d'énergie, le système ii) de levage, iii) le système de circulation de fluide de forage, iv) le système rotatif, v) le système de contrôle des éruptions de puits, et vi) le système de suivi de l'acquisition des données de forage [2].

## **I.2 Déroulement d'une opération de forage**

Le forage est un processus graduel combinant plusieurs phases. Lors de chaque phase, L'assemblage de fond est remonté à la surface pour la maintenance du processus, pour le tubage et la cimentation de la partie forée. Le tubage consiste à déployer des tubes en acier dans le puits (Casing). Dans certaines situations, le tubage peut être enroulé (Coiled tubing) et correspond au déploiement progressif d'un tube simultanément au forage. Dans toutes les situations le tubage permet de consolider les parois du puits au cours du forage, et de préparer les éléments nécessaires à la production une fois les réservoirs contenant les hydrocarbures atteints.

La cimentation consiste à cimenter l'annulaire à la fin de chaque phase de casing. Ce processus correspond à l'installation d'un anneau de ciment favorisant l'obtention d'un lien étanche et résistant entre le corps du tube et les parois du puits. Pendant le forage la partie basse du puits n'est pas couverte (Open Hole) tandis que sa partie supérieure est tubée [2].

## **I.3 Principe du forage rotary**

La méthode rotary consiste à utiliser des trépan à dents tricône ou des trépan monoblocs comme les outils à diamant, sur lesquels on applique une force procurée par un poids tout en les entraînant en rotation. L'avantage de cette technique est de pouvoir injecter en continu un fluide au niveau de l'outil destructif de la formation pour emporter les débris hors du trou grâce au courant ascensionnel de ce fluide vers la surface.

La sonde de forage rotary est l'appareillage nécessaire à la réalisation des trois fonctions suivantes :

Poids sur l'outil ; vitesse de rotation de l'outil ; Injection d'un fluide.

Ce sont les masses tiges qui vissées au-dessus de l'outil, appuient sur celui-ci ; ces masse tiges prolongées jusqu'en surface par des tiges, constituent la garniture de forage. Elle est mise en rotation dans son ensemble grâce à la table de rotation et par l'intermédiaire de la tige d'entraînement.

La totalité de la garniture de forage est percée en son centre afin de canaliser le fluide de forage vers l'outil, un joint rotatif étanche "tête d'injection" doit couronner la tige d'entraînement et permettre la liaison entre la conduite de refoulement des pompes de forage et l'intérieure de la garniture.

Un appareil de forage est nécessaire pour soutenir le poids de la garniture et manœuvrer celle-ci :c'est le rôle du derrick, du crochet de forage et du treuil.

L'appareil de forage est complété d'une installation nécessaire aux traitements du fluide de retour en surface, d'un stockage de tubulaires et des abris de chantier [1].

#### **I.4 Description d'un appareil de forage**

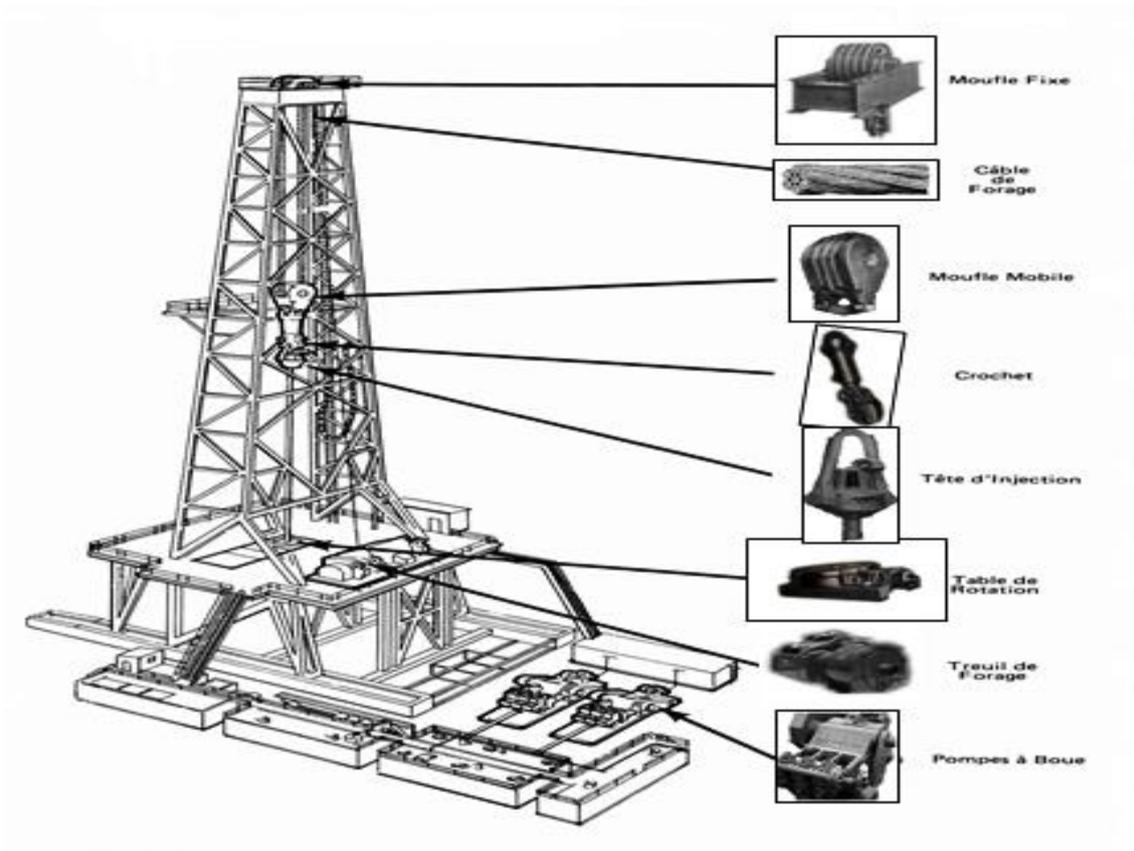
L'appareil de forage, ou plus globalement le chantier de forage est constitué d'un ensemble d'équipements, des techniques opératoires et un personnel très qualifié.

La figure (I.1) montre les différents organes constituant un appareil de forage standard.

On classe généralement les appareils de forage rotary on quatre catégories qui sont définies par les profondeurs limites qu'ils peuvent atteindre avec des tiges 4 1/2". On distingue :

- a) Les appareils légers : pour les profondeurs inférieures à 1200 m. ces appareils sont le plus souvent portables ou semi-portables.
- b) Les appareils moyens : pour les profondeurs comprises entre 1200 et 2500 m.
- c) Les appareils lourds : pour les profondeurs comprises entre 2500 et 4000 m.
- d) Les appareils ultras- lourd : pour les profondeurs supérieures à 4000 m.

Ces performances de profondeur se traduisent par un poids et une puissance qui caractérise le critère de choix d'un appareil de forage [1].



**Fig. I.1 :** Description simplifiée d'un appareil de forage.

L'installation de l'appareil de forage est formée par un ensemble des équipements complexes comprenant des mécanismes liés entre eux pour accomplir une fonction bien déterminée dite forage d'un puits. Les principaux éléments d'un appareil de forage sont :

#### **I.4.1 Fonction Levage**

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

##### **I.4.1.1 Structure de la tour de forage**

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

##### **a) Le mât**

Le mât est une structure en forme de A très pointu. Il a la particularité d'être articulé à sa base ce qui lui permet d'être assemblé ou démonté horizontalement puis relevé en position verticale en utilisant le treuil de forage et un câble de relevage spécial.

## b) Les substructures

Ces constructions répondant du besoin de surélévation du planché de forage pour laisser la place aux empilages de tête de puits ainsi que le BOP. Elles pouvant être indépendantes du mât de levage. La substructure comprend 4 supports métalliques principaux destinés à recevoir les 4 fers d'angle du derrick et qui reposent sur le sol par des plaques métalliques. Ces 4 supports sont reliés entre eux par des fers horizontaux et des cornières entrecroisées.

### I.4.1.2 La mécanique de levage

#### a) Le treuil de forage

Le treuil de forage est destiné à assurer les manœuvres de remontée et de descente des tiges.



Fig. I.2 : Treuil de forage.

#### b) Le mouflage

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

### I.4.2 Fonction Rotation

#### a) La table de rotation

Les tables de rotations sont destinées à l'entraînement d'une colonne de forage suspendue verticalement ou bien à la réception du couple moteur à réaction de la colonne,

créée par le moteur d'attaque. Une table de rotation se compose d'un bâti fixe supportant une partie mobile intérieure reposant sur la partie fixe par l'intermédiaire d'un roulement à billes principal.

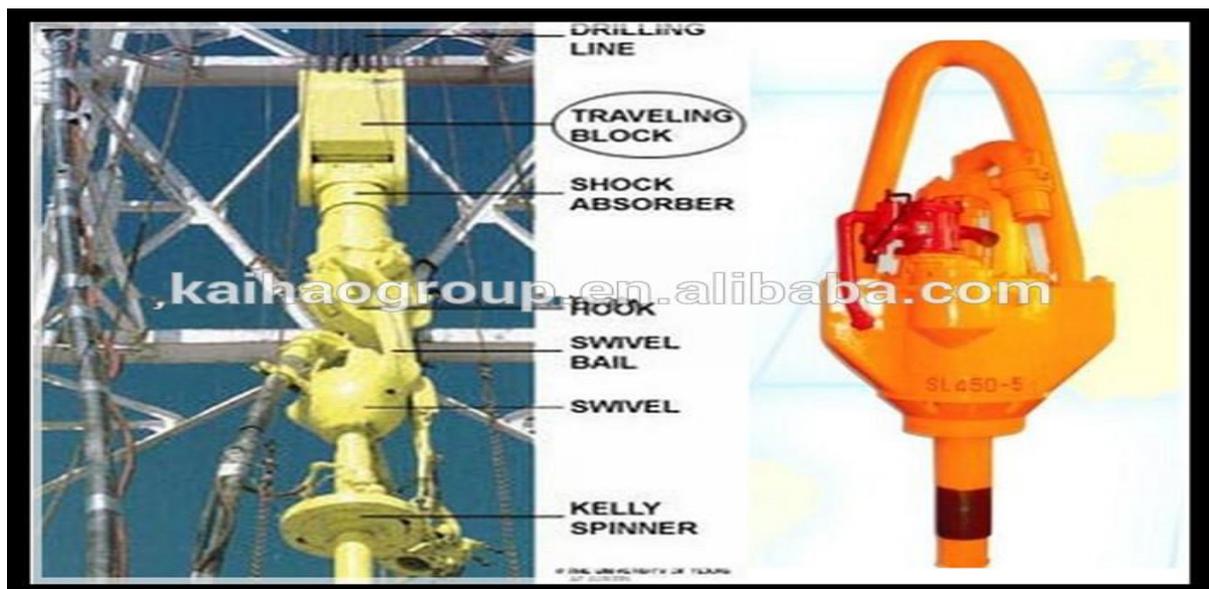


**Fig. I.3 :** La table de rotation.

#### b) la tête d'injection

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

- ❖ Permet la circulation de la boue jusqu'au trépan, animé d'un mouvement de rotation.
- ❖ Supporte le poids de la garniture pendant le forage.



**Fig. I.4 :** La tête d'injection.



**Fig. I.5 :** Pompe a boue.

### **I.4.3 Les pompe de forage**

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

### **I.4.4 Les sources d'énergie**

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

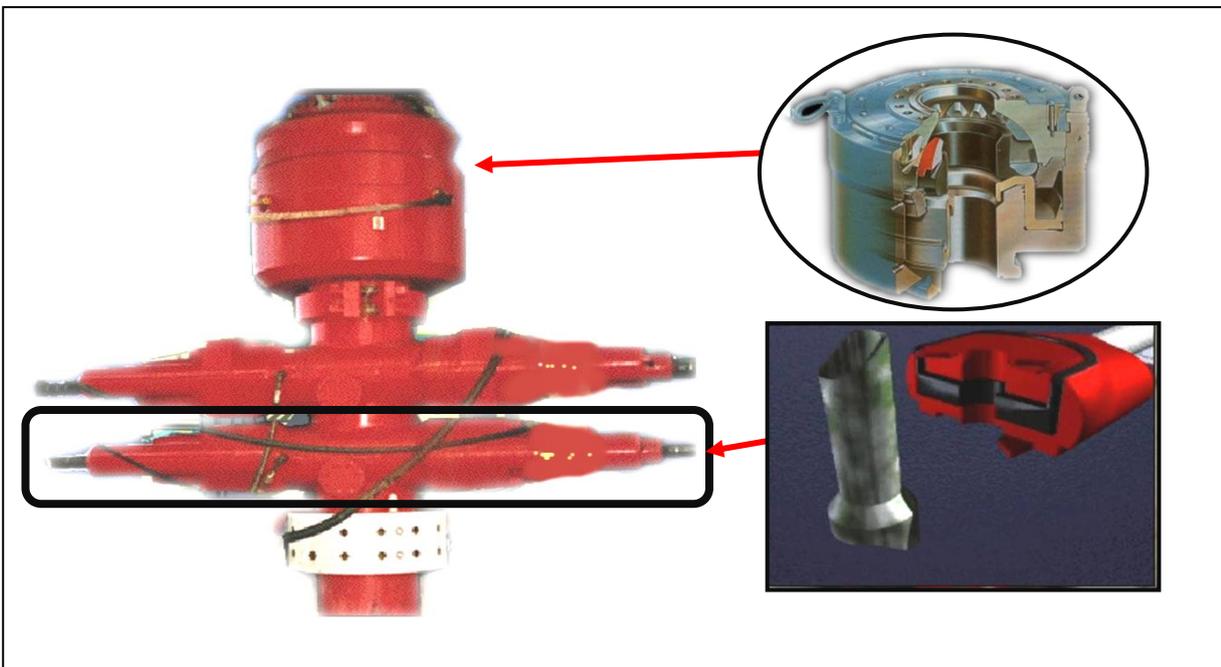
D'autant plus que le mode de fonctionnement procure des appels de puissance dont la répercussion sur le réseau de distribution n'est pas acceptable.

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

### I.4.5 Fonction de sécurité

Au forage des puits aux gisements où l'on suppose la présence d'une pression élevée des couches, afin d'éviter une éruption de gaz et d'huile (voir fig.I.6), la tête de puits est munie de dispositifs d'étanchéité de sécurité appelés obturateurs de sécurité (B.O.P).

Est monté sur la bride d'une colonne intermédiaire descendue avant le début du forage. L'éruption de gaz et d'huile peut commencer très vite et se dérouler d'une manière bien intense, ce qui peut finir par la perte du puits et de l'équipement. A l'aide des obturateurs de sécurité on peut prévenir rapidement le début de l'éruption et réaliser des opérations nécessaires dans le puits [2]. .



**Fig. I.6 :** L'obturateur de sécurité B.O.P

## I.5 Les paramètres de forage

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

Ils peuvent être classés en deux catégories :

- Les paramètres mécaniques
- Les paramètres hydrauliques

### I.5.1 Les paramètres mécaniques

Les terrains traversés durant l'opération de forage présentent une grande variété de dureté. La vitesse d'avancements peut varier selon la nature de formation. Il est évident que pour forer des roches de différentes duretés on utilise des outils bien spécifiques selon la nature géologique

#### I.5.1.1 Poids sur l'outil

A une vitesse de rotation constante, l'augmentation du poids sur l'outil contribue une augmentation de la vitesse d'avancement, à peu près en proportion directe si le débit de Circulation est suffisant.

Le poids sur l'outil(WOB) c'est un paramètre calculer selon un principe physique, prenons on considération le poids de la garniture libre(WOHL) et le poids de la garniture durant le forage(WOHF).

$$WOB = WOHL - WOHF$$

La charge de tous la garniture est supportée par le corps du cône qui s'applique contre la formation et il en résulte une diminution de la vie de l'outil. Cette charge est d'autant plus importante dans les terrains de plus en plus durs.

Le range maximale et minimale du poids sur l'outil (WOB) est limité par le constructeur.

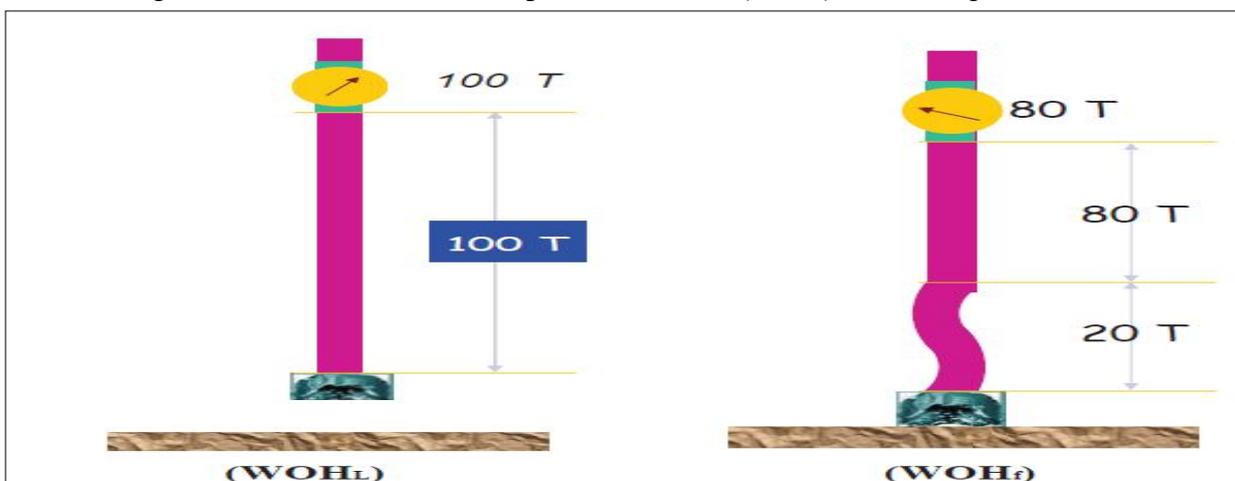


Fig. I.7 : Schéma représente poids sur l'outil [2].

### I.5.1.2 Vitesse de rotation

La vitesse de rotation (RPM) c'est un paramètre physique qui indique le nombre de tour de la table dans le rig-floor par minute, identifié à l'aide d'un capteur, la vitesse de rotation croît en fonction de la dureté de la formation et le paramètre torque.

Et peut être limitée également par Les vibration qui affecte la garniture de forage (phénomène de résonance qui peut être la cause de fatigues et de ruptures)

#### ➤ Notion de Torque

C'est un paramètre physique enregistré au cour du forage, a vrai dire le torque et la force opposite de la rotation tous dépend aussi de la nature géologique des roche traversés comme le poids, le couple en surface n'est pas transmis intégralement sur l'outil de forage, mais la mesure de surface est la seule possible actuellement.

Un capteur à effet Hall est installé autour du conducteur d'amenée du courant (mesure de la consommation de courant électrique par le moteur de la table de rotation).

Le torque indique :

- ❖ l'état de l'outil et surtout de ses roulements
- ❖ les changements de lithologie
- ❖ molette coincée
- ❖ éboulement sur l'outil
- ❖ transmission du couple lors d'un back-off
- ❖ tentative de décoincement

## I.5.2 Les paramètres hydrauliques

### I.5.2.1 Débit

C'est un volume de boue diverse par les pompes de forage a travers le stand pipe et le drill string à l'intérieur du trou de forage.

La quantification du débit est basée sur le débit unitaire de des pompes(POP)

Les pompes de forage sont caractérisées par:

- Le nombre de pistons (02 duplex, 03 triplex)
- Le diamètre de la chemise (piston)
- La Course (10 '' ou 12'')
- Le débit unitaire et son efficacité [19].

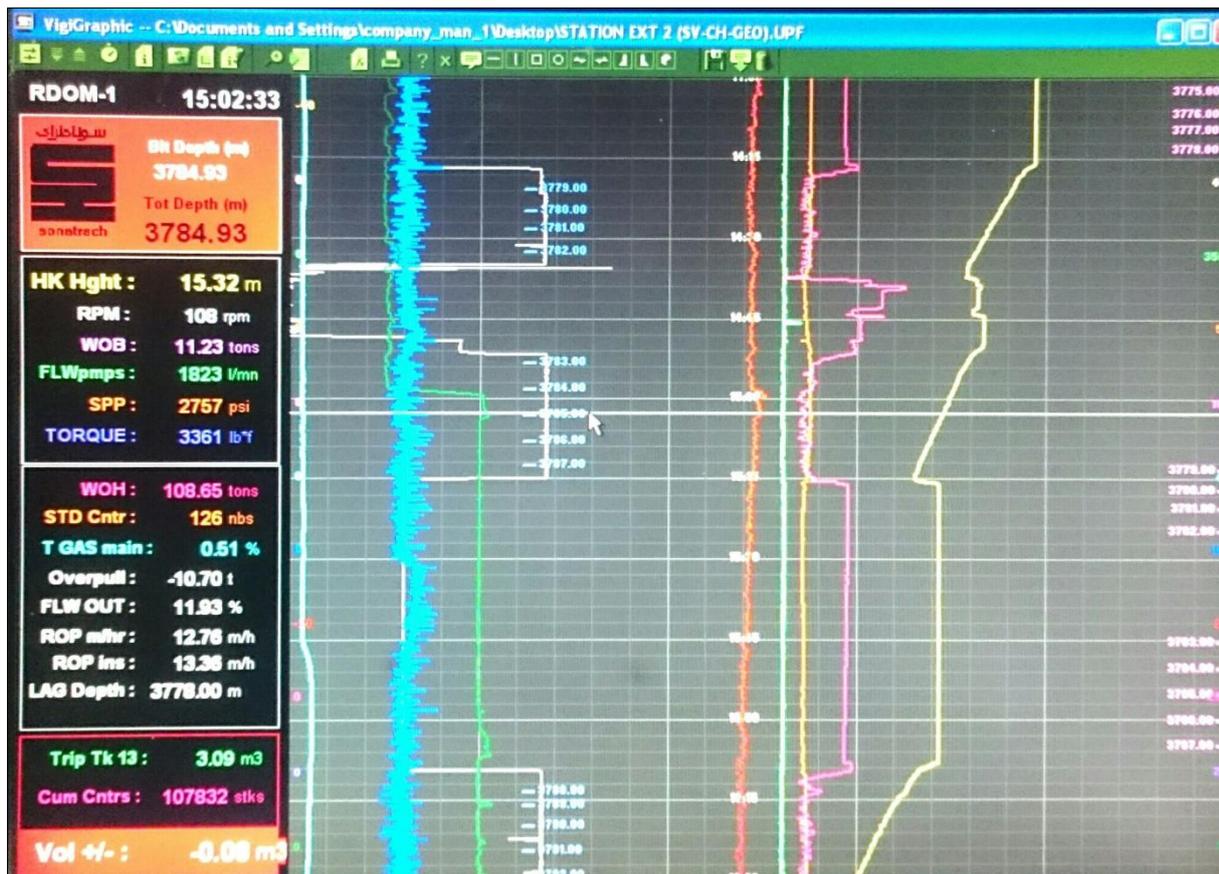


Fig. I.8 : Tableau d'affichage des paramètres de forage [20].

## I.6 Les fluides de forage

### I.6.1 Introduction

Dans le passé, les gens creusaient des puits pour trouver de l'eau, pour eux, le pétrole trouvé accidentellement était une source de pollution. Les premiers puits ont été creusés pour rechercher de l'eau potable, pouvant être utilisée pour le lavage et l'irrigation, et pour rechercher de la saumure, dont on extrayait le sel. Ce n'est qu'au 19ème siècle que les forages d'exploration pétrolière se sont développés pour répondre aux besoins croissants en produits pétroliers, nés de l'industrialisation.

On retrouve des traces des premiers forages de puits en Chine, trois siècles avant Jésus Christ. La technique utilisée (forage au câble) consistait à lâcher un outil de forage en métal qui s'enfonçait dans le sol par son propre poids et à extraire la roche réduite en poudre à l'aide d'un conteneur cylindrique. Les Chinois étaient relativement en avance en la matière et étaient les premiers à utiliser des fluides. Le fluide utilisé à cette époque était l'eau. En assouplissant la roche, elle permettait une pénétration plus aisée et facilitait le retrait des débris de roche pulvérisés appelés déblais. (Il est important de retirer les déblais du puits au fur et à mesure du forage afin que le trépan puisse creuser plus profondément).

En 1833, un ingénieur français nommé Flauville examinait une opération de forage au câble au cours de laquelle les appareils de forage s'enfonçaient dans l'eau. Il réalisa que l'eau, en jaillissant, permettait d'extraire très facilement les déblais hors du puits. Dès lors, le principe d'utilisation d'un fluide en mouvement pour évacuer ces déblais du puits était établi. Il conçut un système dans lequel l'eau est pompée par une barre de fleuret et achemine les déblais jusqu'à la surface, dans l'espace compris entre la barre de fleuret et la paroi du trou. C'est la méthode standard utilisée à nos jours.

La boue a été utilisée pour la première fois par le capitaine Lucas (Texas). Son histoire peut être divisée en quatre périodes :

✓ Avant 1901 «période artisanale » : Les fluides de forage étaient constitués essentiellement d'eau et aucune importance n'était attachée à ces fluides.

✓ De 1901 à 1928 «période empirique » : dans cette période on n'attache d'importance qu'à la densité (mesurée par pesée directe à l'aide d'une balance ordinaire), à la viscosité (appréciée visuellement).

✓ De 1928 à 1955 «période expérimentale » : dans cette phase de nombreux chercheurs se penchèrent sur l'étude expérimentale des fluides de forage et les progrès deviennent très vite considérables, cette période fut marquée par :

✓ En 1929, la bentonite fut utilisée pour augmenter la viscosité et le phosphate pour la Diminuer.

✓ 1935 La boue à base d'huile a été utilisée pour la première fois.

✓ 1945 apparitions du viscosimètre Fann qui mesure les caractéristiques rhéologiques des boues de forage.

✓ A partir de 1955 «période technique » : Les progrès sont devenus très rapides et les produits dont on dispose actuellement permettent de faire face à peu près à tous les problèmes [8].

## **I.6.2 Les type des boues de forage**

On a trois types de boue de forage, et ils sont :

- ❖ Les boues à base d'eau (Water-based muds)
- ❖ Les boues à base d'huile (Oil-based muds)
- ❖ Les boues airées et à mousse (Foam and aerated mud drilling)

### **I.6.2.1 Les boues à base d'eau**

Les fluides de forage à base d'eau sont des fluides dont la phase continue est l'eau, éventuellement chargée en électrolytes (NaCl).

Ces boues peuvent être constituées essentiellement soit par :

- ❖ L'eau douce dont la salinité en NaCl ne dépasse pas quelque g/l.
- ❖ Les boues salées, dont la salinité est de quelques dizaines de g/l (eau de mer par exemple) jusqu'à la saturation (320g/l environ)

### II.2.2.2 Les boues à base d'huile (Oil-based muds)

Ce sont des boues dont la phase continue est l'huile.

On distingue les boues à l'huile contenant 5 à 15 % d'eau et, les boues à émulsion inverse pouvant contenir jusqu'à plus de 50 % d'eau. Pour ces deux types de boues, l'émulsion se forme est toujours du type eau dans l'huile.

#### ➤ L'avantage des boues à l'huile

- ✓ Contrôle aisé des caractéristiques en absence de venues d'eau ou de brut.
- ✓ Insensibilité aux contaminants habituels des boues à base d'eau (NaCl, CaSO<sub>4</sub>, ciment, argile, etc.).
- ✓ Forage à densité faible (< 0.88 S.G).
- ✓ Meilleur calibrage du trou.
- ✓ Meilleure récupération en carottage.

### II.2.2.3 Les boues airées et à mousse:

Dans les cas où les boues de forage citées précédemment ne sont pas appropriées, le choix de l'air, mousse, et boues aérées peut être efficace. Ces fluides peuvent être utilisés quand on fore les formations suivantes:

- ❖ Formations Extrêmement poreuses
- ❖ Formations Caverneuses

Donc ce type de boue est généralement utilisé dans les zones de pertes [18].

## I.7 Circuit de la boue

Nous introduisons les étapes de la circulation de la boue de forage dans le

Circuit de travail :

- 1) La boue est mélangée et conservée dans le bassin de décantation.
- 2) Une pompe achemine la boue dans la tige de forage qui descend jusqu'au fond du puits
- 3) La boue sort de l'extrémité de la tige de forage et tombe au fond du puits où l'outil est en train de forer la formation rocheuse.
- 4) La boue emprunte ensuite le chemin inverse en remontant à la surface les morceaux de roche, appelés déblais, qui ont été arrachés par le trépan.

- 5) La boue remonte jusqu'à l'espace annulaire, entre la tige de forage et les parois du puits. Le diamètre type d'une tige de forage est d'environ 10 centimètres (4 pouces). Au bas d'un puits profond, le puits peut mesurer 20 centimètres (8 pouces) de diamètre.
- 6) A la surface, la boue circule dans la conduite d'aspiration de la boue, une tige qui mène au tamis vibrant.
- 7) Les tamis vibrants se composent d'un ensemble de crépines métalliques vibrantes servant à séparer la boue des déblais. La boue s'égoutte dans les crépines et est renvoyée vers le bassin de décantation.
- 8) Un traitement plus élaboré est effectué par un ensemble d'équipements d'épuration mécanique.
- 9) Les déblais de la roche glissent le long de la glissière du tamis pour être rejetés. En fonction des impératifs environnementaux, notamment, ils peuvent être lavés avant leur rejet. Une partie des déblais est prélevée pour être examinée par des géologues afin d'étudier les propriétés des roches souterraines présentes au fond du puits [2].

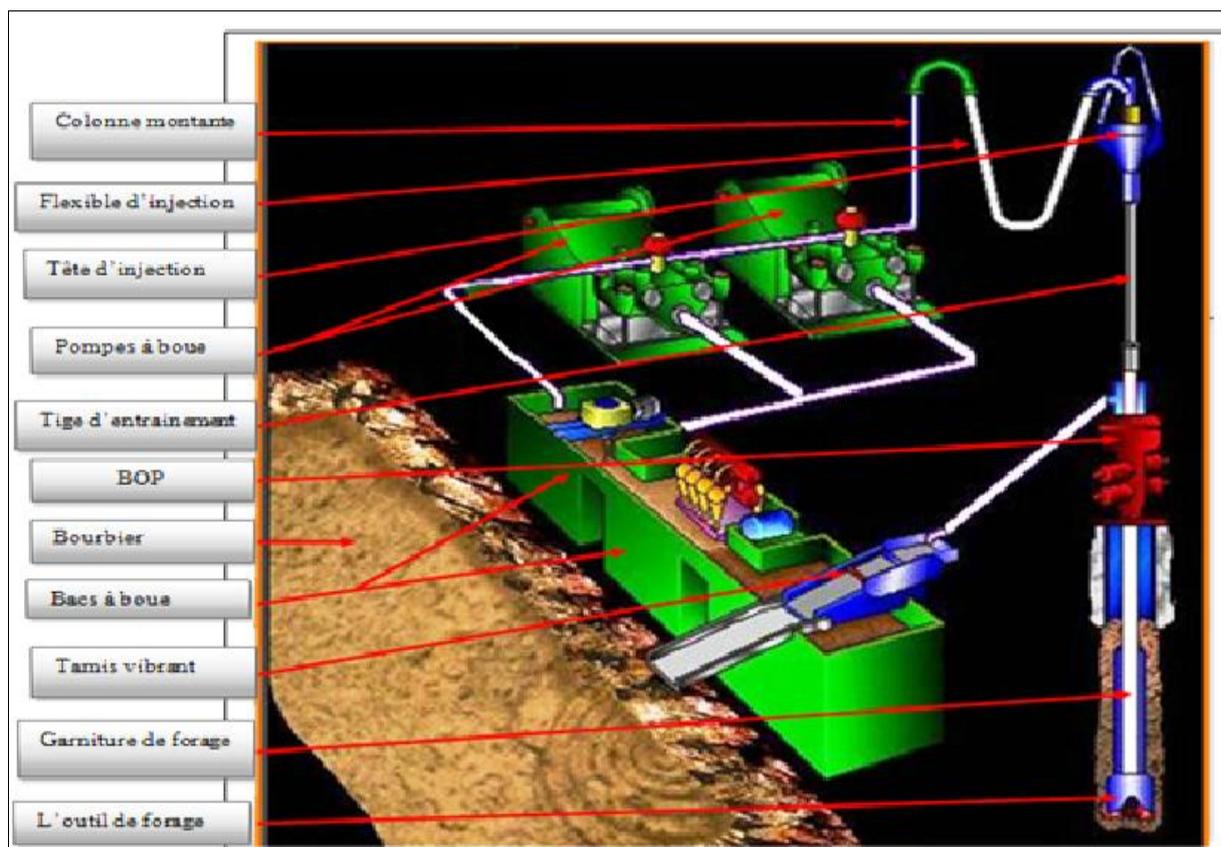


Fig. I.9 : circuit de boue.

### I.6.1 Les éléments composants le système de circulation

Dans la plupart des cas, le liquide de forage circule au forage en circuit fermé au moyen des pompes à piston, une ligne de refoulement à haute pression et un système de vidange qui élimine les déblais de terrain.

#### ➤ La pompe à boue

Les pompes à boue doivent assurer un débit compatible avec le rendement optimal du trépan utilisé.

Une pompe à boue est généralement entraînée par un moteur électrique ou à combustion interne auquel elle est reliée par une transmission à courroies trapézoïdales montées sur poulies à gorges multiples, avec un rapport de réduction convenable.

Le mouvement de rotation ainsi imprimé à l'arbre d'attaque de la pompe est transmis par un jeu de pignons à dents hélicoïdales à l'arbre principal de la pompe, celui-ci comporte un ensemble de manivelles et de bielles transformant le mouvement de rotation reçu en un mouvement de translation qui est transmis aux pistons.



Fig. I.10 : La pompe à boue

### I.6.2 Equipement pour préparer le fluide de forage

#### a) Stockage de la boue

Suivant la profondeur, le type de puits (développement ou exploration), la taille de l'appareil de forage, etc. le stockage total en surface peut varier de 150 à 300 m<sup>3</sup>. La plupart

des bassins actifs sont équipés de capteurs de niveaux ou sont jaugés par mesure directe. Ces mesures deviennent erronées en fond de bassin par suite de l'encombrement des aspirations, de leurs vannes et autres matériels.

Le bac de manœuvre est un bassin particulier de stockage qui permet le contrôle précis du remplissage du puits en cours de manœuvre. Il est en général de section étroite de telle sorte qu'à une faible variation de volume corresponde une variation sensible du niveau dans le bac.

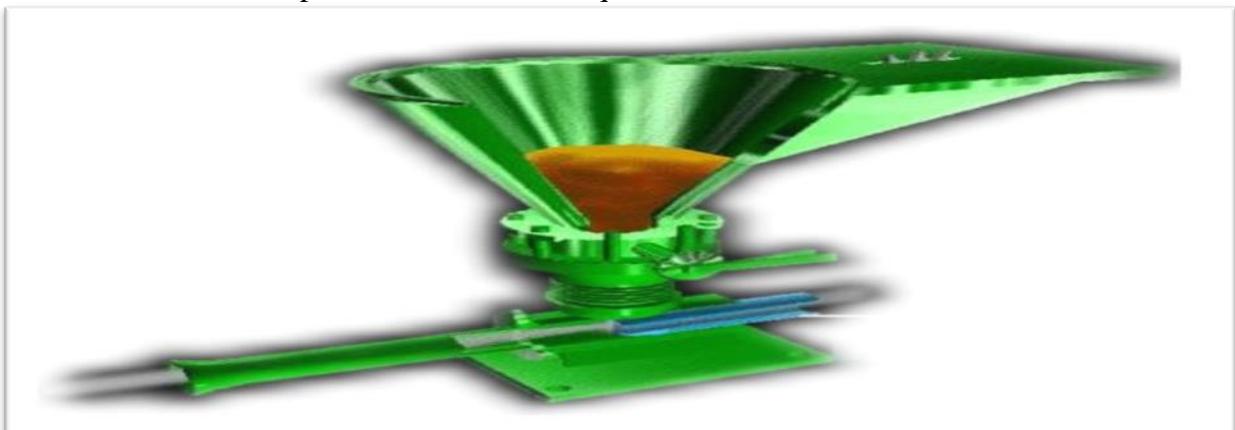
Le bournier est en général un bassin creusé dans le sol pour le stockage des boues usées, des déblais et de tous les rejets. Lorsque les conditions d'environnement le justifient, il peut être constitué d'un ensemble de bassins étanchés par des feuilles de plastique ou même bétonnés, où s'opère la sédimentation des solides, la collecte des huiles surnageante, la décantation des boues, etc. Dans certains cas, il est ajouté une installation d'épuration des eaux avant rejet dans la nature.

Les liquides de forage à base de matières chimiques sèches (réactifs chimiques, argiles bentonites et subbentoniques, Alourdissant, ciments, etc.) sont préparées dans les mélangeurs à jet ou dans les dispositifs d'agitation.

#### b) Le mélangeur

A travers le raccord l'eau ou un liquide de forage est refoulé par la pompe sous pression de avec un 3000 l/min au plus. Dans la chambre se forme un vide à cause de quoi les matières en poudre se trouve dans la trémie passant dans le mélangeur et se mélangent avec du liquide. Le liquide de forage ainsi préparé pénètre par une tubulure tangentielle dans le réservoir. Le jet de liquide se heurte contre la chicane, les morceaux de la matière se brisent et le liquide se mélange.

L'amenée de la poudre dans le mélangeur se réalise au moyen des transporteurs hélicoïdaux entraînés par des moteurs électriques.



**Fig. I.11** : Le mixeur.

### **I.6.3 Equipement pour éliminer les déblais du liquide de forage**

L'élimination des déblais du liquide de forage est obtenue par deux procédés ; au prix de la chute naturelle des déblais du liquide ou bien par la séparation forcée des déblais du liquide, qui s'effectue mécaniquement ou hydrauliquement.

#### **I.6.3.1 Les bassins de décantation**

En général aujourd'hui, la décantation n'est effectuée que dans un petit bassin de 4 à 5 m<sup>3</sup>, appelé "sablière" et situé sous les vibrateurs ou juste en aval de ceux-ci. Ce bassin ne doit pas être équipé de moyens de brassage, ni de ligne d'aspiration. Il est par contre muni d'un dispositif de vidange rapide afin de faciliter son évacuation et son nettoyage : ceci est également favorisé par l'inclinaison à 45° du fond du bassin. Pendant les phases de démarrage, cette sablière (ou "Sandtrap") est nettoyée au moins à chaque manœuvre et même à chaque ajout de tige lors d'avancement très rapide dans les sables par exemple. Un bon usage de la sablière permet de soulager les appareils d'élimination des solides, placés en aval. Pour certaines opérations (changement de boue), il est nécessaire de pouvoir y passer cette sablière.

#### **I.6.3.2 Les goulottes**

Pour épurer les liquides on se sert aussi des goulottes en bois ou métallique de 25 à 40 m de longueur avec des cloisons transversales qui arrêtent de grosses particules des déblais.

Ces dispositifs sont simples, mais n'assurent pas une bonne qualité du liquide de forage.

#### **I.6.3.3 Le tamis vibrant**

Se compose d'un cadre qui porte une toile de filtre en acier inoxydable. Sur la toile tombe le liquide avec les déblais ; le liquide épuré passe dans la goulotte et arrive dans le bac d'aspiration de la pompe.

Le tamis est amené à un mouvement de vibration par l'arbre à excentrique.

Le réglage de la fréquence est obtenu par la variation du nombre de vibrations qui est égal, en général, de 1200 à 2500 à la minute. L'angle d'inclinaison du tamis peut être réglé dans les limites de 10 à 20° [9].



**Fig. I.12 :** Tamis vibrant.

## **I.7 Les caractéristiques physiques de la boue [3] :**

### **I.7.1 La densité**

La densité est un paramètre important des boues de forage. Elle doit être suffisamment élevée pour que la pression hydrostatique exercée par la boue sur la formation empêche les venues d'eau, d'huile et de gaz et par conséquent les éruptions. Il ne faut pas également qu'elle dépasse la limite de résistance des couches pour ne pas les fracturer et causer des pertes en cours de circulation.

La boue exerce une pression sur les parois du puits donnée par l'expression suivante :

$$P = 0.981 \cdot \frac{h \cdot d}{10}$$

Avec :

P : la pression hydrostatique en bar (bar)

h : la profondeur en mètre (m)

d : la densité en (Kg/m<sup>3</sup>)

#### **I.7.1.1 Rôle de la densité**

La densité est une caractéristique très importante des boues de forage. Elle doit être suffisamment élevée pour que la pression hydrostatique soit inférieure à la résistance des roches en tous points du découvert, afin de ne pas créer de fractures dont une des conséquences est la perte de circulation puis la venue possible d'un fluide.

#### **I.7.1.2 Matériel de contrôle**

Ce sont des appareils de chantier robustes, permettant de mesurer des densités de 0.90 à 2.50.



**Fig. I.13 : Densimètre Fann.**

## **I.7.2 La rhéologie**

### **I.7.2. 1 Matériel de contrôle**



**Fig. I.14 : Rhéomètre Fann 35.**

## **I.7.3 Les caractéristiques à déterminer**

Les caractéristiques à déterminer sont la viscosité plastique et la valeur de la ‘yield value’.

### **I.7.3.1 La viscosité plastique et la yield value**

Ces déterminations se font à l’aide du viscosimètre Fann selon la norme A.P.I qui considère les valeurs des lectures en 600 et 300 tr/min.

$$V_p = \theta 600 - \theta 300$$

$V_p$  : viscosité plastique en (cP)

$\theta 600$  : lecture Fann 600 tr/min

$\theta 300$  : lecture Fann 300 tr/min

$$y_v = \theta 600 - 2(\theta 600 - \theta 300)$$

$y_v$  : yield value

$\theta 600$  : lecture Fann 600 tr/min

$\theta 300$  : lecture Fann 300 tr/min

### I.7.3.2. La filtration

Les phénomènes de la filtration de la boue sont extrêmement importants car ils conditionnent en partie :

- La vitesse d'avancement du forage
- L'envahissement des couches perméables



**Fig. I.15 : Filtre-presse HPHT Fann**

### I.7.3.3. La stabilité électrique d'émulsion

Une émulsion peut être définie comme un système contenant deux phases liquides dont l'une est dispersée dans l'autre sous forme de fines gouttelettes.

On appelle boue émulsionnée une boue dans laquelle l'huile est dispersée dans la phase eau. On la désigne parfois par émulsion directe. Ceci par opposition aux boues à émulsion inverse dans lesquelles l'eau est dispersée dans la phase huile.

EMULVOLT :



**Fig. I.16 :** Emulsion Tester Fann

## I.8 Les fonctions de la boue

L'objectif des opérations de forage est de forer, évaluer, et compléter le puits qui va produire efficacement l'huile ou le gaz.

Le fluide de forage accomplit des nombreuses fonctions qui aident à rendre ça possible, Le cout de la boue de forage peut atteindre 10-15% du cout total du puits, quoique cela puisse sembler cher, les conséquences du non maintien bien des propriétés de la boue peuvent être graves, dont on perd du temps, et de plus elles nécessitent de l'argent pour les faire résoudre. En vue du cout élevé engendré par le non maintien des propriétés de la boue de forage, toute une compagnie de service est chargée de formuler, surveiller, et si nécessaire traiter la boue sur chantier.

L'exécution, le contrôle, et l'amélioration de ces fonctions sont à la responsabilité du boueux, en commun avec ceux qui dirigent les opérations de forage, ces derniers sont chargés de forer le puits en toute sécurité, et le devoir essentiel du boueux est d'assurer que les propriétés de la boue soient correctes durant toutes les phases traversées, pour cela il fait toujours des changements des propriétés de la boue de forage qui aident à atteindre les objectifs de forage.

Les fonctions de la boue de forage décrivent les taches dont cette dernière est capable de les faire, bien que quelques-unes ne soient pas essentielles dans chaque puits, et l'ordre d'importance est déterminé selon les conditions du puits et les objectifs de forage.

Les fonctions les plus courantes et communes sont les suivantes :

### **I.8.1 Le nettoyage du puits**

En tant que les déblais forés sont générés par l'outil de forage, il est nécessaire de les enlever du puits ; pour le faire, alors, la boue de forage est circulée dans le puits à l'intérieur des tiges, puis à travers l'outil de forage, entraînant les déblais en haut de l'annulaire, puis vers la surface.

L'efficacité de nettoyage est en fonction des différents paramètres tels que :

- la taille, la forme, et la densité de déblais.
- la vitesse de rotation des tiges.
- la viscosité et la vitesse annulaire de la boue de forage.

#### **I.8.1.1 L'influence des différents paramètres sur l'efficacité de nettoyage**

##### ➤ **la viscosité**

La viscosité et les autres propriétés rhéologiques de la boue de forage ont un effet significatif sur l'efficacité de nettoyage du puits.

Les déblais ont tendance à se décanter rapidement dans les boues de forage de faible viscosité, (l'eau par exemple), et il est difficile de les faire circuler en dehors du puits.

En générale, les fluides de forage de grande viscosité améliorent le transport des cuttings.

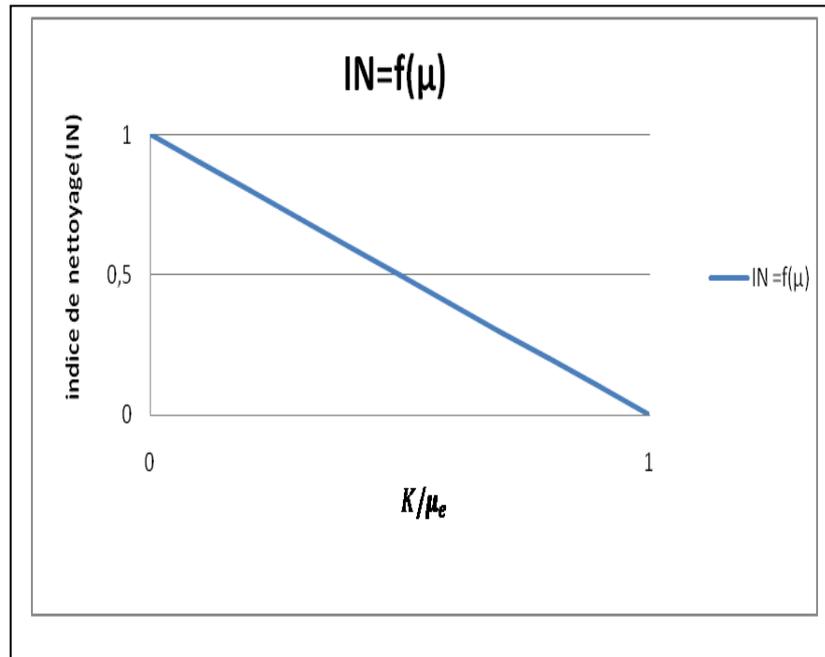
Mathématiquement, la variation du nettoyage en fonction la viscosité de la boue de forage, peut obtenue de la formule de l'indice de nettoyage comme suit :

- si le régime est laminaire

$$IN(fraction) = 1 - K/\mu_e$$

Avec K : est une constante qui dépend de la vitesse annulaire.

$\mu_e$  : viscosité effective (cp)



**Fig I.17** : l'effet de la viscosité sur le nettoyage.

-si le régime est turbulent

En cas où la vitesse dans l'annulaire est très grande (régime turbulent), le sens de la viscosité disparaît avec la destruction des liaisons intermoléculaires, et l'efficacité de nettoyage est en fonction de la vitesse annulaire seulement.

➤ **la vitesse annulaire**

Généralement, une grande vitesse annulaire de la boue de forage améliore le transport des déblais, de plus, avec les fluides fluidifiants, ces grandes vitesses peuvent causer un régime turbulent, qui augmente l'efficacité de nettoyage du puits.

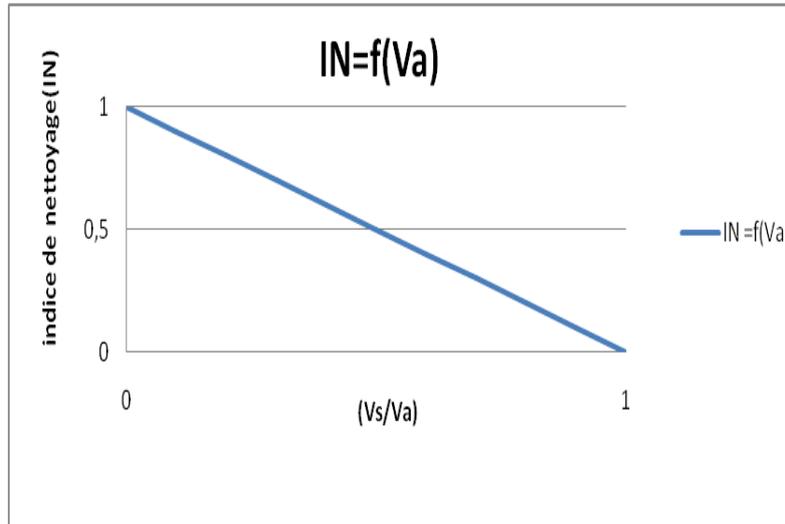
Mathématiquement, à partir de la formule de l'indice de nettoyage, on peut voir clairement l'effet de la vitesse annulaire sur le nettoyage du puits (pour  $V_s = cst$ ) comme suit :

$$IN(fraction) = 1 - \frac{V_s}{V_a}$$

$V_s$  : Vitesse sédimentation (ft/min).

$V_a$  : Vitesse de la remonte des fluides dans l'annulaire (ft/min).

IN : indice de nettoyage.



**Fig I.18** : variation de l'indice de nettoyage en fonction de la vitesse

➤ **la densité**

Le fluide de grande densité améliore le nettoyage du puits par l'augmentation de la poussée d'Archimède sur les déblais, qui les aide à migrer dans l'annulaire vers la surface du puits. En comparaison avec les fluides de faible densité, les fluides de grande densité peuvent nettoyer le puits adéquatement même avec une faible viscosité et vitesse annulaire de la boue de forage.

➤ **la vitesse de rotation des tiges**

Une grande rotation des tiges aide le nettoyage du puits par l'introduction de la composante circulaire dans le sens d'écoulement dans l'annulaire, cet écoulement hélicoïdal autour des tiges de forage va entraîner les déblais proches des parois du puits où les conditions de nettoyage sont pauvres, vers la zone de meilleur nettoyage dans l'annulaire.

### **I.8.2 Maintenir les parois du puits**

Parmi les principales fonctions du fluide de forage, le maintien des parois du puits en raison de la pression hydrostatique exercée par le fluide en écoulement qui a permis aussi de contrôler l'intrusion des fluides des formations poreuses traversées.

Du fait de cette différence de pression, le fluide va filtrer dans les formations perméables et déposer un film sur la paroi appelé "**cake de filtration**". Ce gâteau permet de réduire la perméabilité des parois et d'isoler le fluide de la formation. Le fluide de forage joue donc un rôle déterminant dans la résolution du problème de stabilité des parois du puits par sa densité mais également par sa capacité à former une barrière limitant les transferts de fluides entre l'espace annulaire et la formation.

Donc une pression hydrostatique suffisante et un cake de filtration de bonne qualité assurent le maintien des parois du puits, mais une filtration importante et un cake épais entraînent un certain nombre de problèmes qui peuvent être considérés comme un effet secondaire.

Un cake de filtration épais entraîne :

- ✓ Augmentation des frottements dans le puits.
- ✓ Augmentation de « surge » et « swab pressure » sous l'effet de réduction du diamètre du trou.
- ✓ Risque de coincement par pression différentielle.
- ✓ Difficulté d'effectuer les opérations de cimentation.
- ✓ Difficulté pendant la descente du tubage et risque de coincement.

Une filtration importante peut entraîner les problèmes suivants :

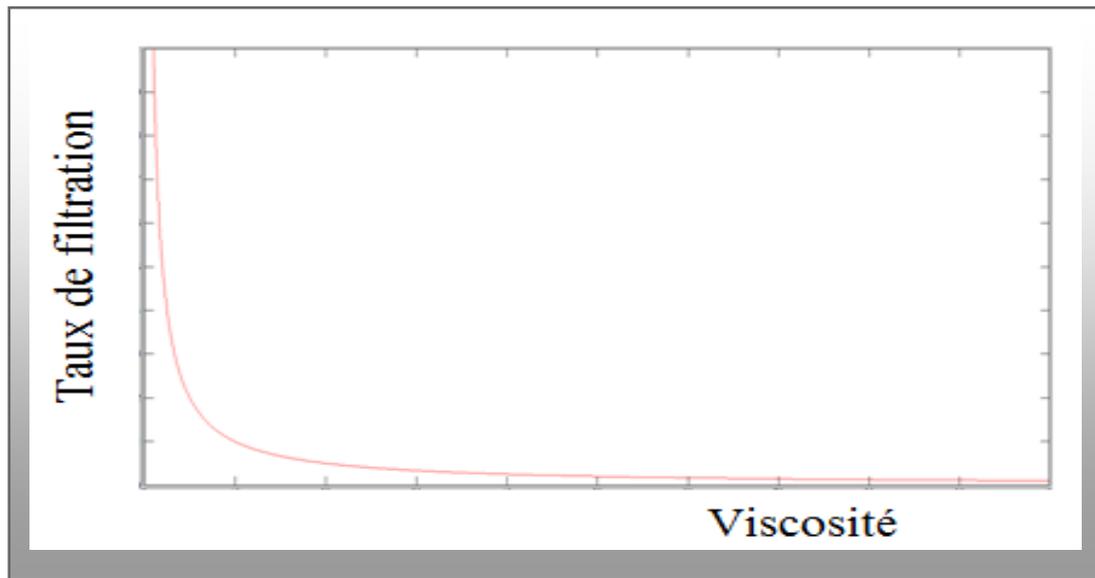
- ✓ L'endommagement de la formation.
- ✓ L'influence sur les résultats des essais des puits.
- ✓ L'influence sur les résultats des opérations électriques.

Connaissant ces problèmes, il est indispensable de contrôler la filtration des fluides de forage en agissant sur leurs propriétés rhéologiques et choisir un compromis de telle manière à assurer la stabilité des parois du puits et éviter les problèmes causés par la filtration importante.

- **L'effet de la viscosité et de la vitesse annulaire sur le maintien des parois**
- **La viscosité**

La viscosité a une influence indirecte sur le maintien des parois de telle manière à affecter le taux de filtration, qui influe par son tour sur le maintien des parois du puits par la disposition du cake, la relation qui lie le taux de filtration avec la viscosité est l'équation de Darcy .

L'équation de Darcy est représentée par le graphe ci-dessous :



**Fig I.19** : variation de taux de filtration en fonction de la viscosité.

**Interprétation du graphe** : on constate du graphe que le taux de filtration décroît avec l'augmentation de la viscosité de la boue de forage, donc plus que la viscosité est élevée plus que le taux de filtration est petit ce qui peut affecter le maintien des parois du puits.

➤ **La vitesse annulaire**

Comme on a dit, dans les conditions dynamique de la boue de forage, le débit de la boue faire éroder le cake disposé, et plus que la vitesse annulaire est importante plus que son érosion est efficace ce qui peut affecter le maintien des parois du puits.

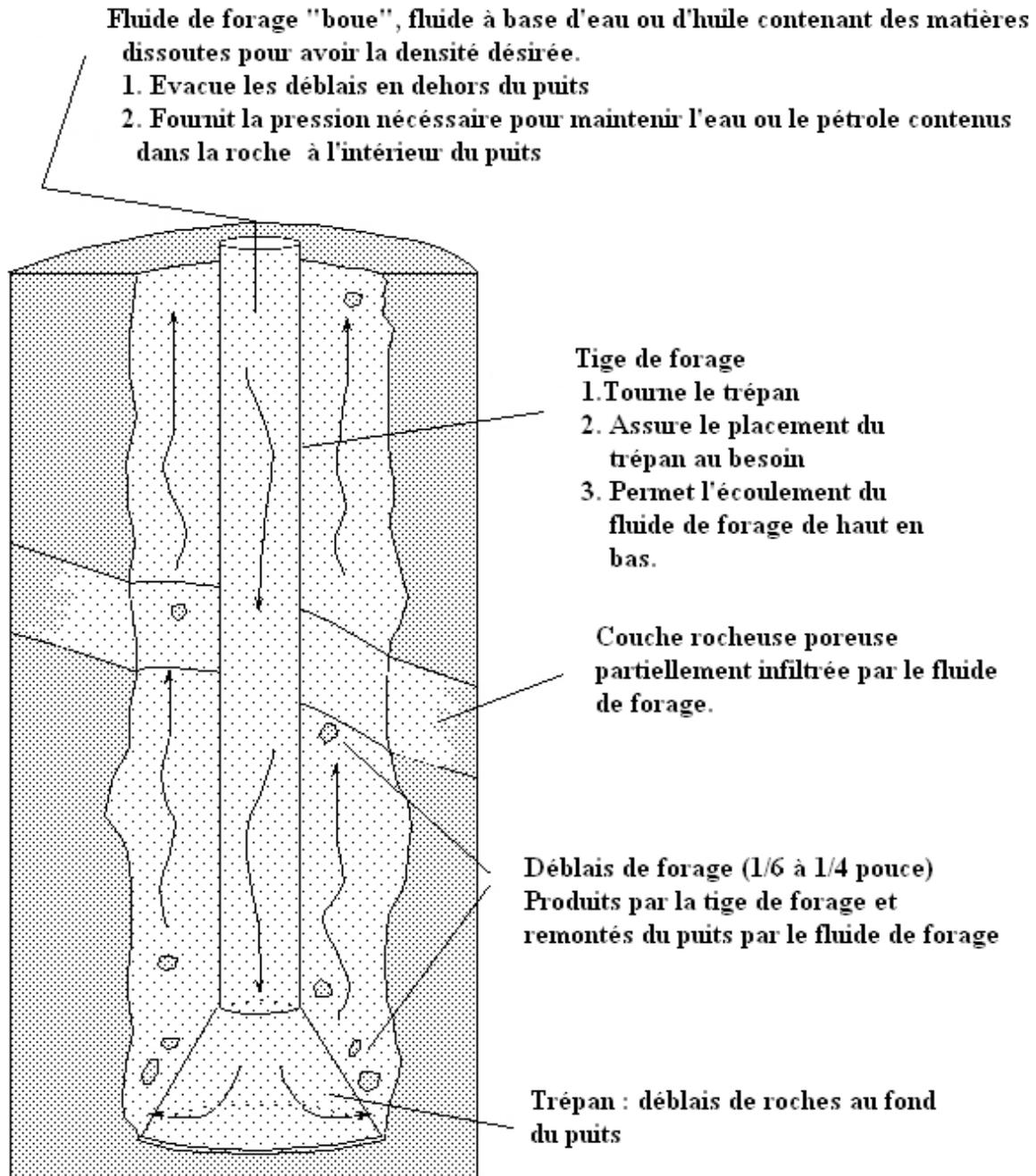
Donc, grâce à tout ce qu'on a dit, on peut conclure que chaque paramètre a des effets premiers et des autres secondaires ce qui nécessite le choix d'un compromis de telle manière à obtenir les effets voulus et empêcher les effets indésirables.

### **I.8.3 Suspension des déblais pendant l'arrêt des pompes**

La sédimentation des déblais forés pendant l'arrêt des pompes peut provoquer plusieurs problèmes tels-que les coincements, le bourrage de l'outil de forage, ainsi perte du temps pendant le re-forage de ces déblais. etc

La propriété du fluide de forage qui assure la suspension de ces déblais pendant les conditions statique.

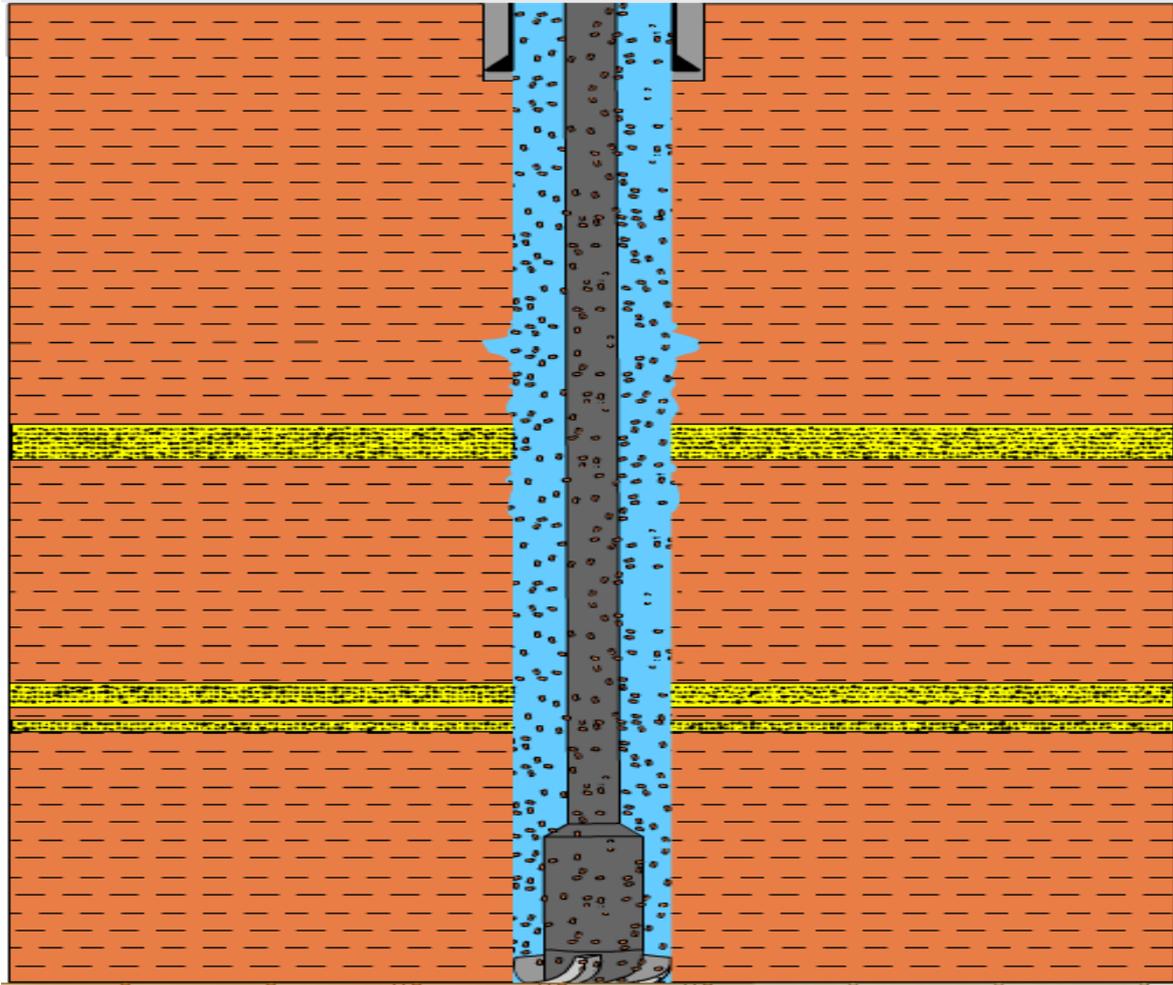
Donc les boues de forage doit avoir des gels adéquats pour éviter les problèmes causés par la sédimentation des déblais dans ces conditions et aussi pour éviter certaines complications comme les surpressions après le manœuvre, la réduction de l'efficacité de traitement des solides et l'augmentation de risque de pistonnage dans le puits pendant le manœuvre dus par un gel excessif [8].



**Fig. I.20 :** Remonté des déblais dans l'espace annulaire

## I.9 Différents problèmes résultant au mauvais nettoyage du puits

Les problèmes liés au mauvais nettoyage du puits sont de plusieurs ordres, les plus importants :



**Fig. I.21 :** L'écoulement de boue dans l'espace annulaire.

### I.9.1 Augmentation des torques, drags et tirage encore de remonté

Le torque est la résistance à la rotation de la garniture de forage, et le drag est la résistance à la remontée ou à la descente de la garniture de forage.

Le mauvais nettoyage joue un rôle primordial dans l'augmentation des torques et drags pendant le forage des puits. Ces pertes de tractions et de rotation sont dues aux accumulations des déblais dans les différentes sections du puits. de fait, leur persévérance causera la fatigue des éléments de la garniture, d'où d'important risque de rupture.

### I.9.2 Difficultés de mouvement de la garniture et risque de coincement

L'accumulation des déblais dans le trou peut augmenter les paramètres rhéologiques et physiques de la boue de forage (viscosité, densité,...). Ceci aura pour conséquence

une augmentation des forces de frottement pouvant conduire au collage par pression différentielle. Cette difficulté de maniabilité de la garniture aura pour conséquence un découlement très lent des opérations de manœuvres

### **I.9.3 Instabilité du puits et pertes de circulation**

En plus de la pression hydrostatique de la colonne de boue, la descente et la remontée de la garniture créent une surpression et dépression peuvent conduire à des fracturations des formations fragiles et la pénétration des déblais de dimensions assez réduites dans les pores. Il s'en suivra un colmatage des pores et une réduction de la productivité du puits. Ces pertes sont d'autant plus importantes que les caractéristiques rhéologiques de la boue sont modifiées par la teneur en solides. La densité de la boue est un facteur majeur pour le contrôle du puits, en général, plus l'inclinaison du puits augmente, plus la densité de la boue à exiger pour stabiliser les parois augmente. Il devrait être noté que pour les puits fortement déviés il y a une convergence entre le gradient de fracturation et l'ECD (Equivalent circulating density).

### **I.9.4. Les mauvaises cimentations**

Pendant la descente du casing, l'accumulation des déblais peut créer des frottements excessifs et empêcher d'atteindre le fond. Pendant la cimentation, le lit de déblais s'opposera d'une part à la rotation du tubage, et créera un canal des solides dans l'enveloppe de ciment, nuisant ainsi à l'étanchéité et la résistance à la compression de l'ensemble.

### **I.9.5 Difficultés de contrôle du puits**

Lors des venues, une augmentation significative de pression annulaire est liée aux forces de friction, donc la quantité des déblais dans la boue. Un mauvais nettoyage peut conduire à une usure rapide de la duse hydraulique au cours de contrôle de venue.

### **I.9.6 Bourrage de l'outil**

Il est important de limiter la concentration des déblais dans l'espace annulaire. Quand les grands volumes des particules solides ou des déblais sont produits dans un volume spécifique de boue de forage, ces déblais adhèrent, rassemblent et s'accrochent aux surfaces du métal de l'outil et BHA. Si ces déblais ne sont pas enlevés rapidement de la surface de l'outil, l'attraction électrochimique des argiles pour le métal causera le bourrage de l'outil.

Les hautes concentrations des solides contenant dans la boue des déblais forés mènent au bourrage de l'outil, qui est fonction de la composition de la boue, du ROP et du taux de débit.

La pénétration excessive relative aux taux de débit réduit, peut créer une concentration massive de solides réactif dans l'annulaire. Par conséquent, lors du forage de la formation argileuse, la basse concentration des solides dans la boue devrait être maintenue aussi basse que possible (5% en volume ou moins) [18].



**Fig. I.22 :** bourrage de l'outil à cause de mauvaise nettoyage.

## II.1 Introduction

Dans le domaine du forage pétrolier, le fluide de forage (boue de forage) a un rôle important pour réaliser les opérations du forage, telle que le transfert de la boue à partir de la surface vers l'outil de forage (Trépan). Elle provoque une chute de pression au niveau de l'outil de forage qui l'augmentation du taux de pénétration. Une partie de l'énergie de fluide est utilisée pour balayer et nettoyer le secteur devant l'outil de forage et éviter le bouchage de l'outil de forage par les déblais. Afin que le fluide de forage peut exécuter ses fonctions (transport des déblais à la surface du puits hors du trou), il faut que les pompes à boue soit capable de prévaloir les pertes de charge (pression losses) dans le canal d'écoulement et, par conséquent, de transporter les déblais hors du trou. Les pertes de charge dans l'annulaire dépend de la pression exercée au fond du puits ( $P_{\text{fond}}=P_{\text{ha}}+P_c$ ).

Le mauvais nettoyage du trou et le mauvais contrôle de ces pertes de charge et les caractéristiques rhéologiques de la boue peut provoquer un problème sur les parois du puits par l'enlèvement du cake à cause du régime d'écoulement turbulent. Elle peut provoquer aussi une instabilité des parois du puits, des fracturations dans le découvert et une perte de circulation. Comme aussi l'accumulation des déblais se développe et peut causer des problèmes tels que le couple élevé, les frottements et même le coincement de la garniture de forage.

Le but de cette partie est de présenter la méthode proposée pour déterminer la nature rhéologique des fluides, les équations les procédures de calcul utilisées pour analyser les résultats hydrodynamiques, ainsi définir les conditions principales qui donnent un bon nettoyage de l'espace annulaire dans la phase 12<sup>1/4</sup>.

## II.2 Rhéologie des fluides newtoniens ou non-newtoniens

### II.2.1 La Rhéologie

Est la science qui étudie la déformation des matériaux (cas des solides) ou leur écoulement (cas des liquides) sous l'effet d'une contrainte.

Une force appliquée à un corps lui fait subir une déformation. Pour un fluide, l'action d'une force donne un écoulement [8].

#### ➤ Un modèle rhéologique

Est une description du rapport entre l'effort de cisaillement expérimenté par le fluide et le taux de cisaillement.

**II.2.1.1 Fluide Newtonien**

- C'est la classe la plus simple des fluides représentée par (l'eau, l'eau de mer, gas-oil...), Pour un fluide newtonien, le rapport de l'effort de cisaillement au taux de cisaillement est une constante. Cette constante est la viscosité ( $\mu$ ) du fluide. Ainsi l'équation décrivant la rhéologie d'un fluide newtonien peut être écrite comme suit [3] :

$$\mu = \tau/\gamma \qquad \mu = \tau/\gamma \qquad (II.1)$$

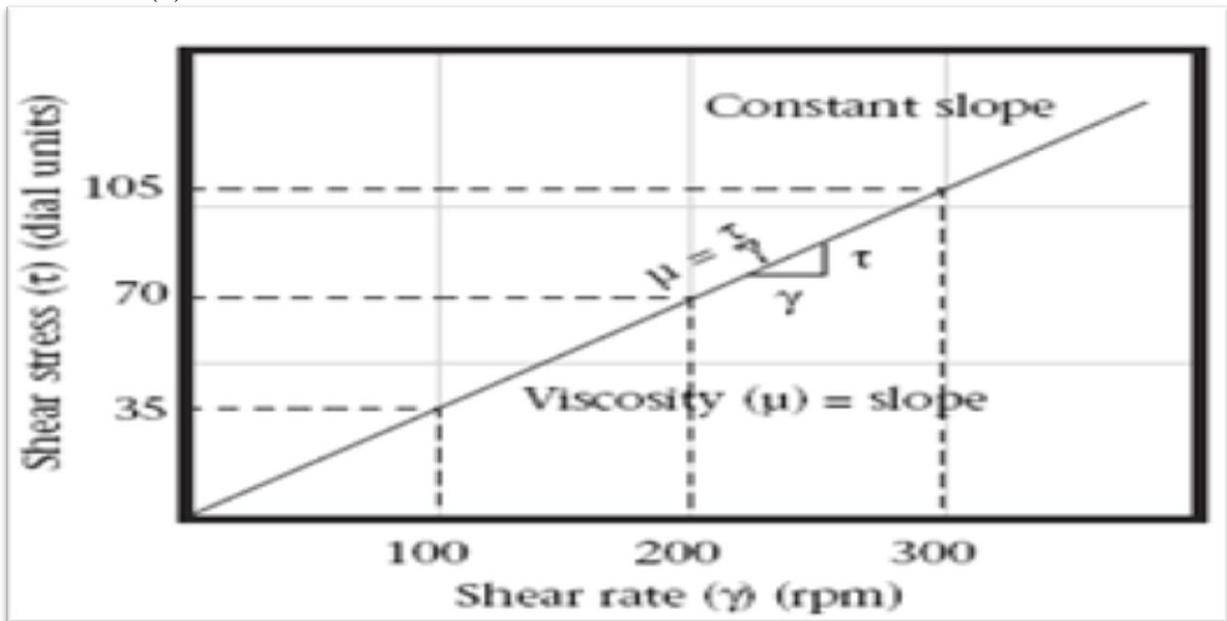
Avec

$\mu$ = viscosité, poise (dyne – sec/cm<sup>2</sup>),.

$\tau$ = effort de cisaillement shear stress (force/area) (dynes/ cm<sup>2</sup>)

$\gamma$ = taux de cisaillement shear rate (sec<sup>-1</sup>).

L'équation s'appelle la loi de Newton's de la viscosité. Tous les gaz à la température et à la pression ambiantes et la plupart des fluides simples (comme l'eau) montrent le comportement newtonien.(1)



**Fig. II.1 :** Courbe Caractéristique du fluide.

Les fluides qui ne suivent pas la loi de newton de la viscosité se nomment non-Newtonien. Le comportement d'écoulement des fluides non-Newtoniens est beaucoup plus complexe que les fluides newtoniens.

### II.2.1.2 Non-Newtoniens

#### ➤ **Fluide Binghamien**

À cause de sa simplicité, le modèle le plus généralement employé pour décrire les propriétés rhéologiques des fluides de forage est le modèle de plastique de Bingham.

Pour ces fluides la tension de cisaillement varie linéairement avec le taux de cisaillement, mais à la différence entre un fluide newtonien et un fluide Binghamien, ce dernier nécessite d'appliquer une force minimale pour mettre le fluide en mouvement, celle-ci correspond au yield point (value) **YP**. L'équation décrivant la rhéologie d'un fluide Binghamien peut être écrite comme :

$$\tau = YP + PV (\gamma) \quad (\text{II } 2)$$

Avec

$\tau$  = effort de cisaillement shear stress (force/area) (dynes/ cm<sup>2</sup>)

$\gamma$  = taux de cisaillement shear rate (sec<sup>-1</sup>).

YP = yield point, (lbf /100 ft<sup>2</sup>)

PV = plastic viscosity,(cp). (centipoise, 1/100Poise).

Le PV et le YP sont calculés à partir des données concentriques conventionnelles de viscosimètre prises à 600 et 300 tr/mn (rpm : rotation par minute) avec les équations suivantes :

$$PV = \theta_{600} - \theta_{300} \quad (\text{II. } 3)$$

$$YP = \theta_{300} - PV = \tau_0$$

Avec

( $\theta_{300}$  = Lecture: 300 rpm)

( $\theta_{600}$  = Lecture: 600 rpm)

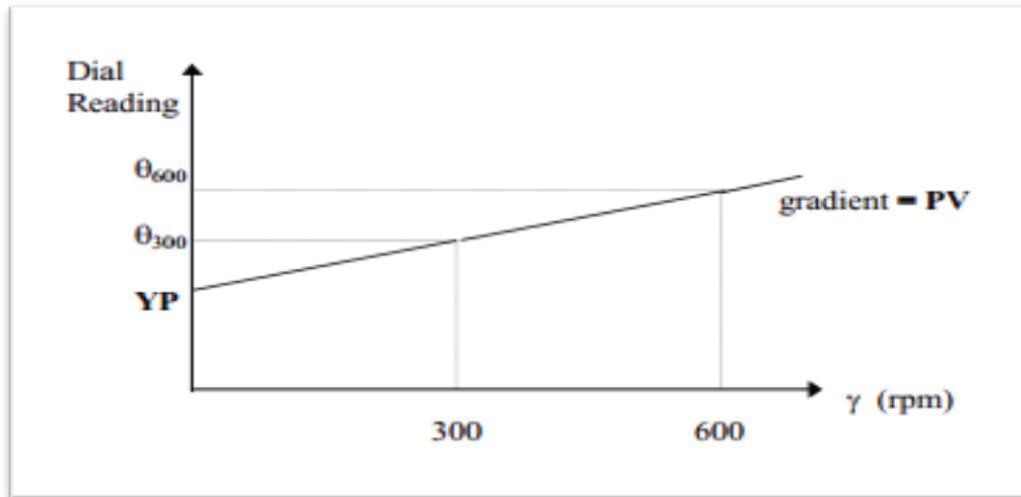


Fig. .II.2 : courbe Caractéristique du fluide.

Le comportement du model binghamien peut représenter par quelque fluide comme La boue de bentonite, Ciment de classe G et Pétrole de faible densité. Un fluide typique de Bingham avoir une viscosité élevée mais aucune force de gel [8].

### II.3 Le rôle principal

Après la connaissance du model rhéologique de fluide de forage on va détermine quelques Variables peuvent effectues a le nettoyage de puits :

Principalement la vitesse annulaire ; puisque l'écoulement turbulent ici provoque des problèmes associés à l'érosion de trou, des dommages aux déblais et du l'enlèvement du cake de filtration.

Pour obtenir bon nettoyage de puits toujours recherchera la vitesse annulaire suffisante affectif pour soulever et enlever les déblais, mais dans un régime d'écoulement laminaire de sorte que les dommages soient minimaux. Mais pour la zone de l'espace annulaire entre les masses tiges et découvert le régime turbulent ou transitoire fait un bon nettoyage. L'écoulement turbulent se développera à des vitesses liquides plus élevées Pour cette raison, L'écoulement turbulent est réellement plus efficace dans le déplacement de déblais. Mais les inconvénients sont supérieurs à ces avantages. L'écoulement laminaire sera toujours exigé pour réduire au minimum des dommages de trou et pour maintenir des pertes de charge (pression) basses [3].

#### II.3.1 Notions sur les régimes d'écoulements (Laminaire, Transitoire, Turbulent)

Le type de régime d'écoulement sera déterminé par la vitesse liquide, les diamètres annulaires et les caractéristiques de la boue et le type rhéologique de fluide.

Généralement plus la vitesse liquide soit inférieure et plus le diamètre annulaire est grand, plus probablement l'écoulement est d'être laminaire.

Le régime d'écoulement turbulent est plus probable quand la vitesse liquide est élevée et quand il y a un petit enlèvement des déblais autour de la section de masse tige et annulaire.

### II.3.1.1 Régime Laminaire

Le régime d'écoulement régulier (stable) sera montré avec les couches liquides voyageant dans les lignes droites parallèles à l'axe. La vitesse augmentera vers le centre du jet.

L'écoulement laminaire se développera à partir de basses vitesses liquides. Il y a seulement la composante de vitesse liquide longitudinale.

La résistance au cisaillement est provoquée par action de glissement seulement

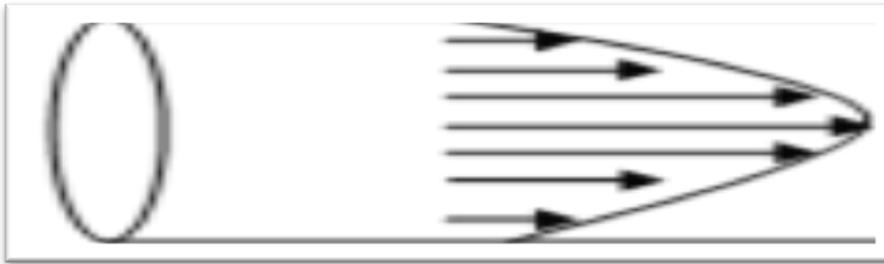


Fig. II. 3 : Régime laminaire

### II.3.1.2 Régime turbulent

Le régime d'écoulement est aléatoire dans le temps et l'espace, avec le mouvement chaotique et désordonné des particules liquides.

Ceci produit deux composants de vitesse - longitudinaux et transversaux.

Les résistances au cisaillement actuelles soit plus grandes que dans l'écoulement laminaire.

L'écoulement turbulent se développera à des vitesses liquides plus élevées avec le profil final de vitesse tendant à être raisonnablement uniforme malgré les particules sont chaotiques. Pour cette raison, l'écoulement turbulent est réellement plus affectif dans le déplacement de déblais, mais ces inconvénients sont supérieurs à ces avantages.

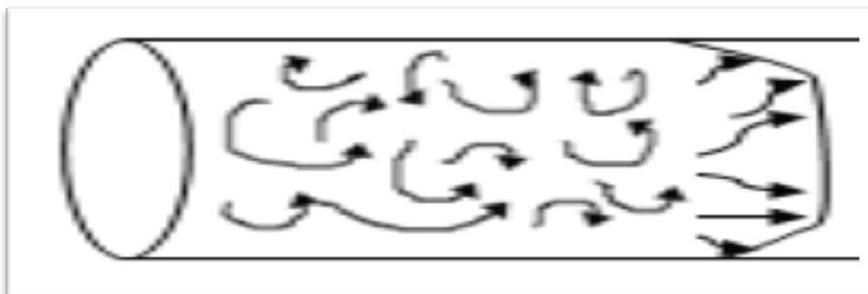


Fig. II. 4 : Régime turbulent.

### Inconvénients

Érosion des déblais, de cette façon les propriétés interprétatives détruire.

- La possibilité d'érosion du trou.
- Augmentation des pertes de charge causée par les forces de frottement élevées.
- Enlèvement du cake.

### Avantage

L'avantage d'écoulement turbulent est en cimentation - aidant à faire sortir cake de boue posé sur les parois du puits, et permettant au ciment d'entrer en contact avec les surfaces des parois.

#### II.3.1.3 Régime transitoire

En réalité, il n'y a pas un changement instantané de l'écoulement laminaire vers l'écoulement turbulent, au cours de l'augmentation de la vitesse. Il y aura évidemment une période de transition où l'écoulement change d'un en autre [8].

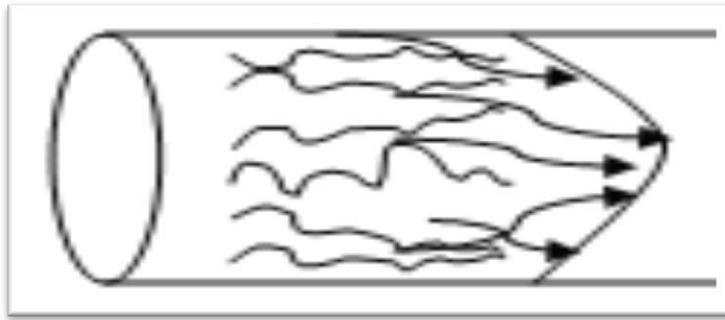


Fig. II .5 : Régime transitoire.

#### II.3.2 Détermination du régime d'écoulement

Il est nécessaire de connaître le type du régime d'écoulement, non seulement pour leur effet physique mais pour calcule aussi les pertes de charge dans l'annulaire et à l'intérieur des tiges, c'est une partie très importante de l'analyse hydraulique.

La vitesse du liquide, diamètre annulaire, diamètre extérieur et intérieur des tiges plus la densité et la viscosité de la boue sont les variables utilisé pour détermine le régime d'écoulement.

#### ❖ Nombre Reynolds

Le passage d'un régime à un autre est une fonction des caractéristiques du fluide et du débit, et pour déterminer le régime d'écoulement, On calcule un nombre numérique et sans

dimensions appelé le nombre de Reynolds ( $Re$ ); ce qui représente type de l'écoulement laminaire ou turbulent, L'expression du nombre Reynolds Pour un fluide Binghamien [6]:

Dans l'annulaire

$$Re_e = \frac{15,47 \cdot (D_2 - D_1) \cdot V_a \cdot d}{\mu_e} \quad (\text{II } 5)$$

Dans l'intérieur des tiges

$$Re = \frac{15,47 \cdot D_{int} \cdot V_t \cdot d}{\mu_e} \quad (\text{II } 6)$$

### II.3.2.1 Les conditions de connaissance du régime d'écoulement

On fait la comparaison entre le nombre Reynolds calculé et le nombre de Reynolds critique pour connaître le régime d'écoulement

- Pour les fluides Binghamiens Le nombre Reynolds critique égale  $Re_c=2100$  donc

Si  $Re < 2100$  régime d'écoulement laminaire

Si  $Re > 2100$  régime d'écoulement turbulent [5].

## II.4 Notion de perte de charge

Dans une conduite tout fluide en mouvement perd une partie de son énergie par dissipation en forces de frottements:

- frottements internes au fluide dus à sa viscosité.
- frottements externes dus à la rugosité des parois de la conduite.

Cette perte d'énergie est appelée perte de charge, elle s'exprime par la différence de pression du fluide entre deux points de la conduite.

Répartition des pertes de charge dans le circuit de forage :

- Pertes de charge dans les conduites de surface
- pertes de charges à l'intérieur de la garniture
  - . Intérieur des tiges (Drill pipe).
  - . Intérieur des Tiges lourds (Heavy weight Drill pipe).
  - . Intérieur des masses tiges (Drill collar).
- Autres Equipement.
- Pertes de charges à travers les duses de l'outil
- Pertes de charge dans l'espace annulaire

Les pertes de charge intérieur sont représentées par:

$$Pc_{int} = Pc_s + Pc_{DP} + Pc_{DC} + Pc_{outil} \quad (II\ 7)$$

Les pertes de charge annulaire sont représentées par :

$$Pc_{ann} = Pc_{EA} + Pc_{duse} \quad (II\ 8)$$

### II.4.1 Notion de la Viscosité d'un fluide

Contrôle grandeur de l'effort de cisaillement qui se développe pendant qu'une couche de fluide glisse au-dessus des autres. C'est une mesure du frottement entre les couches liquide

La viscosité représente la résistance du fluide contre l'écoulement, elle diminuera avec l'augmentation de la température.

#### II.4.1.1 La viscosité plastique

Plus simplement, c'est le rapport entre l'effort de cisaillement et taux de cisaillement pendant le mouvement du liquide ;c'est la pente de la ligne droite qui passe par  $\Theta_{600}$  et  $\Theta_{300}$ .

## II.5 L'analyse hydraulique

L'objectif d'une analyse de l'hydraulique est d'évaluer les effets de la viscosité du fluide de forage sur certains paramètres de forage critiques.

### II.5.1 Les paramètres suivants sont déterminés dans l'analyse

1. Déterminant les pertes de charge dans l'annulaire de pour trouver la valeur de densité équivalente de circulation(ECD),  
ECD est importante pour la prévention contre la perte de circulation provoquée par la densité.
2. Optimiser les variables hydraulique de la boue pour obtenir un bon avancement du forage (exp: augmenté ROP).
3. Assurant le bon nettoyage du trou.
4. La prévention contre l'érosion des parois du puits par le régime d'écoulement turbulent.
5. Evite le problème de dépression causé par le tirage des tiges hors du trou (swabbing).
6. La prévention contre la perte de circulation causé par l'effet de surpression (surging) [8].

#### Les étapes de l'analyse

- 1- Décris la Géométrie du puits.
- 2- Détermine par calcule la chute de pression total (Perte de charge) dans l'annulaire on utilisant les propriétés du fluide de forage, le débit de pompage, et la géométrie du puits.

- 3- Détermine par calcul la densité équivalente de circulation (ECD).
- 4- Détermine par calcul le débit critique et la vitesse critique autour du masse tige.
- 5- Détermine par calcul l'efficacité du transport des déblais et leurs concentration dans l'annuaire.
- 6- Détermine par calcul les pertes de charge dans les tiges.
- 7- Déterminé et optimisé les paramètres hydrauliques au niveau de l'outil de forage.

## II.6 Description du puits RDOM-1

Rhourde Ouled Messaoud-1(RDOM-1) est situé dans le champ Amguide Messaoud (Bloc 433). Est un puits vertical ; TD à 4300m dans 46.96 jours. Puits d'exploration, ordre objective de investigation potentiels des réservoirs hydrocarbure; T2+T1, SI, Grés d'ouargla et Q.hamra [10].

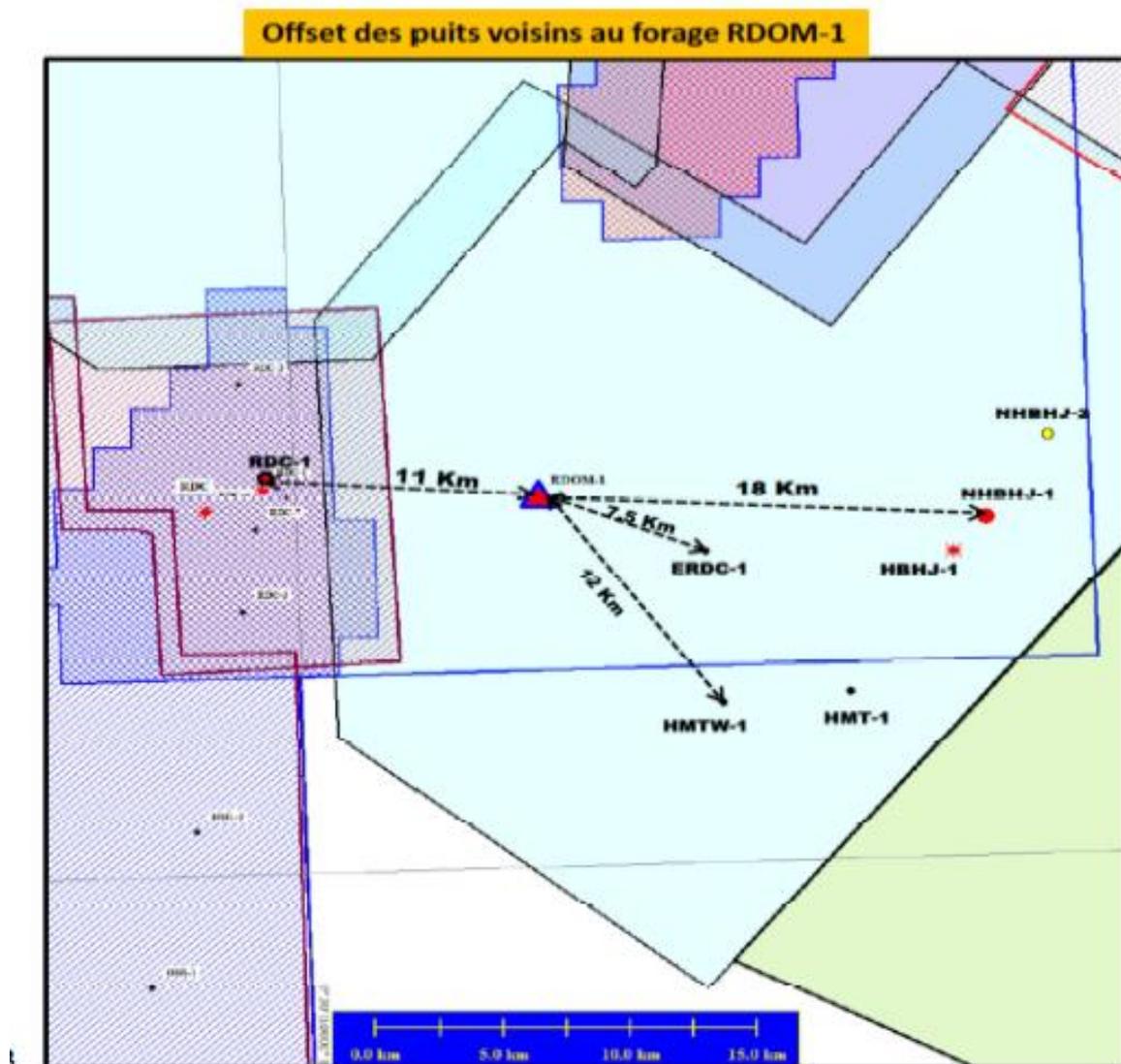


Fig II .5 : Localisation de RDOM-1puits

### II.6.1 Lithologie

#### 1.5 Architecture Graphic

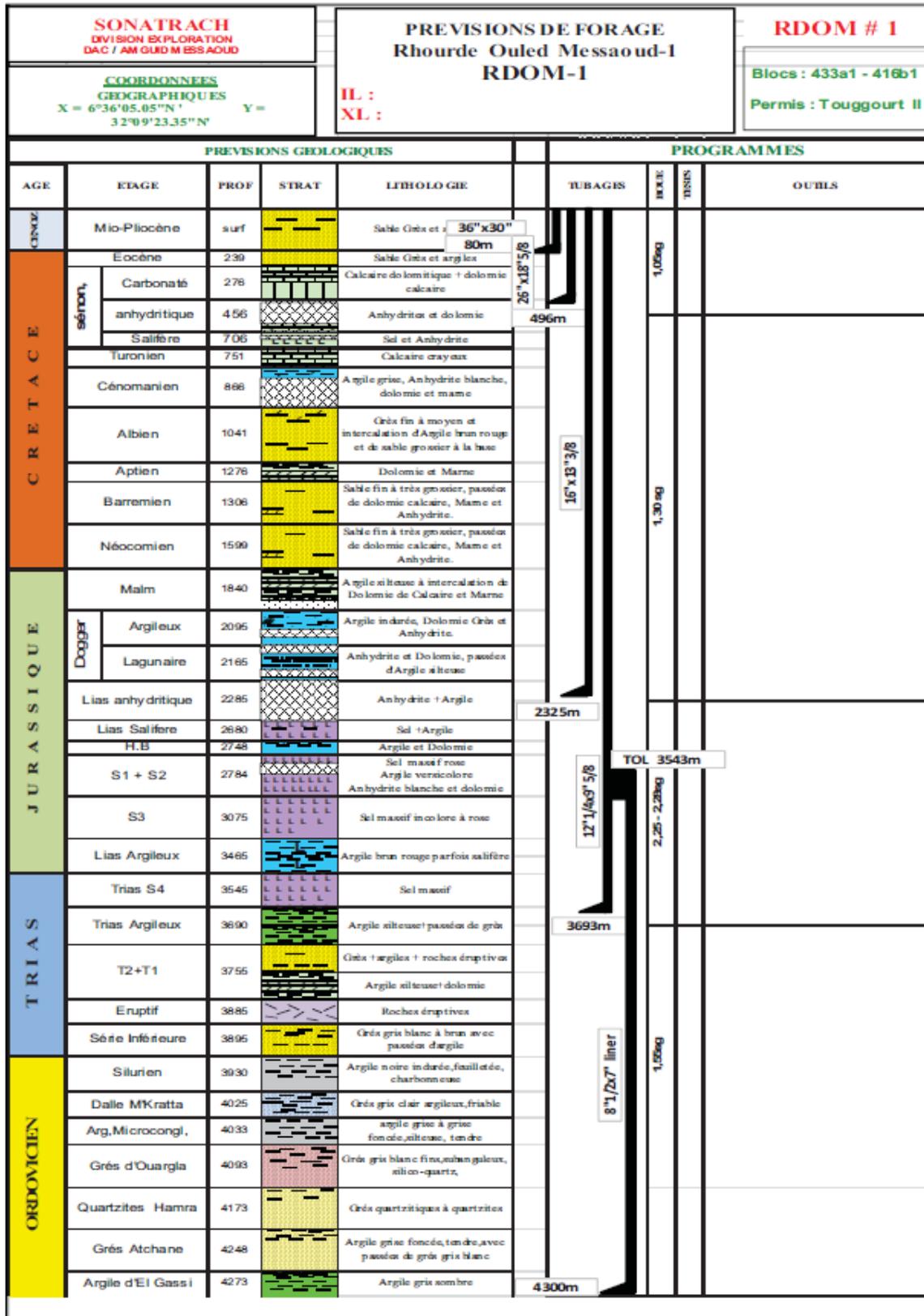


Fig.II .6 : Coupe litho-stratigraphique et différentes phases de forage.

### II.6.3 Programme de Boue

Pour un forage pétrolier, le but technique sera de conseiller au foreur l'utilisation d'une boue ayant les caractéristiques suffisantes à la bonne marche du forage et facilement adaptables aux circonstances. Le programme de boue de forage est un document indispensable à préparer avant l'entamer le forage proprement dit, pour chaque phase de forage [11].

<u>Drilling Fluids Properties</u>					
Interval Properties	36"	26"	16"	12 ¼"	8 ½"
Mud type	Spud Mud	Spud Mud	OBM INVERMUL	OBM INVERMUL	OBM INVERMUL
Density SG	1.05	1.05	1.30	2.25 – 2.28	1.55
Yield Value lb / 100 ft <sup>2</sup>	45 - 55	45 - 55	18 - 24	08 - 12	10 - 12
API Fluid Loss cc's / 30 min	NC +/- 20	NC +/- 20	-	-	-
HPHT @ 200F & 500 PSI	-	-	<10	<10	-
HPHT @ 250F & 500 PSI	-	-	-	-	<4
Pom	-	-	3 - 4	3 - 4	2 - 2.5
MBT kg/m <sup>3</sup>	80 - 100	80 - 100	-	-	-
PH	11 - 12	11 - 12	-	-	-
LGS %	<5	<5	<5	<5	<4
Oil / Water	-	-	70/30 – 85/15	90/10	95/5
Electrical Stability	-	-	>600	>1000	>1000

**Fig. II .7 :** Programme de boue.

### III.1 L'analyse hydraulique du model rhéologique binghamien

#### III.1.1 Les étapes de calcul dans l'annulaire

**1<sup>ère</sup>** : Décrire la géométrie du puits :

- Diamètre de la partie découvert du puits.
- Les diamètres intérieurs du toutes le tubage du puits (casing).
- Les diamètres intérieurs et extérieurs de la ligne des tiges (drill string).

**2<sup>ème</sup>** : Calcul la vitesse du premier intervalle géométrique [12,13] :

$V_a$  = Vitesse du fluide dans l'annulaire (ft/min).

$Q$  = Débit volumique du pompage (gal/min).

$D_2$  = diamètre du trou ou tubage (in.).

$D_1$  = diamètre extérieur de l'élément du Drill string (in.).

$$V_a = \frac{24,5 \cdot Q}{D_2^2 - D_1^2} \quad (\text{III } 1)$$

**3<sup>ème</sup>** : Calcul la valeur du YP et PV

YP = yield point, (lbf /100 ft<sup>2</sup>).

PV = plastic viscosity,(cp). (centipoise, 1/100Poise).

$\theta_{300}$  = Lecture :300 rpm dial reading.

$\theta_{600}$  = Lecture: 600 rpm dial reading.

D'après les equations (III 3) et (III 4):

$$PV = \theta_{600} - \theta_{300}$$

$$YP = \theta_{300} - PV$$

**4<sup>ème</sup>** : Calcule de la viscosité effective dans l'annulaire

$$\mu_e = PV + \frac{300 \cdot (D_2 - D_1) \cdot YP}{V_a} \quad (\text{III } 2)$$

$\mu_e$  : viscosité effective dans l'annulaire (cp).

**5<sup>ème</sup>** : Calcul du nombre de Reynolds, après l'équation (II 5) :

$$R_e = \frac{15,47 \cdot (D_2 - D_1) \cdot V_a \cdot d}{\mu_e}$$

$R_e$  : Nombre reynolds (sans dimension).

$d$  : Densité du fluide (ppg)

**6<sup>ème</sup>** : Déterminer le régime d'écoulement et calculer Facteur de friction

Si  $R_e < 2100 \implies$  régime laminaire

$$F_e = \frac{24}{R_e} \quad (\text{III } 3)$$

Si  $R_e > 2100 \implies$  régime turbulent

$$F_e = \frac{a}{R_e^b} \quad (\text{III } 4)$$

$$a = \frac{3,93 + \log n}{50} \quad (\text{III } 5)$$

$$b = \frac{1,75 - \log n}{7} \quad (\text{III } 6)$$

$$n = 3.32 \log \frac{\theta_{600}}{\theta_{300}}$$

**7<sup>eme</sup>**: Calcul les pertes de charge [13]

Pour régime laminaire

$$P_c = \frac{L \cdot Q \cdot PV}{408,60 \cdot (D_2 - D_1)^3 \cdot (D_2 + D_1)} + \frac{YP \cdot L}{13,26 \cdot (D_2 - D_1)} \quad (\text{III } 7)$$

Pour régime turbulent

$$P_c = \frac{L \cdot Q^{1,8} \cdot PV^{0,2} \cdot d^{0,8}}{709,96 \cdot (D_2 - D_1)^3 \cdot (D_2 + D_1)^{1,8}} \quad (\text{III } 8)$$

$P_c$ : perte de charge (Kpa).

$L$ : Longueur de l'intervalle (m).

$Q$ : Débit volumique de pompage (l/min).

$D_2$ : diamètre du trou ou tubage (in.).

$D_1$ : diamètre extérieur de l'élément du tige (in.).

$d$ : densité (kg/l).

1 Kpa=0,145 Psi

1Kpa=0,01 Bar

**8<sup>eme</sup>**: Répéter les étapes de calcul pour chaque intervalle géométrique.

**9<sup>eme</sup>**: Calcul de la perte de charge Total dans l'annulaire

C'est la somme de toute des pertes pour chaque intervalle

$$P_{ct} = \sum P_c \quad (\text{III } 9)$$

**10<sup>eme</sup>**: A partir de la perte de charge totale on calcule ECD

$$ECD = \frac{P_{ct}}{0,052 \cdot TVD} + d \quad (\text{III } 10)$$

ECD : equivalent circulati

TVD : Profondeur étudiée Depth (ft).

$P_{ct}$  : perte de charge total (Psi)

**11<sup>eme</sup>**: Calcul de la vitesse critique et Débit critique

$$V_c = \frac{2100 \cdot \mu_e}{15,47 \cdot (D_2 - D_1) \cdot d} \quad (\text{III } 11)$$

$$Q_c = \frac{V_c \cdot (D_2^2 - D_1^2)}{24,5} \quad (\text{III } 12)$$

D'après la géométrie du puits les dimensions de la phase 12<sup>1/4</sup> sont :

Annulaire		
Section et élément	L ( m )	OD-ID(in)
Csg 13"3/8-68# & DP 5" G105	2424	7,415
OH 12"1/4 & DP 5" G105	941,37	7,25
OH 12"1/4 & HWDP 5"	55,98	7,25
OH 12"1/4 & DC 8"	113	4,25
OH 12"1/4 & DC 9 1/2"	27,65	2,75
Bit	0.39	12.25

**Tableau 1** : Dimensions des différentes sections

Csg 13"3/8 : (casing ) tubage 13.375 in.

OH 12"1/4 : (open hole) trou de diamètre 12.25in.

DP 5" : (drill pipe) tige de forage de diamètre 5in.

HWDP 5" : ( heavy weght drill pipe) tige lourde diamètre 5in.

DC 8" : (drill collar) masse tige diamètre 8in.

DC 9 1/2" :(drill collar) masse tige diamètre 9.5in.

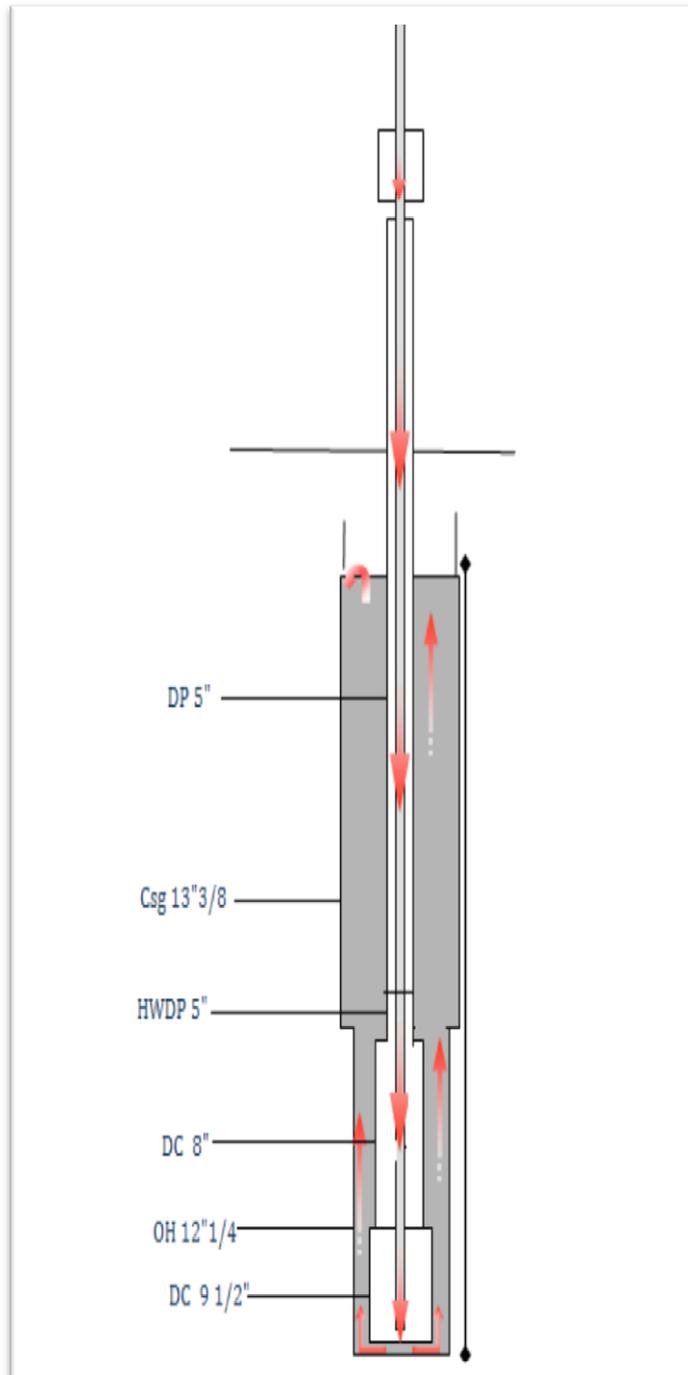


Fig. III .1 : profile de puits phase 12<sup>1/4</sup>

Phase	12,25 in	Profondeur	3562 m
Fann		Densité de la boue de circulation ( s.g )	2,28
Vitesse (tr/mn)	Lecture	Débit de circulation ( l/mn )	2400
Lecture	600	Gel 10 sec. (lbs/100ft <sup>2</sup> )	12
	300	Gel 10 min. (lbs/100ft <sup>2</sup> )	14
	200	Plastic viscosity PV (Cp)	33
	100	Yield Point YP (lb/100ft <sup>2</sup> )	12
	6	n l'indice de comportement rhéologique	0,7930885
	3	K coefficient de consistance (lb/100ft <sup>2</sup> )	0,34148
Modèle rhéologique		de Bingham	

Tableau 2 : Paramètres de la boue de forage [21].

### III.1.2 Les étapes de calcul à l'intérieur des tiges

1<sup>ere</sup> :

Décris la Géométrie des tiges : les diamètres intérieurs et extérieurs de la ligne des tiges.

2<sup>eme</sup> :

Calcul la vitesse du premier intervalle géométrique

$V_{int t}$  = Vitesse du fluide à l'intérieur des tiges (ft/min).

Q = Débit volumique du pompage (gal/min).

$D_{int t}$  = diamètre intérieur de l'élément du Drill string (in.).

$$V_{int t} = \frac{24,5 \cdot Q}{D_{int t}^2} \quad (\text{III } 13)$$

3<sup>eme</sup> : Calcul la valeur du YP et PV

YP = yield point, (lbf /100 ft<sup>2</sup>).

V = plastic viscosity,(cp). (centipoise, 1/100Poise).

$\theta_{300}$  = Lecture :300 rpm dial reading.

$\theta_{600}$  = Lecture: 600 rpm dial reading.

$$PV = \theta_{600} - \theta_{300}$$

$$YP = \theta_{300} - PV$$

4<sup>eme</sup> : Calcul de la viscosité effective à l'intérieur des tiges

$$\mu_e = PV + \frac{300 \cdot D_{int t} \cdot YP}{V_{int t}} \quad (\text{III } 14)$$

$\mu_e$  : viscosité effective à l'intérieur des tiges (cp).

**5<sup>eme</sup>** : Calcule du nombre de Reynolds

$$R_e = \frac{15,47 \cdot D_{int t} \cdot d}{\mu_e}$$

$R_e$  : Nombre reynolds (sans dimension).

$d$  : Densité du fluide (ppg)

**6<sup>eme</sup>** : Détermine le régime d'écoulement et calcule Facteur de friction

Si  $R_e < 2100 \implies$  régime laminaire

$$\text{Si } R_e > 2100 \implies \text{régime } F_e = \frac{16}{R_e} \quad (\text{III } 15)$$

$$F_e = \frac{a}{R_e^b} \quad (\text{III } 16)$$

$$a = \frac{3,93 + \log n}{50} \quad (\text{III } 17)$$

$$n = 3.32 \log \frac{\theta_{600}}{\theta_{300}} \quad (\text{III } 18)$$

$$b = \frac{1,75 - \log n}{7}$$

**7<sup>eme</sup>** : Calcul les pertes de charge [13]

Pour régime laminaire

$$P_c = \frac{L \cdot Q \cdot PV}{612,95 \cdot (D_{int t})^4} + \frac{YP \cdot L}{13,26 \cdot (D_{int t})} \quad (\text{III } 19)$$

Pour régime turbulent

$$P_c = \frac{L \cdot Q^{1,8} \cdot PV^{0,2} \cdot d^{0,8}}{901,63 \cdot (D_{int t})^{4,8}} \quad (\text{III } 28)$$

$P_c$  : perte de charge (Kpa).

$L$  : Longueur de l'intervalle (m).

$Q$  : Débit volumique de pompage (l/min).

$D_{int t}$  : diamètre du trou ou tubage (in.).

$d$  : densité (kg/l).

1 Kpa=0,145Psi

1Kpa=0,01 Bar

**8<sup>eme</sup>**:

Répéter les étapes de calcul pour chaque intervalle géométrique.

**9<sup>eme</sup>** : Calcul de la perte de charge Total à l'intérieur des tiges

C'est la somme de toute des pertes pour chaque intervalle

$$P_{ct} = \sum P_c \quad (\text{III } 20)$$

**10<sup>eme</sup>** : Calcul de la vitesse critique et Débit critique [4,5]

$$V_c = \frac{2100 \cdot \mu_e}{15,47 \cdot (D_{int t}) \cdot d} \quad (\text{III } 21)$$

$$Q_{c=} = \frac{V_c \cdot (D_{int t}^2)}{24,5} \quad (\text{III } 22)$$

### III.1.3 La chute de pression au niveau de l'outil [6,13]

$$P_{co} = \frac{d \cdot Q^2}{2959,41 \cdot C^2 \cdot TFA} \quad (\text{III } 23)$$

$P_{co}$  : Chute de pression dans l'outil en (KPa).

$Q$  : Débit de circulation exprimé en (l/min).

$D$  : Densité de la boue (Kg/l).

$C$  : Coefficient d'orifice ( $C=0,8$  pour outil conventionnel et  $C=0,95$  outil à jet) .

$TFA$  : Aire totale de passage de la boue à travers les duses (Total Flow Area) exprimée ( $\text{in}^2$ ).

$$V = \frac{Q}{38,71 \cdot TFA} \quad (\text{III } 24)$$

$V$ : Vitesse de boue à la sortie des duses

$$P_h = \frac{P_{co} \cdot Q}{35140 \cdot D^2} \quad (\text{III } 25)$$

$P_h$  : Puissance hydraulique à l'outil en ( $\text{HP}/\text{in}^2$ ).

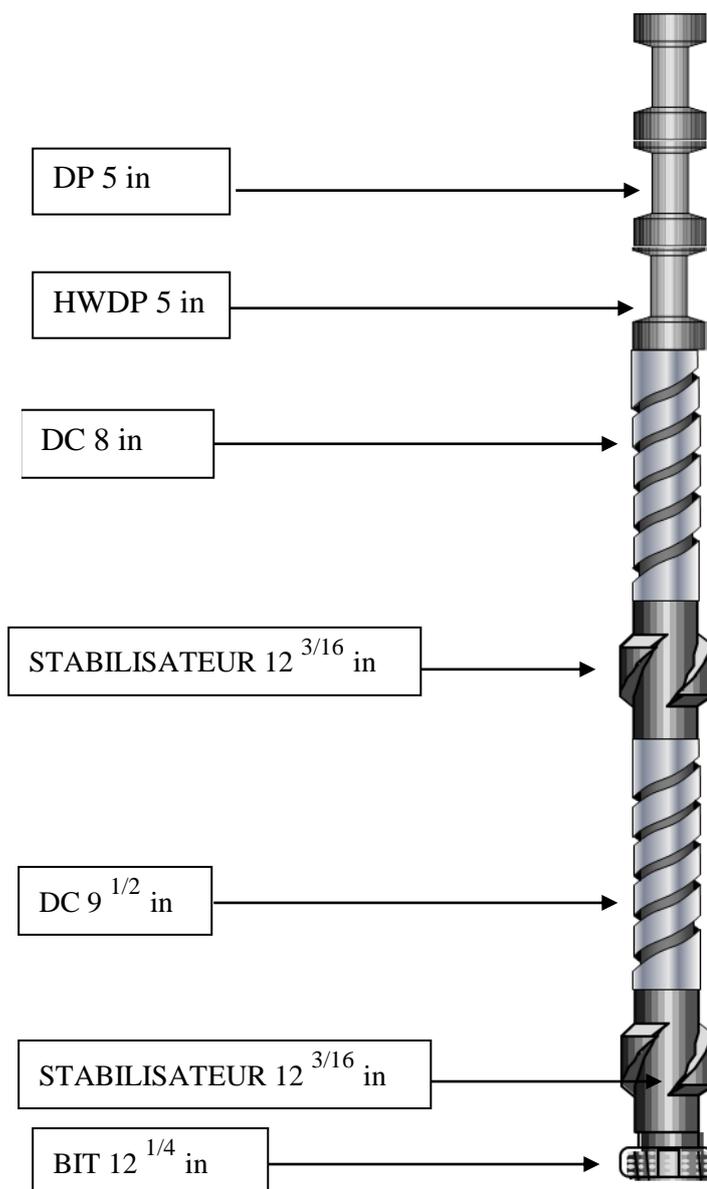
**D** : Diamètre de l'outil exprimé en (in).

Garniture			
Elément	OD ( in )	ID ( in )	L ( m )
DP 5" G105	5	4 2/7	3365,4
HWDP 5"	5	3	56,0
DC 8"	8	2 4/5	113,0
DC 9 1/2"	9 1/2	3	27,7
BIT	12 1/4		0.39

**Tableau 2** : Dimensions des différentes tiges

Conversion des unités

Pouce	= 0.254 × m
Lbs/gal	= 8.34 × Kg/l
Gal/min	= 0.264 × l/min
m/min	= 3.28 × Ft/min
Psi	= 14.5 × bar
Kpa	= 100 × bar



**Fig. III .2** : schéma de garniture de forage

### Résultats de calcul application par les données du puits RDOM-1

Section et élément				Long. ( m )	Vitesse boue ( m/mn )	Vitesse critique ( m/mn )	Régime d'écoulement	Perte de charge	
								( bars /	psi )
DP 5" G105				3365,37	259	58	Turbulent	164,99	2393
HWDP 5"				55,98	526	58	Turbulent	15,04	218
DC 8"				113	599	63	Turbulent	41,38	600
DC 9 1/2"				27,65	526	63	Turbulent	7,43	108
				0	0	0		0,00	0
				0	0	0		0,00	0
12,415	Csg 13"3/8-68#	DP 5" G105	5	2424	37	50	Laminaire	3,62	53
12,25	OH 12"1/4	DP 5" G105	5	941,37	38	51	Laminaire	1,45	21
12,25	OH 12"1/4	HWDP 5"	5	55,98	38	51	Laminaire	0,09	1
12,25	OH 12"1/4	DC 8"	8	113	55	56	Laminaire	0,44	6
12,25	OH 12"1/4	DC 9 1/2"	9,5	27,65	79	63	Turbulent	0,21	3

**Tableau 3 :** les résultats des pertes de charge dans l'intérieur des tiges et l'espace annulaire pour le puits RDOM-1

Garniture	$\mu_{ea}$ (Cp)	Re	Fe
<b>élément</b>			
DP 5" G105	51,1315	20885,56	0,00552
HWDP 5"	39,2616	11829,06	0,00642
DC 8"	38,1594	12982,12	0,00626
DC 9 1/2"	39,2616	11829,06	0,00642
<b>Annulaire</b>			
<b>Section</b>			
Csg 13"3/8-68# & DP 5" G105	255,058	1027,84	0,02335
OH 12"1/4 & DP 5" G105	243,274	1087,93	0,02206
OH 12"1/4 & HWDP 5"	243,274	2246,27	0,01068
OH 12"1/4 & DC 8"	117,825	1913,49	0,01254
OH 12"1/4 & DC 9 1/2"	71,1457	2950,39	0,00926

**Tableau 4 :** les résultats des pertes de charge dans l'intérieur des tiges et l'espace annulaire pour le puits RDOM-1

Perte de charge		
dans l'installation de surface	226 Psi	15,58 bars
à l'intérieur de la garniture	3319 Psi	228,84 bars
dans l'espace annulaire	84 Psi	5,81 bars
au niveau de l'outil	289 Psi	19,93 bars
<b>SPP (Calculé)</b>	<b>3918 Psi</b>	270,16 bars

**Tableau 5** : les résultats des pertes de charge dans le circuit de boue pour le puits RDOM-1

Puissance hydraulique à l'outil	0,91 HP/in <sup>2</sup>	Vitesse aux duses	39,5 m/s
% de pression à l'outil	07%	ECD	2,30 sg

**Tableau 6** : les résultats des pertes de charge au niveau de l'outil pour le puits RDOM-1

### III.1.4 Vitesse de sédimentation des déblais vers le fond du puits et l'efficacité du nettoyage du fond de puits

Une fonction importante du fluide de forage est le transport des déblais à partir du fond du trou jusqu'à la surface où ils peuvent être éliminés. Le nettoyage pauvre du trou peut avoir comme conséquence des problèmes opérationnels graves comprenant :

- Augmentation du Torque.
- Diminution de la vitesse d'avancement.
- Coincement des tiges.
- Difficulté de descente de tubage.
- Défaillance de cimentation primaire.

L'efficacité du nettoyage du trou dépend de la rhéologie et la densité du fluide de forage, le débit du pompage, et la taille des déblais. La remonte des déblais pour chaque taille de particule avec le flux du fluide dépend de l'effet de sédimentation (décantation) de ces particules qui influé négativement sur le nettoyage du puits.

Le taux de sédimentation nommé la vitesse de glissement ou vitesse de sédimentation  $V_s$ , par la comparaison entre la vitesse de sédimentation et la vitesse de remonte du fluide de forage

dans l'annulaire on peut détermine la vitesse net du transport des particules NPT, on suite l'efficacité du nettoyage  $E_t$ , le temps du transport dans l'annulaire ATT. Ces valeurs donnant à l'ingénieur le temps minimum requis pour le transport des déblais en surface [6].

#### II.1.4.1 Les étapes de calcul de NPT, $E_t$ , ATT

D'après les résultats précédent on précise le régime d'écoulement pour chaque intervalle géométrique de calcul [6].

Si le régime d'écoulement est laminaire on suivre les étapes suivantes.

##### Pour le régime laminaire

###### 1<sup>ere</sup>:

- Calcul la valeur du taux de cisaillement aux bornes la limite de la couche ( $\gamma_B$ ) :

$\gamma_B$ : taux de cisaillement borne de la couche ( $\text{sec}^{-1}$ ).

$D_c$ : diamètre des particules (in).

$d$ : densité du fluide (lb/gal).

$$\gamma_B = \frac{186}{D_c \sqrt{d}} \quad (\text{III } 26)$$

###### 2<sup>eme</sup>:

- Calcul l'effort de cisaillement ( $\tau_p$ ) développé par les particules :

$\tau_p$ : effort de cisaillement de particule (lb/100 ft<sup>2</sup>).

$T$ : Epaisseur de particule (in).

$$\tau_p = 7,9 \sqrt{T(20.8 - d)} \quad (\text{III } 27)$$

###### 3<sup>eme</sup>:

- Calcul la valeur du taux de cisaillement développe par la particule en utilisant ( $\tau_p$ ) :

$$\gamma_B = \left( \frac{\tau_p}{K_a} \right)^{\frac{1}{n_a}} \quad (\text{III } 28)$$

$\gamma_p$ : taux de cisaillement développé par particule ( $\text{sec}^{-1}$ ).

$n_a$  = indice du comportement de l'écoulement.

$k_a$  = facteur de consistance, (poise).

**4<sup>eme</sup>:**

Comparaison entre le taux de cisaillement développé par particule  $\gamma_p$  et taux de cisaillement borne de la couche  $\gamma_B$  pour détermine l'équation utiliser pour la détermination de la vitesse de sédimentation :

$$\text{si } \gamma_p < \gamma_B \quad \longrightarrow \quad V_s = 1,22 \cdot \tau_p \cdot \sqrt{\frac{\gamma_p \cdot D_c}{\sqrt{d}}} \quad (\text{III 29})$$

$V_s$  : Vitesse de sédimentation (ft/min).

$D_c$ : Diamètre des particules (in).

$$\text{si } \gamma_p > \gamma_B \quad \longrightarrow \quad V_s = \frac{16,62 \cdot \tau_p}{\sqrt{d}} \quad (\text{III 30})$$

**5<sup>eme</sup> :**

Détermination de la vitesse net du transport des particules NPT, ITT et ATT

$$NPT = V_a - V_s \quad (\text{III 31})$$

$$ITT = \frac{\text{longueur de l'intervalle géométrique}}{NPT} \quad (\text{III 32})$$

NPT : vitesse net du transport. (net particule transport) (ft/min).

$V_a$  : vitesse du fluide dans l'annulaire (ft/min).

$V_s$  : vitesse de sédimentation (ft/min).

ITT : temps individuelle du transport (min).

ATT : temps total du transport (min).

$$ATT = \sum ITT \quad (\text{III 33})$$

**6<sup>eme</sup>:**

Calcul l'efficacité du Nettoyage (transport) :

$$E_t = \frac{NPT}{V_a} \cdot 100 \quad (\text{III 34})$$

$$E_t = \left(1 - \frac{V_s}{V_a}\right) \cdot 100 \quad (\text{III 35})$$

**Pour le régime turbulent****1<sup>eme</sup>**

Calcul l'effort de cisaillement ( $\tau_p$ ) développé par les particules :

$\tau_p$  : effort de cisaillement de particule (lb/100 ft<sup>2</sup>).

T : Epaisseur de particule (in).

$$\tau_p = 7,9\sqrt{T(20.8 - d)} \quad (\text{III } 36)$$

**2<sup>eme</sup>**

Calcul de la vitesse de sédimentation :

$$V_s = \frac{16,62 \cdot \tau_p}{\sqrt{d}} \quad (\text{III } 37)$$

**3<sup>eme</sup>**

Détermination de la vitesse net du transport des particules NPT, ITT et ATT

$$NPT = V_a - V_s$$

$$ITT = \frac{\text{longueur de l'intervalle géométrique}}{NPT}$$

NPT : vitesse net du transport. (net particule transport) (ft/min).

$V_a$  : vitesse du fluide dans l'annulaire (ft/min).

$V_s$  : vitesse de sédimentation (ft/min).

ITT : temps individuelle du transport (min).

ATT : temps total du transport (min).

$$ATT = \sum ITT \quad (\text{III } 38)$$

**4<sup>eme</sup>**

Calcul l'efficacité du Nettoyage (transport) :

$$E_t = \frac{NPT}{V_a} \cdot 100 \quad (\text{III } 39)$$

$$E_t = \left(1 - \frac{V_s}{V_a}\right) \cdot 100 \quad (\text{III } 40)$$

### III.2 Concentration des déblais dans le trou et densité effective du fluide

Quand le forage est bien avancée le taux de pénétration augmente est produit une grande quantité des déblais, qu'il faut le sortir hors du trou lors de la circulation de la boue dans l'annulaire, sinon elle provoque une accumulation des déblais dans le fluide de forage dans l'annulaire.

Si la concentration des déblais  $C_a > 6\%$  à  $8\%$  ce volume peut provoquer des problèmes dans le trou [8].

La concentration des déblais dans le fluide de forage calculée par la formule suivante :

$$C_a = \frac{(ROP).D^2}{14,71.E_t.Q} \cdot 100 \quad (\text{III } 41)$$

$C_a$  : Concentration des déblais (vol %).

ROP : Vitesse d'avancement du forage (pénétration) (ft/hr).

Q : Débit du pompage (gal/min).

D : Diamètre du trou (in).

$E_t$  : Efficacité du nettoyage(%).

La densité effective du fluide produit par l'accumulation des déblais dans l'annulaire calculée par :

$$\rho_e = (SGs) \cdot 8,34 \cdot \left(\frac{C_a}{100}\right) + d \left(1 - \frac{C_a}{100}\right) \quad (\text{III } 42)$$

SGs: specific gravity of the cuttings.

d: densité du fluide de forage (lb/gal).

$\rho_e$  : Densité effective du fluide produit par les déblais (lb/gal).

➤ **Cutting carrying index** [16]

Pour avoir une bonne remontée des déblais dans le découvert et dans l'espace annulaire il faut quel CCI soit supérieur à 1 .

## Résultats de calcul application par les données du puits RDOM-1

Garniture	$\gamma_b$ (1/sec)	effort cisaillement	$\gamma_p$ (1/sec)	NPT	ITT(min)	Vs(m/min)
élément						
DP 5" G105	125,4537	2,1108	0,00418			
HWDP 5"	125,4537	2,1108	0,00418			
DC 8"	125,4537	2,1108	0,00418			
DC 9 1/2"	125,4537	2,1108	0,00418			
Annulaire						
Section						
Csg 13"3/8-68# & DP 5" G105	125,4537	2,1108	0,00418	114,61	21,15	5,60
OH 12"1/4 & DP 5" G105	125,4537	2,1108	0,00418	118,44	7,95	5,68
OH 12"1/4 & HWDP 5"	125,4537	2,1108	0,00418	118,44	0,47	5,68
OH 12"1/4 & DC 8"	125,4537	2,1108	0,00418	173,28	0,65	7,09
OH 12"1/4 & DC 9 1/2"	0,030732	2,1108	0,00418	251,35	0,11	8,18

Tableau 7 : les résultats de l'efficacité du nettoyage.

L'efficacité du Nettoyage (transport) :

$V_s$  avrage= 10.13 ft/min = 3.09m/h

$$E_t = 91.11\%$$

$$\rho_e = 2.29sg$$

Max ROP for Effective Hole Cleaning	54,91	épaisseur particule (in)	0,04
Maximum Annular Cuttings Volume	4%	ROP (m/h)	52,48
Average Cuttings Diameter (in)	0,34	$C_a$ (%)	4,40
Average Cuttings Density (sg)	2,65	<b>CCI</b>	<b>0.96 =&gt; BAD CUTTINGS CARRYING</b>
densité effective du fluide (lb/gallon)	19,15	$E_t$ (%)	91.11

Tableau 8 : les résultats de l'efficacité du nettoyage.

### III.3 Calcul de la pompe a boue

C'est une pompe volumétrique alternative à piston a mécanisme bielle-manivelle, de type triplex à simple effet, pour ce type les manivelles sont décalées à 120°, et le nombre de clapet est de 6 (3 à l'aspiration et 3 au le refoulement). Elle se compose de deux parties principales montées sur un châssis ski qui sont la partie mécanique et la partie hydraulique.

Les pompes utilisent au niveau de chantier **ENTP/ TP 225 WIRTH TPK 1600**

(la longueur de la chemise 12 pouce, Puissance 1600 hp) [17].

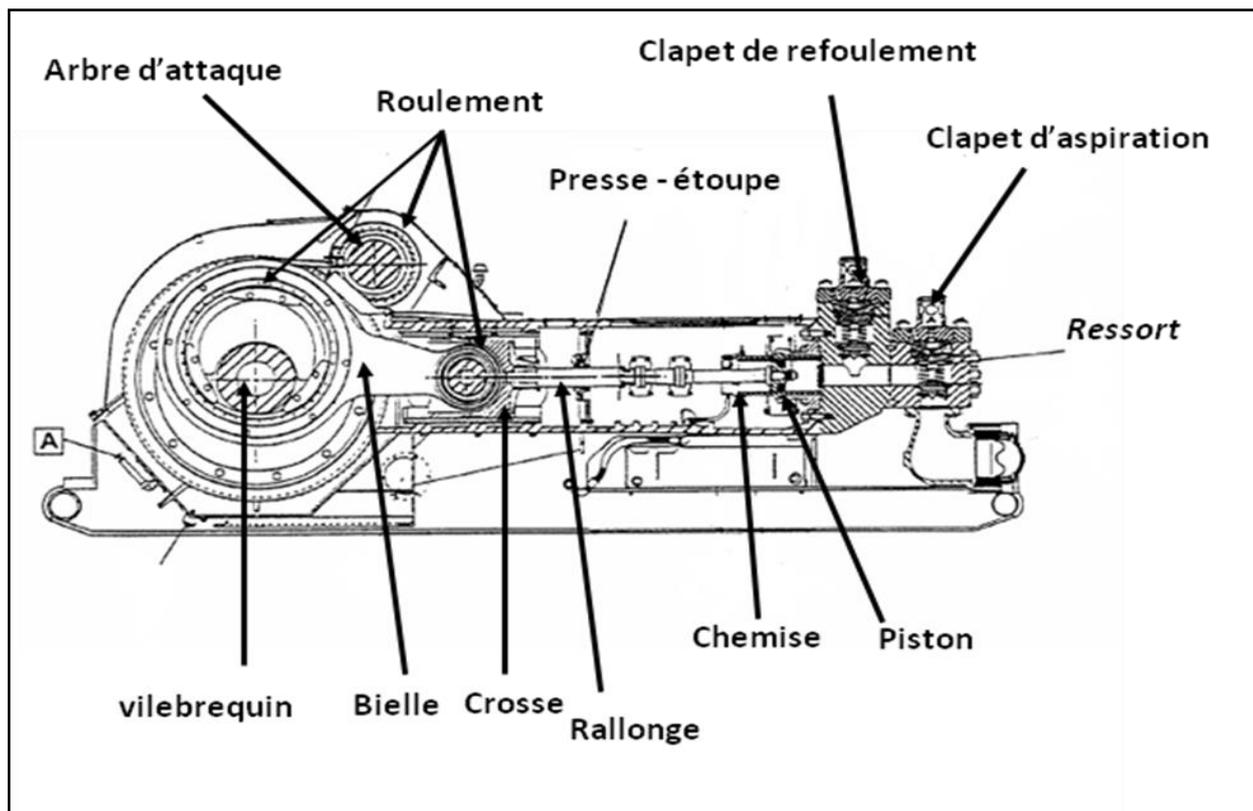


Fig. III.3 : Pompe à boue en coupe

#### III.3.1 Calcul de la puissance hydraulique [13]

$$P_h = \frac{Pr \times Q}{60000} \quad (III\ 43)$$

Ph : puissance hydraulique (KW)

Pr : pression de refoulement (Kpa)

Q : débit de la pompe théorique (L/min)

$$p = 27023 \text{ Kpa}$$

$$Q_t = 2475 \text{ L/min}$$

$$P_h = 1115 \text{ (kW)}$$

$$P_h = 1495 \text{ (hp)}$$

D'où la puissance hydraulique exigée est de ; **1115KW = 1495Ch.**

Donc la puissance  $1495 \text{ Ch} < 1600 \text{ Ch}$

### III.3.2 Puissance Hydraulique réelle

$$P_h = \frac{Pr \times Q \times Rv}{60000} \quad (\text{III } 44)$$

**Rv= 97%**

$$P_{hr} = 1081 \text{ kW}$$

$$P_{hr} = 1450 \text{ hp}$$

### III.3.3 Calcul de la puissance mécanique maximale de la pompe

$$P_{m,\max} = \frac{P_h}{\eta_m} \quad (\text{III } 45)$$

$\eta_m$  : rendement mécanique interne pompe est égale à 0.9.

$$\text{Donc : } P_{m,\max} = \frac{P_{h,\max}}{\eta_m} = \frac{1081}{0.9} = 1201 \text{ KW}$$

$$P_{m,\max} = 1609 \text{ Ch}$$

### III.3.4 Calcul hydraulique de la pompe a boue

#### a) Calcul du diamètre de la chemise

Le diamètre entre donnée par la formule

$$D_i = \sqrt{\frac{K \times Q_i}{\alpha \times c \times N}} \quad (\text{III } 46)$$

Où :

$D_i$  : Diamètre intérieur de la chemise [m] ;

**K** : Coefficient pour les pompes triplex,  $K= 25,4$  ;

**Q<sub>i</sub>** : Débit de la boue optimum pour cette phase (m<sup>3</sup>/s) ;

**N** : Nombre des coups par minute,  $n =120$  coups/min (Nombre des coups Max de la pompe)

**C** : Course de piston  $c = 0,3048$  m ;

**α**: Rendement du débit de la pompe,  $\alpha = 0,97$  ;

$$Q = \frac{2800}{2} = 1400L / \text{min} \quad (\text{Débit de la boue pour une seule pompe})$$

$$D_1 = \sqrt{\frac{25.4 \times \frac{1400}{60 \times 1000}}{0.97 \times 0.3048 \times 120}} = 0.130m \Rightarrow D_1 = 130mm$$

$$D = 5.11 \text{ in}$$

Il faut doter les pompes a boue par des chemises avec des diamètres intérieur min 5.5 in.

### III.4 Interprétation des résultats et conclusion finale de l'analyse

A partir des informations que j'ai présenté je connais que :

En section verticale et à faibles inclinaisons, les particules restent en suspension pendant une longue durée si les pompes sont en marche, l'outil tourne et la distribution des particules est faite uniformément dans tout le fluide. Cependant les variations de la concentration des déblais avec la profondeur atteinte peuvent se produire et s'accumuler dans les zones où le diamètre du forage rétrécit suite au gonflement des argiles, impliquant un ralentissement dans la vitesse d'avancement du forage.

Le débit optimal (requis) est le débit minimum pour maintenir le mouvement des particules vers le haut, si le débit de pompage est inférieur au débit optimal, les déblais ont tendance à se précipiter donc il est recommandé d'utiliser un débit  $\geq Q_{opt}$ .

Pour déterminer le débit optimal pour un bon nettoyage plus que ça l'influence du poids des sédiments au-dessus de cette zone [16].

$$Q_{opt} = (1.1 \times Q / CCI) \quad (III\ 47)$$

Application numérique d'après l'équation (III 47) :  $Q_{opt} = 2750$  l/min.

Les pressions de refoulement maximal pour forage la phase 12'' 1/4 jusqu'à la cote finale soit 3562m. La plus grande de ces pressions doit être considérée comme pression maximale de pompage de forage on a donc  $P_{ref} = 346$  bars.

$P_{max}$  de la pompe = 322 bars [13].

Donc les pompes peuvent pas résiste cette pression.

FIT : (Formation integrity test) après détermination de teste de formation on a trouvé la densité équivalente de fracturation = 2.38sg [14].

$ECD = 2.30sg < 2.38sg$

Donc pas de risque de fracturation.

### III.5 Les solutions Proposées

#### III.5.1 Les propositions avant de commencer le forage pour éviter le mauvais nettoyage de puits et risque de coincement

J'ai proposé que de forer cette zone avec un débit optimum de 2750 l/min avec les mêmes conditions rhéologiques de la boue mais en change les dimensions de la BHA au niveau tiges de forage de façon diamètre extérieur 5,5in.

#### III.5.2 Les résultats après de changement des dimensions

Après le changement des tiges de forage par tiges  $D = 5.5$  in la pression de refoulement chute jusqu'à 272 bars avec débit de 2750 l/min (voir le tableau suivant).

Perte de charge		
<b>dans l'installation de surface</b>	<b>289 Psi</b>	19,91 bars
<b>à l'intérieur de la garniture</b>	<b>3186 Psi</b>	219,66 bars
<b>dans l'espace annulaire</b>	<b>96 Psi</b>	6,60 bars
<b>au niveau de l'outil</b>	<b>379 Psi</b>	26,16 bars
<b>SPP (Calculated)</b>	<b>3950 Psi</b>	272,34 bars

**Tableau 9** : les résultats des pertes de charge dans le circuit de boue pour le puits RDOM-1

L'efficacité de transport des déblais s'améliore ; ET= 92.34%

### III.5.3 Les bouchons de nettoyage

#### a) Bouchon Low-Vis

Préparer et pomper 5 m<sup>3</sup> de boue même densité 2.28 sg mais avec rhéologie différent (Diminue la viscosité et la yeild) ;

Ce bouchon crée une turbulence dans espace annulaire

#### b) Bouchon Hi-Vis

Préparer 5 m<sup>3</sup> de boue même densité 2.28sg mais avec densité élevée et pomper directement après le bouchons low-vis ;

Ce dernier s'écoule en régime laminaire est raclé tous les déblais en suspension

### III.6 Recommandations

Pour une meilleure optimisation du nettoyage du puits, il faudrait :

- Nettoyer le trou aussi vite que sa progression.
- Injection des bouchons un moins visqueux suivi d'un autre plus visqueux à chaque remonté.
- S'assurer que les caractéristiques de la boue sont conformes aux spécifications.
- Avant une manœuvre, circuler jusqu'à ce que le puits soit propre.
- Maintenir la garniture en rotation continuellement pendant la circulation.
- Contrôler instantanément la vitesse de rotation (ROP).
- Garder en bon ordre de marche tous les équipements de circulation et contrôle des solides.

## Conclusion

D'après les résultats obtenus, on peut conclure que le nettoyage de puits avec les données utilisées est efficace et que le débit utilisé avec une vitesse annulaire requise de la boue est largement supérieur au débit optimal.

On doit appliquer le programme préliminaire de forage fournit par le bureau d'étude à la phase 12'' ¼. Ce programme nous définit les différents paramètres et la procédure à utiliser durant l'opération de forage, tel que le diamètre des tiges de forage. Le diamètre de 5.5 in est suffisant pour atteindre un débit optimal de remonté des déblais hors puits avec des pertes de charges acceptable) minimisée les pressions pour ne pas dépasser la pression maximale de la pompe à boue).

Pour obtenir un bon nettoyage du puits et éliminer ses déblais, il est nécessaire de modifier les paramètres rhéologiques de la boue et le faire de façon permanente pour garder ses propriétés rhéologiques.

On doit pomper dans le circuit de boue avant chaque remonté de garniture deux fois: un pompage moins visqueux pour créer une turbulence et perturber les solides précipitant au fond et suivi par un 'autre plus visqueux (régime laminaire) pour évacuer ces derniers.

# Bibliographiques

- [1] Jean Paul Nguyen le forage technique d'exploitation pétrolière.
- [2] "Formation Jdf module M1 SH" A.slimani-M. daddou SH- 2004.
- [3] "Les fluides de forage : Appareils de contrôle " M. Daddou , SH- 2004.
- [4] M-I L.L.C: "The Drilling Fluids Engineering Manual Ver2", Houston (2001).
- [5] Fluid Facts Engineering Handbook, Baker Hughes INTEQ, 1997.
- [6] Drilling Hydraulics -Datalog Training Ver 1.
- [7] Drilling Fluids Engineering Manual - MI SWACO.
- [8] F.BOUCHAREB, programme d'analyse hydraulique et de la simulation pour la prévention contre les fracturations afin d'éviter les pertes de circulation. Cas du puits HBKN2. Mémoire fin d'étude. Université de boumerdes juin 2015.
- [9] KH.MANSOURI, Etude de la pompe a boue national oil-well 12p160. Mémoire ingénieur Université de Boumerdes juin 2007.
- [10] Programme de forage puits RDOM-1 SH/FORAGE.
- [11] Programme de boue de forage pour le puits RDOM-1.
- [12] Drilling fluid hydraulics dave hawker ver2.1, 2001.
- [13] Drilling data handbook ; eighth edition IFP publication.
- [14] Daily Drilling Report SH/FOR.
- [16] TOTAL CCI Calculate ver1.
- [17] Manuel des pompes WEARTH .Document ENTP.
- [18] FROUHAT Rachid, Etude et Optimisation des Paramètres Hydrauliques Affectant le Nettoyage d'un Puits Dévié, dans le Champs de Hassi Messaoud, mémoire magister université ouargla juin 2013.
- [19] I.ZEHRI, Optimisation des paramètres de forage dans les Réservoirs cambro-ordoviciens (périmètre Tidikelt la région d'In-Salah), mémoire master université ouargla juin 2012.
- [20] UML, unite mudlogging TP225.
- [21] Daily Drilling Report SH/FOR.

## Résumé :

Le rôle de fluide de forage est principal dans le forage d'un puits pétrolier, la mauvaise nettoyage du puits se développe les déblais particulièrement et peut causer divers problèmes tels que les frottements et même le coincement de la garniture de forage.

Il devient impératif de s'intéresser au bon nettoyage du puits en optimisant les paramètres hydrauliques (la vitesse annulaire de fluide et la perte de charge dans l'espace annulaire, la rhéologie de fluide).

L'objectif de ce travail est l'analyse des problèmes du mauvais nettoyage du puits et aussi l'optimisation des paramètres hydrauliques affectant le nettoyage de la phase (12''<sup>1/4</sup>).

L'analyse hydraulique a été développée par des formules théoriques et empiriques, au forage avec une application sur le puits RDOM-1 dans le champ de Hassi Messaoud.

Enfin, les résultats obtenus confirment la réussite de l'opération de nettoyage de puits quand le débit utilisé est supérieur au débit optimal avec une vitesse annulaire requise de la boue.

Mots clés : Fluide de forage, nettoyage, paramètres hydrauliques.

## المخلص:

سائل الحفر له دور رئيسي في عملية التنقيب البترولي، سوء تنظيف البئر يؤدي ترسب بقايا الصخور وتكون طبقة مستقرة. مما يسبب هذا مشاكل مختلفة كالاحتكاك، مقاومة للدوران وكذلك مشاكل في الهيدروليك.

يصبح من الضروري التركيز على التنظيف جيد للبئر وذلك بوسائط هيدروليكية مثلى.

الهدف من هذا العمل هو تحليل مشكل التنظيف السيئ للبئر وتحقيق أمثلية في المعلومات الهيدروليكية التي تؤثر في تنظيف البئر. (12''<sup>1/4</sup>)، بمساعدة بقوانين نظرية وتجريبية، مع تطبيقها على البئر RDOM-1 في حقل حاسي مسعود

و في الأخير، أظهرت النتائج المحصل عليها نجاح عملية التنظيف.

الكلمات المفتاحية : سائل الحفر ، تنظيف، خصائص هيدروليكية .