

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**



**Université Kasdi Merbah Ouargla**



**FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES**

**Département de: GÉNIE CIVIL ET HYDRAULIQUE**

C:.....  
R:.....

**Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de**

**Master professionnel**

**Filière: HYDRAULIQUE**

**Spécialité: FORAGE D'EAU**

**Thème**

**Contribution À L'étude De Dimensionnement  
D'une Pompe À Boue**

**Présenté par :**

- ❖ LABED KARIM
- ❖ ZENATI MEHAMED ELFATIH

**Soumis au jury composé de :**

<b>MANSOURI ZINA</b>	<b>Grade M.A.A</b>	<b>Univer.ouargla</b>	<b>Présidente</b>
<b>ELFERGOUGLM</b>	<b>Grade M.C.A</b>	<b>Univer.ouargla</b>	<b>Examinatrice</b>
<b>LEGHRIEB YUCEF</b>	<b>Grade M.C.A</b>	<b>Univer.ouargla</b>	<b>Encadreur</b>

***Année Universitaire: 2020 / 2021***

# Remerciements

## Remerciements

✦ *Avant tout propos, nous remercier « Dieu » le tout puissant qui nous a donné sagesse et santé pour faire ce modeste travail.*

✦ *Nous adresse nos vifs remerciements notre professeur consultant MR.LEGHRIEB YUCEF pour son encadrement et son soutien.,et por remarques qui nous'ont été précieuses.*

✦ *Nous remercions aussi les membres de jury qui nous ont fait l'honneur d'accepter de jurer notre travail.*

✦ *Nous présente nos chaleureux remerciements et ce ne sont pas les moindres, vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour l'aboutissement de ce travail.*

✦ *Nous ne pourrions terminer sans remercier nos parents et nos familles qui nous ont soutenu et encouragé pour terminer ce travail.*

✦ *Nous remercions aussi nos amis du promos.*

➤ LABED KARIM/ZENATI MED ELFATEH

# Dédicace

*Quoi de plus que de pouvoir*

*partager les meilleurs moments de sa vie avec les êtres qu'on aime.*

*Arrivé au terme de nos études, nous avons le grand plaisir de*

*dédier ce modeste travail à :*

*✦ A ma chère mère et mon cher père*

*✦ A mes frères*

*✦ A mes oncles et mes tantes*

*✦ A La famille LABED*

*✦ A Tous mes amis, en particulier :*

*tareq et mahieddine et sohaib et mohamed*

*✦ A tous mes amis de promotion Master Forage*

*✦ A mon encadreur: LEGHRIEB YUCEF*

*✦ A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour la*

*réalisation de ce Modeste travail*

# Dédicace

*Quoi de plus que de pouvoir*

*partager les meilleurs moments de sa vie avec les êtres qu'on aime.*

*Arrivé au terme de nos études, nous avons le grand plaisir de  
dédier ce modeste travail à :*

*+ A ma chère mère et mon cher père*

*+ A mes frères*

*+ A mes oncles et mes tantes*

*+ A La famille ZENATI*

*+ A Tous mes amis, en particulier :*

*Ahmed et Abdo et Ibrahem et mohamed*

*+ A tous mes amis de promotion Master Forage*

*+ A mon encadreur: LEGHRIEB YUCEF*

*+ A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour la  
réalisation de ce Modeste travail*

## Liste des figures:

Fig.I.1 : Plateforme pétrolière Onshore .....	01
Fig.I.2 : Plateforme pétrolière Offshore .....	02
Fig.I.3 : Description simplifiée d'un appareil de forage .....	03
Fig.I.4 : Description simplifiée d'un appareil de forage .....	07
Fig.I.5 : L'outil.....	09
Fig.I.6 : Les différents types d'outils .....	10
Fig.I.7 : Les tiges.....	11
Fig.I.8 : masse-tige .....	11
Fig.I.9 : Treuil de forage.....	13
Fig.I.10 : Moufle fixe.....	13
Fig.I.11 : Moufle mobile .....	14
Fig.I.12 : Câble de forage.....	14
Fig.I.13 : Le crochet de levage .....	15
Fig.I.14 : Matériels annexe de levage .....	16
Fig.I.15: La table de rotation .....	17
Fig.I.16: La tête d'injection .....	18
Fig.I.17: La pompe de forage (pompe à boue).....	19
Fig.I.18: L'obturateur de sécurité.....	21
Fig.II.1: Schéma de circulation de la boue sur le site de forage .....	23
Fig.II.2: <i>Les différentes zones de pénétration du fluide de forage en circulation.....</i>	34
Fig.III.1: Pompe triplex à simple effet.....	39
Fig.III.2: Pompe à boue de forage Type triplex simple effet.....	34
Fig.III.3: Fonctionnement partie mécanique.....	44
Fig.III.4: Partie mécanique de la pompe à boue.....	46

Fig.III.5: Système bielle manivelle.....	48
Fig.III.6: Partie hydraulique de la pompe à boue.....	50
Fig.III.7: Chemise de piston.....	50
Fig.III.8: Le piston.....	52
Fig.III.9: La tige de piston.....	52
Fig.III.10: Le siège et clapet.....	52
Fig.III.11: Amortisseur de pulsation côté refoulement.....	53
Fig.III.12.: L'amortisseur de pulsation Côté d'aspiration.....	54
Fig.III.13.: Les soupapes de sécurité.....	55
Fig.III.14.: Système refroidissement de la partie mécanique.....	56
Fig.III.15.: Mise en parallèle de deux pompes à boue.....	58
Fig.IV.1.: Construction du puits .....	60

**List de les équation:**

<u>1</u> - $\mu a = t/\gamma$ .....	25
<u>2</u> - $v = \mu a/\rho$ .....	25
<u>3</u> - $\mu_{rel} = \mu/\mu_s$ .....	25
<u>4</u> - $\mu_{spé}$ .....	25
<u>5</u> - $[\mu] = \lim[\mu_{sp}/C]$ .....	25
<u>6</u> - $p = h * d10$ .....	26
<u>7</u> - $V = K.t^{1/2}$ .....	27
<u>8</u> - $dV/dt = \Delta P/\mu.e.A$ .....	28
<u>9</u> - $YP = L_{300} - Vp$ (lb/100ft <sup>2</sup> ) .....	30

**List de tableau:**

Tableau II.1.Les catégories des composants utilisés dans les fluides de forage	<b>25</b>
Tab.III.1 . <b>Tableau de caractéristique de la pompe à boue OIL WELL 1400PT</b>	<b>57</b>
Tab.IV.1 . <b>Caractéristiques du fluide de forage</b>	<b>62</b>
Tab.IV.2 . <b>Modèle d'un puits</b>	<b>62</b>
Tab.IV.3.Tableau de récapitulation	<b>63</b>
Tab.IV.4Calcul de la puissance hydraulique	<b>72</b>
Tab.IV.5.résultats sont pour un cylindre	<b>73</b>
Tab.IV.6.débit est construit à partir de la formule suivante de la vitesse instantanée du piston	<b>78</b>

# Sommaire

INTRODUCTION : .....

## **CHAPITRE I: Généralités sur le forage**

1. Historique :	1
2. Définition du forage :	1
3. Processus de forage :	1
4. Description d'un appareil de forage :	2
5. Les techniques de forage :	3
5.1. La technique de Battage:	3
5.1.1 Les différents procédés de battage:	4
5.2. la technique de Havage :	4
5.2.1. forage peut être effectué:	4
5.3. La technique Rotary:	5
5.3.1. Paramètres de forage :	6
5.4. la technique ODEX :	7
5.5. la technique marteau fond de trou (MFT) :	7
6. Fonction d'un appareil de forage :	8
6.1. Equipement de fond :	8
6.2. Equipement de surface:	10
Fonction Levage :	10
6.2.1. Fonction Rotation:	15
6.2.2. Fonction pompage :	17
6.2.3. Fonction motrice et transmission:	17
6.2.4. Fonction de sécurité:	18

## **Chapitre II : LES FLUIDES DE FORAGE**

1. Définition d'un fluide de forage :	20
2. Les fonctions du fluide de forage :	20
3. Circulation du fluide de forage :	21
4. Classification des fluides de forage:	21
4.1. Les fluides à base d'huile :	21
4.2. Les fluides à base d'eau :	22
4.3. Les fluides de forage gazeux :	22
5. Composition des fluides de forage:	22



5.1. Les composants de la boue de forage et leur rôle: .....	23
5.2 Formulation des boues de forage : .....	23
5.3 Contrôle et caractérisation des propriétés : .....	23
5.4. Paramètres physiques et chimiques: .....	24
6. Filtration et endommagement des formations: .....	24

## **CHAPITRE III: ETUDE ET TECHNOLOGIE DE LA POMPE ABOUE**

1 DEFINITION DE LA POMPE: .....	35
2 CLASSIFICATION DES POMPES: .....	35
2.1 Turbopompes : .....	35
2.2 Pompes volumétriques : .....	35
3 LES POMPES A BOUE DE FORAGE: .....	36
3.1 Avantages et inconvénients des pompes triplex : .....	37
3.2 Principe de fonctionnement de la pompe triplex : .....	37
4 Caractéristiques des pompes à boue: .....	38
4.1 La cylindrée : .....	38
4.2 La vitesse : .....	38
4.3 Le débit : .....	38
4.4 Rendements: .....	39
4.5 Pression: .....	39
4.6 La puissance : .....	40
5 PRESENTATION DE LA POMPE À BOUE OIL WELL A 1400 PT : .....	40
6. CONSTRUCTION DE LA POMPE OIL WELL A 1400 PT: .....	40
6.1. Partie mécanique des pompes de forage : .....	41
6.1.1. Principe de fonctionnement (partie mécanique) : .....	41
6.1.2 composants de la partie mécanique : .....	42
6.1.3 Système de lubrification : .....	46
6.2. Composants de la partie hydraulique : .....	46
6.2.1 Système de refroidissement : .....	51
6.3 Mise en parallèle de deux pompes : .....	58
6.4 Mise en série deux pompes : .....	58
6.5 Les pompes de suralimentation : .....	58
7 EXPLOITATION DES POMPES A BOUE : .....	59

## **CHAPITRE IV : Dimensionnement de la pompe oil well a 1400 PT**

1. CALCUL DE VERIFICATION : .....	60
1.1. Calcul des pertes de charge : .....	61
1.2 Calcul de la puissance hydraulique pour chaque phase : .....	72
1.3 Calcul de la puissance mécanique maximale de la pompe : .....	73

1.4. Calcul la puissance fournie par un moteur électrique : .....	73
2. CALCUL HYDRAULIQUE DE LA POMPE A BOUE : .....	74
2.1 Calcul du diamètre de la chemise de chaque phase : .....	74
2.2 Graphique de débit instantané : .....	76
2.3 Le volume de l'amortisseur : .....	77
3. Calcul mécanique : .....	79
3.1 la tige du piston : .....	79
3.2 la force de compression : .....	79
3.3 Contrainte de compression : .....	80
3.4 Résistance de la chemise à l'éclatement: .....	80
<b>CONCLUSION</b> .....	<b>83</b>
<b>BLIOGRAPHIQUE</b> .....	<b>84</b>

## **INTRODUCTION :**

Le pétrole et le gaz jouent un rôle essentiel dans l'économie nationale. Elles représentent la source d'énergie la plus importante. Les eaux souterraines sont le trésor caché de l'Algérie pour les années avenir en raison du besoin en eau . Pour exploiter ces richesses sLe pétrole et le gaz jouent un rôle essentiel dans l'économie outerraines, des forages sont réalisées, ce qui est un procédé très délicat et les plus coûteux dans le processus d'exploitation de cette énergie.

L'objectif premier des foreurs est de creuser un trou, selon le programme dressé, au meilleur coût possible dans les meilleures conditions techniques et sécuritaire.

Dans l'installation de forage il y a un système de circulation de fluide qui est généralement de la boue de nature différente afin d'absorber la chaleur émise lors du frottement de l'outil de forage avec les roches et pour soulever les déblais de roches.

Les roches sont transportées vers la surface par circulation dans le recyclage. Cette circulation nécessite l'utilisation d'un équipement qui est une pompe volumétrique appelée pompe à boue qui assure un grand débit et une grande pression.

Le but de notre mémoire est d'étudier la pompe à boue, fluide de forage, les équipements de pompage, avec les calculs de tous les paramètres liés au fonctionnement de la pompe à boue.

# **CHAPITRE I:**

# **Généralités sur le**

# **forage**

### 1. Historique :

En août 1859 lorsque le colonel " DRAKE "fora son premier puits de pétrole, à vingt-trois mètres de profondeur près de Titusville en Pennsylvanie (U.S.A), il employa le système de forage par battage au câble qui utilise, pour attaquer le terrain, l'impact d'un lourd trépan suspendu au bout d'un câble qui lui transmet, depuis la surface, un mouvement alternatif créé par un balancier. Ce procédé, dont le principe est connu depuis la plus haute antiquité (trois mille ans avant J.C., les chinois creusaient des trous étroits et profonds par cette méthode pour extraire du sel) a servi, pendant la deuxième moitié du XIXe siècle [1]

### 2. Définition du forage :

Afin de détecter une éventuelle présence d'un gisement d'hydrocarbures, des géologues et des géophysiciens effectuent des études minutieuses des structures géologiques en surface et en profondeur, et leur imagerie sismique. Mais, pour certifier la présence du pétrole, il faut effectuer un forage. Le forage est une étape cruciale dans l'extraction et la production du pétrole. Le mot forage vient de « forare » en latin qui signifie creuser un trou, une cavité dans une matière dure. Ainsi, le forage est l'action de forer.[1]

### 3. Processus de forage :

Pour extraire le pétrole que ça soit sur terre (exploration onshore), ou en mer (exploration offshore) un processus de forage est nécessaire.



Figure I.1. Plateforme pétrolière Onshore[2]



**Figure I.2. Plateforme pétrolière Offshore.[3]**

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

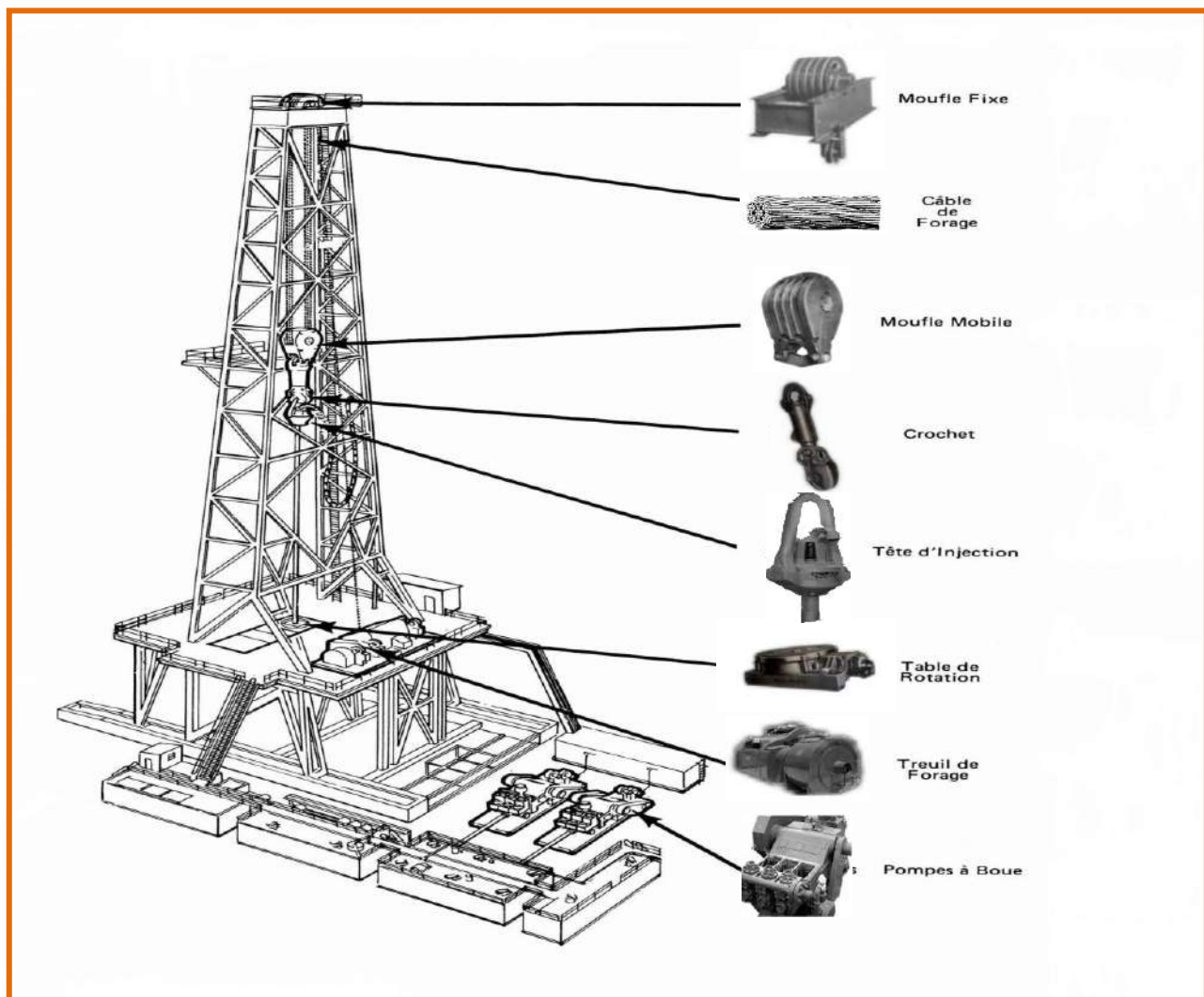
L'appareil de forage, ou plus globalement le chantier de forage est constitué d'un ensemble d'équipements, des techniques opératoires et un personnel très qualifié. La figure (I.1) montre les différents organes constituant un appareil de forage standard.

On classe généralement les appareils de forage rotary en 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- lourds : pour les profondeurs supérieures à 4000 m.

Ces performances de profondeur se traduisent par un poids et une puissance qui caractérisent le critère de choix 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 de forage d'un puits. Les principaux éléments d'un appareil de forage sont :



**Fig. I.3 : Description simplifiée d'un appareil de forge [11]**

## 5. Les techniques de forage :

### 5.1. La technique de battage :

C'est la technique la plus ancienne, utilisée par les Chinois depuis plus de 4000 ans (battage au câble), elle consiste à soulever un outil très lourd (trépan) et le laisser retomber sur la roche à perforer en chute libre. Le forage par battage ne nécessite pas de circuit d'eau ou de boue, et seul un peu d'eau au fond de forage suffit.

Il est tout indiqué pour les terrains durs surtout lorsque le terrain dur est en surface (ça permet pas d'utiliser suffisamment de poids en Rotary) comme en terrains karstiques ou fissurés (pas de risque de perte de boue).

Le battage se produit par le mouvement alternatif d'un balancier actionné par un arbre à came (ou bien un treuil : cylindre horizontal). Après certain avancement, on tire le trépan et on descend une curette (soupape) pour extraire les déblais (éléments broyés : cuttings). Pour avoir un bon rendement, on

travail toujours en milieu humide en ajoutant de l'eau au fond de trou. Le foreur de métier garde une main sur le câble et l'accompagne dans sa course, ce qui lui permet de bien sentir l'intensité des vibrations sur le câble; et lorsque le fond de trou est encombré par les débris, celui-ci sera nettoyé par soupapes à piston ou à clapet.[4]

### 5.1.1 Les différents procédés de battage:

- Le procédé Pennsylvanien (procédé à câble):

Où le trépan est à accrocher directement au câble sous une masse tige (tige très lourde), il est bien développés aux USA.

Procédé Canadien:

Dans ce cas, le trépan est fixé sous un train de tiges pleines. Il est surtout utilisé dans l'Europe de l'est

Procédé Raky (s'appelle aussi battage rapide):

Utilise des tiges creuses sa ve circulation d'eau. [4]

#### ✦ Avantages du battage:

- a) investissement moins important
- b) énergie dépensée faible
- c) facilité de mise en oeuvre
- d) pas de boue de forage
- e) récupération aisée d'échantillons
- f) nécessite moins d'eau (40 à 50 l/h) et de n'importe quelle qualité
- g) la détection de la nappe même à faible pression est facile: la venue de l'eau à basse pression se manifeste directement dans le forage sans être aveuglée par la boue.
- h) pas de problèmes dans des zones fissurées (risque lié au perte de boue) [4]

#### ✦ Inconvénients du battage:

- a) Le forage s'effectue en discontinue (forage puis curage de cuttings et ainsi de suite)
- b) forage lent
- c) Difficultés pour équilibrer les pressions d'eau jaillissante.
- d) Absence de contrôle de la rectitude
- e) Pas de possibilité de faire le carottage [4]

### 5.2. la technique de Havage :

C'est une technique d'extraction consistant à creuser des entailles parallèlement au plan des stratifications des roches pour les détacher plus facilement; utilisée en génie civil pour l'exécution de pieux forés en gros diamètres, et aussi pour exécuter des forages d'eau.[4]

#### 5.2.1. forage peut être effectué:



- ✦ Soit par bennes à coquilles: où l'attaque du terrain se fait au moyen d'une benne circulaire munie de coquilles ouvertes qui percutent le sol comme un trépan remonte les déblais. L'ouverture et la fermeture des coquilles sont commandées par câble. Ce matériel permet des forages de profondeurs de 70 à 80 m pour des diamètres de 600 mm à 1,2 m dans des terrains alluvionnaires.
- ✦ Soit par outils en rotation: ce système de perforation travaille au moyen d'un outil d'extraction circulaire avec un fond verrouillé muni de dents et agit par rotation jusqu'à ce qu'il soit plein de matériaux. L'outil est extrait et le déverrouillage du fond de l'outil permet de vider rapidement celui-ci. Ce matériel permet d'effectuer des forages de 35 à 40 m de profondeur en des diamètres de 0,5 à 1,3 m. [4]

❖ **Avantage:**

- ✓ Avancement rapide à faible profondeur dans des formations meubles, notamment les sols meubles et les alluvionnaires (en l'absence d'éléments grossiers) .
- ✓ Réalisation d'ouvrages en gros diamètre (peu répandus en eau minérale) [3]

❖ **Inconvénients:**

- ✓ Méthode inadaptée aux terrains durs. La méthode est utilisée pour la réalisation des forages de faible profondeur (environ 30m).
- ✓ Difficulté pour arracher les tubages de soutènement après la mise en place des crépines et du massif filtrant.[4]

### 5.3. La technique Rotary:

Elle est relative mentré cente, ses premières utilisations remontent en 1920.

Le technique rotary est utilisée spécialement dans les terrains sédimentaires non consolidés pour les machines légères, mais les machines puissantes de rotary peuvent travailler dans les terrains durs (pétroliers).

Un outil appelé trilame (tricot) est mis en rotation de puis la surface du sol par l'intermédiaire d'un train de tiges. L'avancement de l'outil s'effectue par abrasion et broyage (deux effets) du terrain sans choc, mais uniquement par translation et rotation (deux mouvements). Le mouvement de translation est fourni principalement par le poids des tiges au-dessus de l'outil. La circulation d'un fluide (liquide visqueux: la boue) permet de remonter les cuttings à la surface. La boue est injectée à l'intérieur des tiges par une tête d'injection à l'aide d'une pompe à boue, et remonte dans l'espace annulaire en mouvement ascensionnel, en circuit fermé sans interruption. La boue tapisse les parois non encore touchées et maintient momentanément en attendant la pose de tubage.

Un accroissement du volume de boue est l'indice d'une venue de fluide souterrain dans le forage (eau, huile, gaz).

Une perte de volume indique une zone fissurée ou dépressionnaire (vide).

Le forage en perte de circulation peut être dangereux pour la ligne de son de et l'ouvrage.

Le dépôt de la boue qui recouvre les parois d'une formation aquifère de faible pression peut gêner la détection de cette formation.[4]

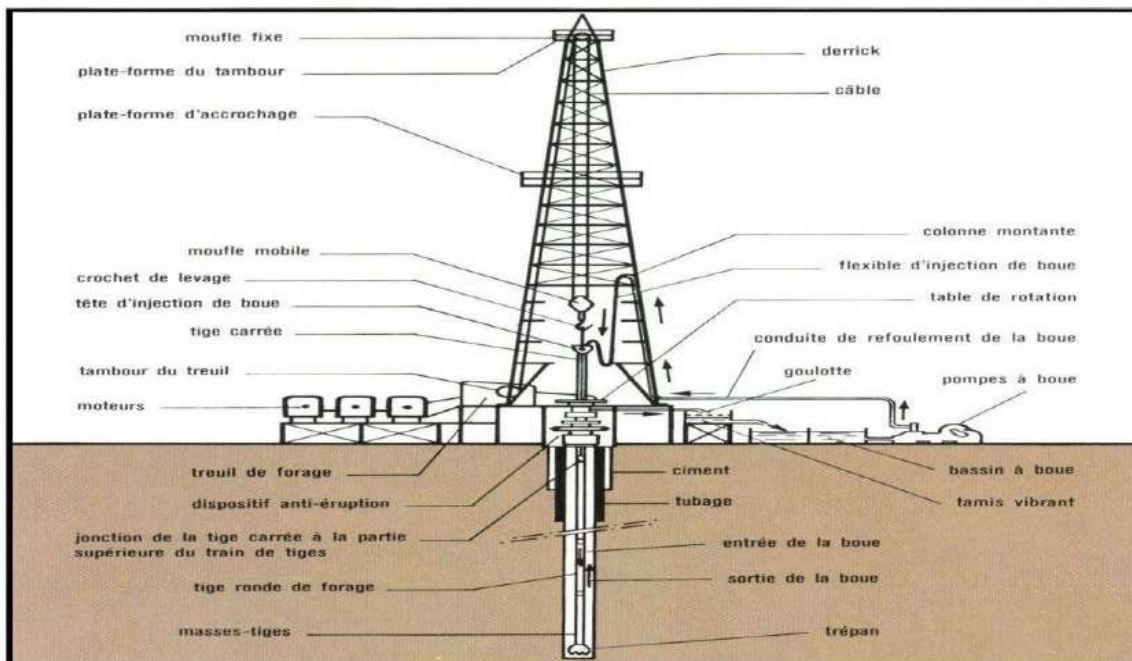


Figure I.4. Description simplifiée d'un appareil de forage.

❖ **Avantage :**

- ✓ La perméabilité de la formation autour du trou est peu perturbée par le fluide de forage.
- ✓ Les forages de grands diamètres sont exécutés rapidement et économiquement
- ✓ Pas de tubage pendant la foration
- ✓ facilité de mise en place de la crépine
- ✓ bons rendements dans les terrains tendres
- ✓ consommation de l'énergie économique [4]

❖ **Inconvénients:**

- ✓ Nécessite beaucoup d'eau
- ✓ Nécessite un grand investissement (matériel très importants)
- ✓ Seuls les sites accessibles peuvent être forés avec ce matériel lourd.[4]

**5.3.1. Paramètres de forage:**

Pour avoir le meilleur rendement d'un atelier de forage rotatif, il convient d'être très vigilant sur les trois paramètres suivants :

**1) Le poids sur l'outil :**

L'avancement s'accroîtra en fonction du poids sur l'outil (qui s'augmente en s'avancant par le montage au fur et à mesure de tiges), mais on est limité dans cette voie par l'usure rapide des lames et des dents et surtout par la détérioration rapide des roulements des outils à molettes. Le contrôle du poids sur l'outil s'opère par le dynamomètre qui mesure la tension du brin (file) mort du câble, il donne le poids de tout ce qui est suspendu au crochet.

## 2) La vitesse de rotation :

La plupart des appareils rotatifs sont munis d'un indicateur donnant la vitesse de rotation de la table (table de rotation). Dans les terrains durs, la vitesse de rotation sera faible ; elle sera plus élevée lorsque les terrains seront tendres.

Cette vitesse qui se calcule en fonction de la vitesse des moteurs et le rapport des transmissions, devra être vérifiée par un appareil de contrôle.

## 3) le débit des pompes (à boue, à air):

la vitesse de remontée des cuttings doit se situer autour de 60 m/min. au minimum. Le choix de la puissance de la pompe et de son moteur sera conditionné par le volume total de boue à mettre en œuvre pour la plus grande profondeur du forage, en tenant compte des pertes de charge, de la viscosité de la boue et de dimensions des tiges [4]

### 5.4. la technique ODEX :

Elle permet de forer dans des terrains à mauvaise tenue nécessitant un tubage de protection. La perforation est assurée par un taillant pilote surmonté d'un alésoir excentrique permettant d'avoir un trou de diamètre supérieur au diamètre du tubage de revêtement.

Ce système permet au tube de revêtement de descendre dans le trou sans rotation à la suite de l'alésoir. Cette technique peut être utilisée par:

-Un équipement fonctionnant hors du trou, c'est-à-dire avec un marteau et son mécanisme de percussion et de rotation situés en surface.

-Un équipement fonctionnant avec un marteau fond de trou dont la rotation est assurée par un moteur situé à l'extérieur, et l'énergie de percussion est assurée en fond de trou par le marteau fond de trou qui assure la foration par l'intermédiaire d'un guide et de l'outil comprenant le taillant pilote et l'alésoir excentrique.[4]

### 5.5. la technique marteau fond de trou (MFT) :

Cette technique permet de traverser des terrains durs.

Le principe repose sur: un taillant à boutons en carbure de tungstène, fixé directement sur un marteau pneumatique, est mis en rotation et percussion pour casser et broyer la roche du terrain.

Le marteau fonctionne comme un marteau piqueur, à l'air comprimé à haute pression (10 à 25 bars) qui est délivré par un compresseur, et permettant de remonter les cuttings. Cette technique est surtout utilisée dans les formations dures car elle permet une vitesse de perforation plus élevée que celles obtenues avec les autres techniques. Elle permet de forer habituellement des trous de 85 à 381 mm [4]

❖ **Avantage:**

- ✓ Elle très intéressante dans les pays où l'eau est très rare.
- ✓ Mise en œuvre rapide et simple.
- ✓ Permet de détecter la présence d'un aquifère lors du forage.[4]

## **6.Fonction d'un appareil de forage : [5]**

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

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

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

Pour la réalisation des opérations ci avant est prévu l'équipement qui se divise en deux parties essentielles

- Equipement de fond.
- Equipement de surface.

### **6.1. Equipement de fond :**

C'est l'ensemble de tous équipements qui travaillent au-dessous de la surface et qui sont en général :

#### **A. L'outil:**

Qui est l'outil assurant la destruction des roches par son mouvement de rotation.



Figure I.5. Le trepan [6]

Les différents types d'outils

Outils PDC			
Roller-cone à inserts	Roller-cone dents d'acier	Outil imprégné	Outil à diamants

Figure I.6. Les différents types d'outils [7]

**B. Les tiges :**

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



Figure I.7. Les tiges [8]

**C. Masse-tige :**

Tige de forage spéciale que l'on visse sur le trépan pour le guider et lester le train de tiges.



Figure I.8. masse-tige [9]

**6.2. Equipement de surface:****Fonction Levage :**

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

**A. 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. La tour :**

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

**b. 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.

**c. Le mât haubané monté sur remorque :**

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

**❖ 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.

**B. La mécanique de levage :****a. Le treuil de forage (draw work) :**

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

Le treuil de forage comprend de façon générale:

- ❖ L'arbre-tambour portant le tambour d'enroulement du câble avec de part et d'autre les tambours de freins ;
- ❖ L'arbre des cabestans qui porte d'un côté une poupée de cabestan, de l'autre d'un cabestan automatique, et au milieu le tambour de curage ;
- ❖ Les arbres de la boîte de vitesses (arbre intermédiaire et arbre d'attaque).



**Fig. I.9 : Treuil de forage [11]**

***b. Le mouflage :***

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

1. Le moufle fixe :

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

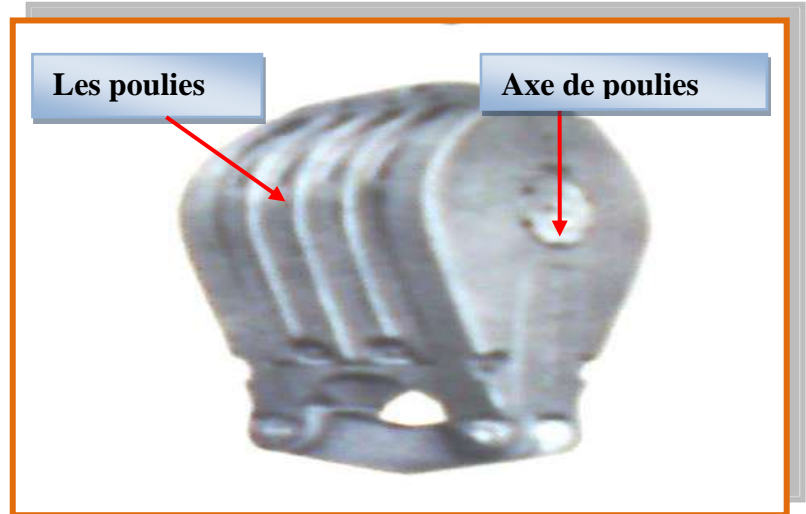


**Fig. I.10: Moufle fixe [11]**



## 2. Le moufle mobile :

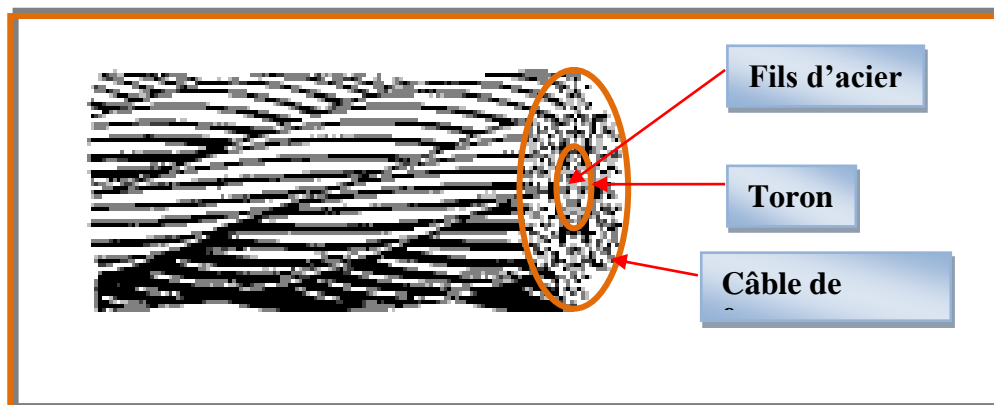
Il est composé également d'une série de poulies montées en parallèle et folle sur un même axe. Le nombre de poulie est égale la moitié du nombre de brins.



**Fig. I.11: Moufle mobile[11]**

## 3. Le câble de forage :

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

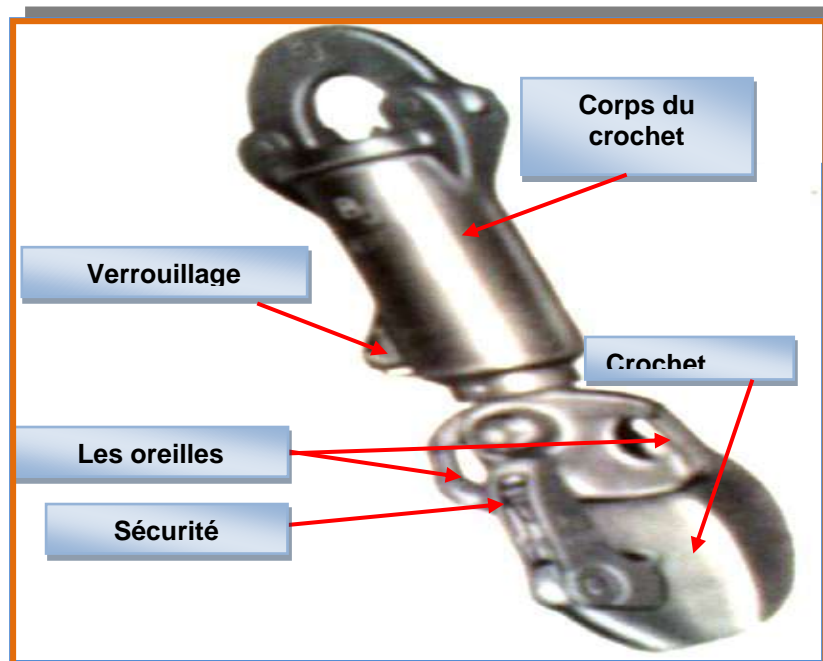


**Fig. I.12: Câble de forage[11]**

c. Le crochet de levage :

Se trouve suspendu directement au moufle mobile. Un système de roulement à billes permet la rotation du crochet autour de son axe sans entrainer celle du moufle mobile. Cette rotation est néanmoins limitée en partie par un système de verrouillage. Un ressort puissant permet à chaque opération de

dévisserie des éléments de train de sonde un dégagement vers le haut de la partie supérieure, ce qui évite la détérioration de filetage.



**Fig. I.13: Le crochet de levage[11]**

#### **d. Les outils de plancher :**

##### 1. Les élévateurs :

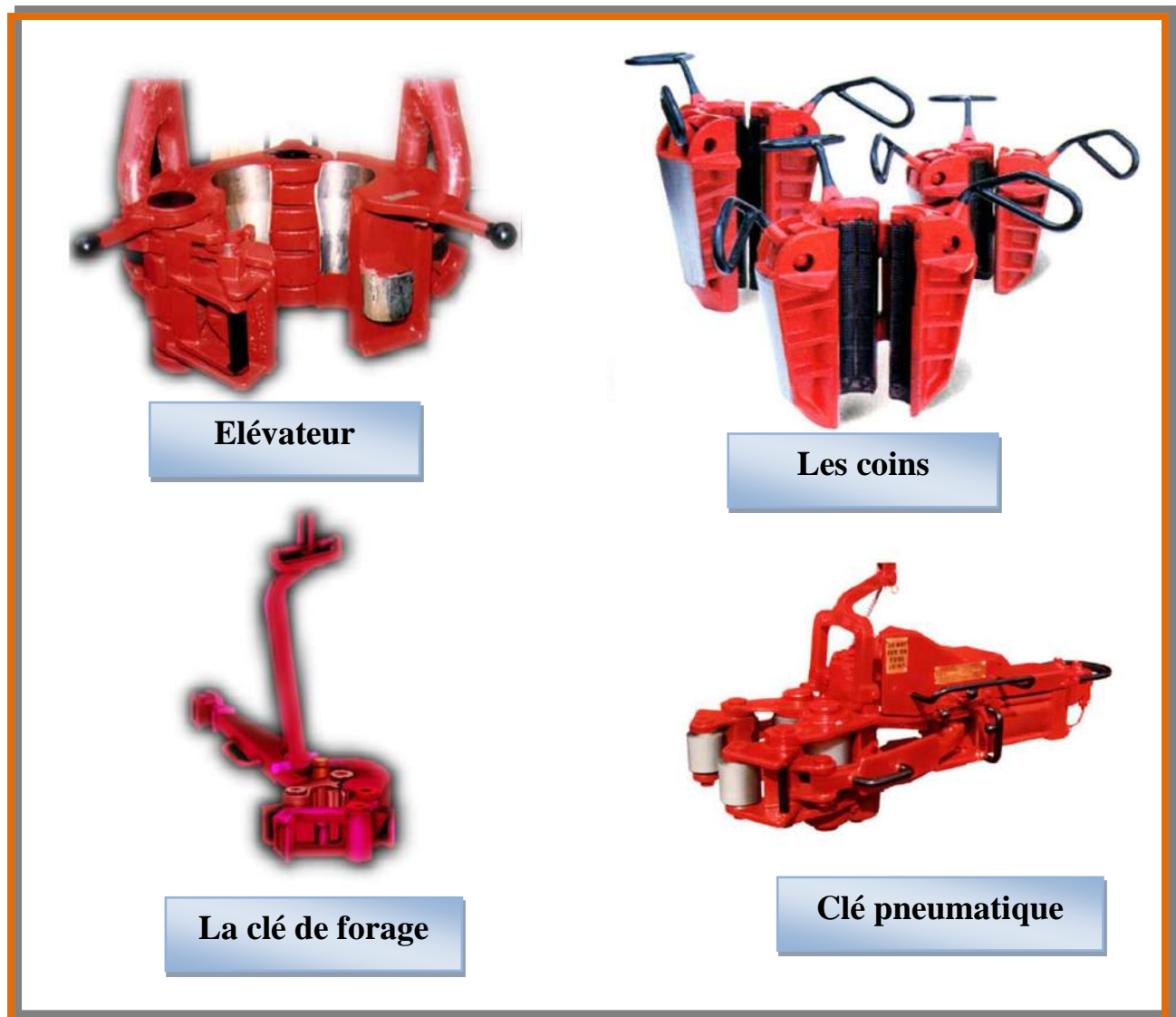
Sont des élévateurs à butée, le tool-joint venant buter sur la partie supérieure de l'élévateur lorsque celui-ci soulève un élément de train de tige.

##### 2. Les coins de retenue :

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

##### 3. Les clés de serrage à mâchoires :

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



**Fig. I.14: Matériels annexe de levage[11]**

### 6.2.1. Fonction Rotation:

#### 1) 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



Figure I.15. La table de rotation[10]

2) 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.

DESCRIPTION DE LA TÊTE D'INJECTION

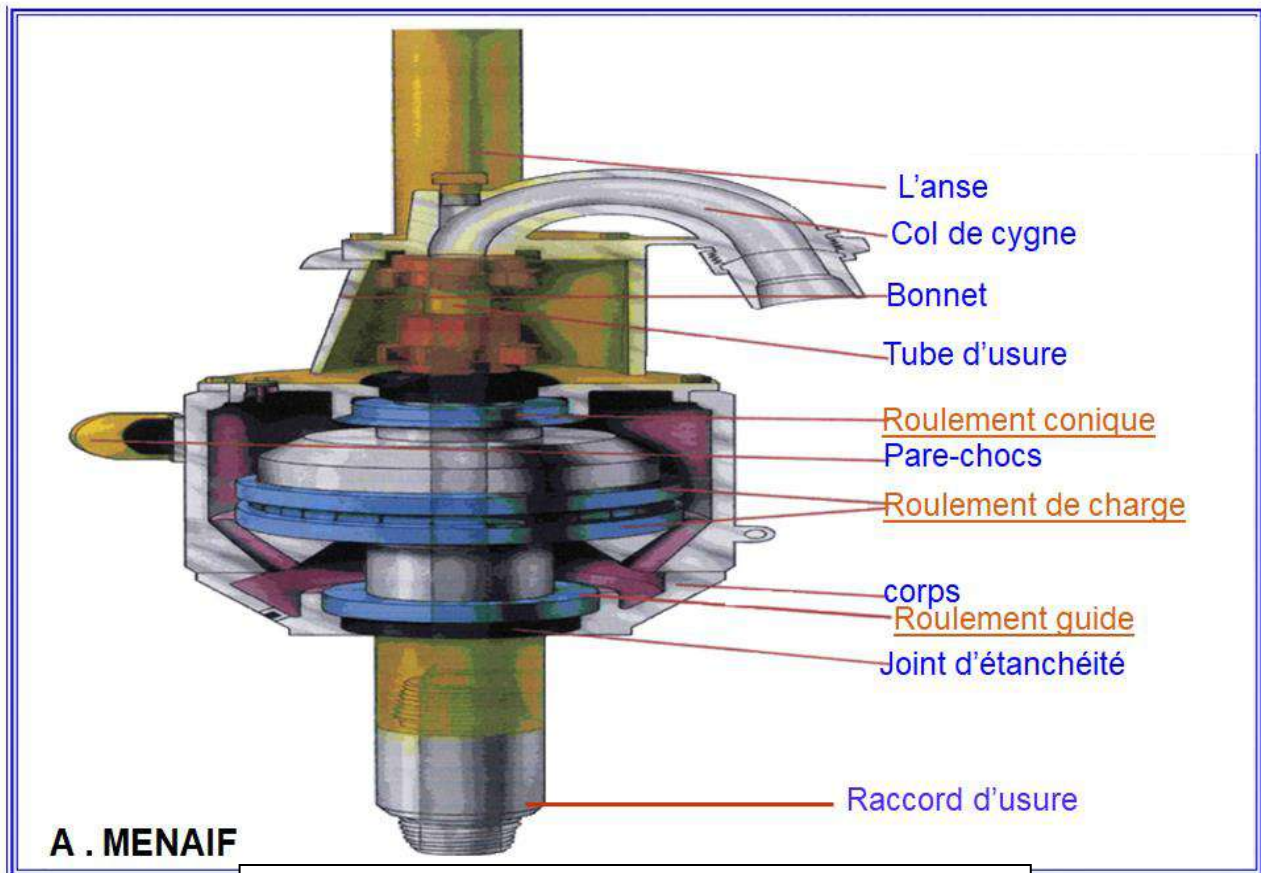


Figure I.16. La tête d'injection[12]

**6.2.2. Fonction pompage :****A. Les pompes 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.



**Figure I.17. La pompe de forage (pompe à boue)[13]**

**B. Les matériels annexes de la fonction pompage:**

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

- Une colonne montante dans le derrick maintenu en suspension, et en dehors de l'aire de travail de plancher.
- Le flexible de refoulement et permet le mouvement vertical de la garniture de forage sur près de deux fois la longueur du flexible.
- Un tube dégueuloir monté entre la tête de puit et le bassin à boue constitue un montage plus soigné qu'une goulotte.
- Des pompes centrifuges.

**6.2.3. Fonction motrice et transmission:****1) A. Les sources d'énergie:**

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.

## **2) Les systèmes de transmissions de puissance :**

### **- Transmission mécanique :**

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

### **- Transmission électrique :**

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

## **6.2.4.Fonction de sécurité: [11]**

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

### **➤ L'installation de l'obturateur de sécurité :**

#### **1) L'obturateur de sécurité :**

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.

#### **2) Le système de commande:**

L'ensemble de commande des obturateurs est équipé d'une pompe, d'un dispositif hydraulique d'entraînement qui maintient une pression constante, et d'un groupe hydraulique d'accumulation à diaphragme de haute pression.

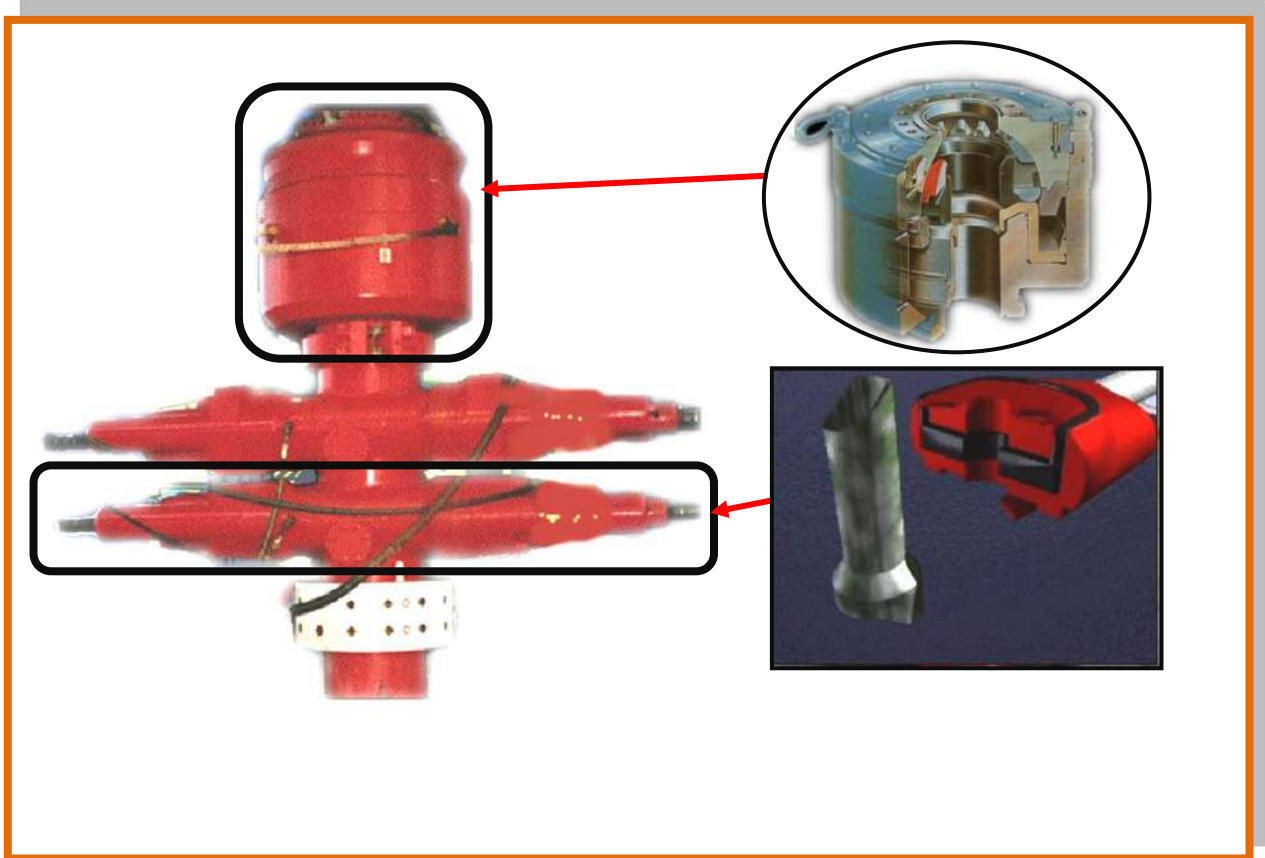


Fig. I.18: L'obturateur de sécurité[11]

**Chapitre II :**  
**LE FLUIDE DE**  
**FORAGE**



### 1. Définition d'un fluide de forage :

Un fluide de forage ou boue de forage est un système composé de différentes combinaisons liquides (eau, huile, ...), gazeuses (air ou gaz naturel) contenant en suspension une phase solide (argile, déblais, ciments, ...). C'est un fluide non newtonien, visqueux ou viscoélastique, le plus souvent thixotrope [15]. Depuis le siècle dernier, le développement des exploitations pétrolières s'avère d'une grande importance d'exploitation d'un gisement pétrolier nécessite plusieurs opérations ; [14]

- Localisation de la roche réservoir et confirmation de la présence des hydrocarbures.
- Evaluation de la viabilité économique du développement.
- Le forage et la mise en production des puits de pétrole et de gaz.

Par ailleurs, le succès d'une opération de forage est assuré en grande partie par le bon choix du fluide de forage.

Nous présenterons les principaux rôles et caractéristiques des fluides de forage.

### 2. Les fonctions du fluide de forage :

La plupart des manuels de fluide de forage listent entre 10 à 20 fonctions que le fluide de forage exécute tout en forant un puits. En général, les principaux rôles du fluide de forage sont :

- Assurer la remontée des déblais du fond du puits jusqu'à la surface grâce à la circulation d'un fluide visqueux dans l'espace annulaire.
- Maintenir les déblais en suspensions lors d'un arrêt de circulation dans le but d'empêcher la sédimentation des déblais grâce à la nature thixotropique du fluide afin de redémarrer le forage sans coincement.
- Refroidir et lubrifier l'outil pour éviter l'usure rapide des pièces métalliques en mouvement.

Maintenir les parois du puits en raison de la pression hydrostatique exercée par le fluide en écoulement qui est en général supérieure à la pression des formations forées, ce qui permet d'empêcher la déstabilisation des terrains et de contrôler la venue des fluides de formation traversée.

Du fait de cette différence de pression, le fluide va filtrer dans les formations perméables et dépose un film sur la paroi appelé « cake de filtration ». Ce gâteau permet de réduire la perméabilité des parois et d'isoler le fluide de forage de la formation à moins que ce film ne devienne pas épais afin d'éviter une diminution du diamètre nominal du trou et un risque de coincement de l'outil.

- Remonter les informations géologiques sur les formations traversées lors du forage en raison de l'évolution des propriétés physico-chimiques du fluide (température,

pH, teneur en gaz, chlore,).

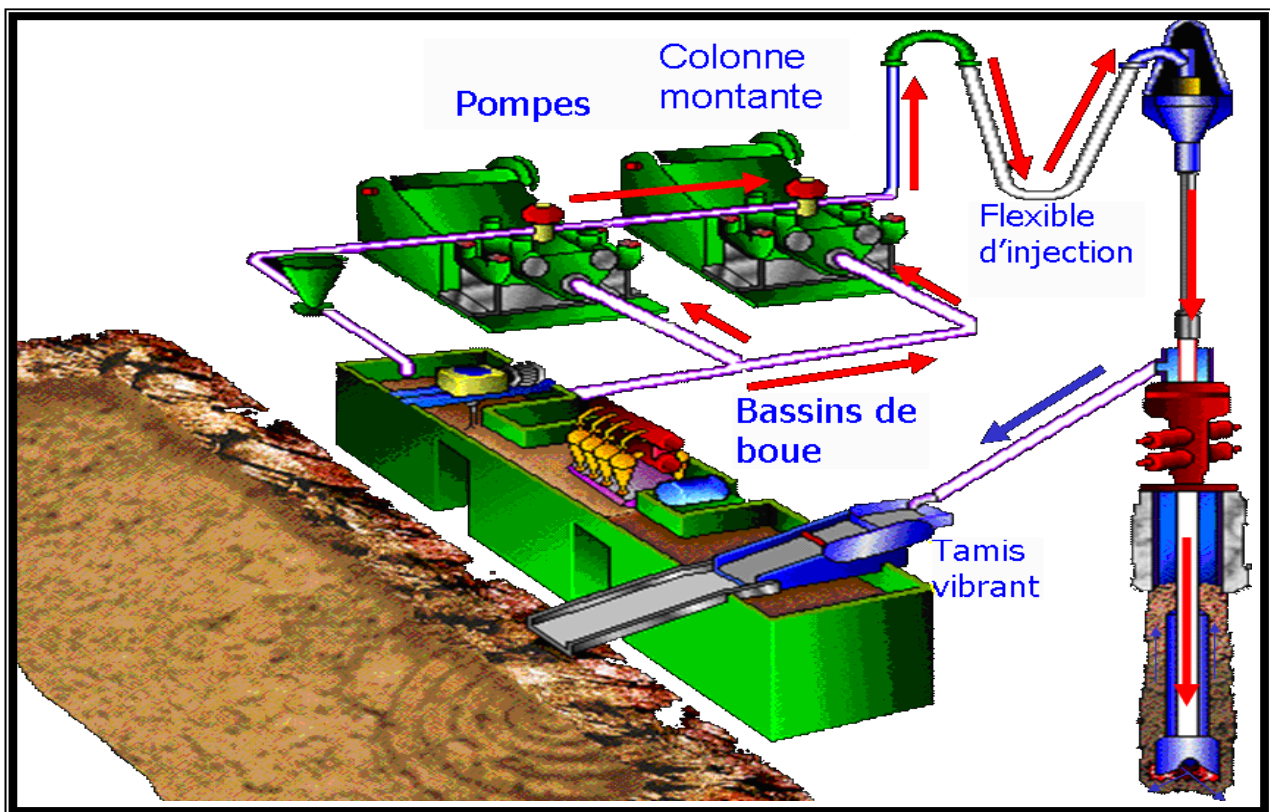
- Enfin, la boue ne doit pas être corrosive ni abrasive pour l'équipement, ni toxique ou dangereuse pour le personnel et ne risque pas de provoquer des incendies.

### 3.Circulation du fluide de forage :

La boue de forage est en circulation continue durant toute la durée du forage aussi bien dans le sondage qu'en surface.

Le fluide est préparé dans les bacs à boues ; il est injecté à l'intérieur des tiges jusqu'à l'outil, ensuite, il remonte par l'espace annulaire chargé de déblais formés au front de taille.

A la sortie du puits, il subit divers traitements, (tamisage, dilution, ajout de produit,) de telle façon à éliminer les déblais transportés et à réajuster ses caractéristiques physico-chimiques et rhéologiques par rapport aux valeurs importantes (avant injection).



FigureII.1:Schéma de circulation de la boue sur le site de forage[14].

### 4.Classification des fluides de forage:

Traditionnellement, les fluides de forage sont classés en trois catégories en accord avec le fluide de base utilisé dans leur préparation. C'est-à-dire : l'air, l'eau et l'huile

#### 4.1. Les fluides à base d'huile :

Les boues à l'huile sont choisies pour leur stabilité à des hautes températures, lubrification et attributs stabilisants le trou de puits, bien qu'elles aient des propriétés particulières, il est difficile de les assurer

qu'avec des boues à l'eau, leur utilisation occasionnent quelques difficultés, tels que la manipulation spéciale et les problèmes environnementaux.

Les boues à base d'huile sont des émulsions inverses dont la phase continue est une huile organique ou minérale (pétrole brut, gaz oil, ...) et la phase dispersée (discontinue) est une solution aqueuse de 50% en volume au maximum qui garde l'avantage d'une phase externe constituée par l'huile. Des agents viscosifiants, émulsifiants, stabilisants, fluidifiants et alourdissant sont alors additionnés. Ces fluides présentent une insensibilité aux contaminants (NaCl, KCl, argile, ...), une réduction du frottement de la garniture sur les parois du puits et un endommagement limité de la formation, d'où une meilleure productivité, à moins qu'ils posent des problèmes écologiques (pollution), ils peuvent contaminer le laitier de ciment et ils sont très coûteux.

Actuellement, des fluides à base d'huile non toxique (huiles végétales) sont de plus en plus utilisés ainsi que les fluides à base d'eau.

#### **4.2. Les fluides à base d'eau :**

Ces fluides sont les plus utilisés dans le domaine du forage. Ils sont généralement constitués par des suspensions d'argile (bentonite, ...), des solides inertes (carbonates, ...) dont les caractéristiques rhéologiques sont corrigées par addition de polymères viscosifiants (Xanthane, ...). Des réducteurs de filtrat entre également dans la composition (carboxyméthylcellulose, polymères synthétiques)

Ces fluides sont moins coûteux et moins polluants; cependant, la dégradation thermique des polymères utilisés dans ces formulations présente un inconvénient majeur pour le bon déroulement d'une opération de forage (domaine de stabilité thermique du xanthane 120 °C – 138 °C).

Il est possible de classer ce type de fluides en trois catégories :

- Boues douces (boues bentonitiques);
- Boues salées.
- Boues salées saturées.

#### **4.3. Les fluides de forage gazeux :**

Ce sont des fluides dont la phase continue est du gaz mélangé avec de l'eau en proportions variables provenant de la formation traversée (inévitablement) ou ajoutés intentionnellement. Le gaz peut être de l'air, du gaz naturel, de la mousse ou du brouillard

### **5. Composition des fluides de forage:**

Le choix de la formulation à utiliser va dépendre de la formation rocheuse à traverser, des contraintes environnementales et économiques ainsi que des possibilités d'approvisionnement sur place des produits à boue. Différentes formulations peuvent être utilisées sur un même forage selon les couches géologiques traversées. Les boues à l'huile donnent généralement de meilleurs résultats (meilleures lubrifications,

minimisation de l'endommagement des formations productrices, résistances aux hautes températures) mais sont généralement plus chères et posent des problèmes écologiques.

### 5.1. Les composants de la boue de forage et leur rôle:

Les propriétés que l'on exige des boues de forage sont multiples et peuvent parfois même être contradictoires. Les boues doivent, par exemple, être très visqueuses pour assurer la remontée des déblais, mais la viscosité ne doit pas être trop élevée afin de diminuer les pertes de charge dues à l'écoulement et éviter la fracturation de la formation. De nombreux composants multi-fonction sont donc ajoutés à la boue pour obtenir les propriétés désirées.

Il est possible de classer grossièrement ces composants en 20 catégories.[16]

représentées dans le tableau I.1 :

**Tableau II.1:** Les catégories des composants utilisés dans les fluides de forage

1	Contrôleur d'alcalinité	11	Lubrifiant
2	Bacéricides	12	«Décoiçant»
3	Anti-calcium	13	Inhibiteur de gonflement des argiles
4	Inhibiteur de corrosion	14	Produits facilitant la séparation
5	Anti-mousse	15	Stabilisateur haute température
6	Agent moussant	16	Défloculant
7	Emulsifiant	17	Viscosifiant
8	Réducteur de filtrat	18	Alourdissant
9	Floculant	19	Fluide de base aqueux (saumure)
10	Colmatant	20	Fluide de base oléagineux

### 5.2 Formulation des boues de forage:

Les boues de forage sont donc des formulations extrêmement complexes comprenant des additifs de fonctions multiples. Pour éviter des problèmes de reproductibilité sur chantier, la profession a normalisé la préparation et la caractérisation des fluides de forage par les normes éditées par l'API (American Petroleum Institute), pour la formulation sur site et au laboratoire pour la caractérisation des propriétés. La formulation proprement dite de la boue est optimisée (généralement par le fournisseur des produits), le temps et l'ordre d'agitation de chaque produit étant défini. Au laboratoire, sont utilisés des agitateurs normalisés (exemple, Hamilton Beach mixer pour les boues à base d'eau) alors que sur site, le mélange se fait dans des bacs à boues soumis à l'agitation. Chaque formulation spécifique est caractérisée et optimisée en laboratoire avant d'être utilisée, toutefois, la boue subit, au cours de sa circulation dans le puits, de nombreuses contraintes et peut être affectée par des événements liés au forage (venues d'eau, venues de gaz...); il est donc important de contrôler les propriétés en cours de forage et en particulier les propriétés rhéologiques, à savoir, la viscosité et la yield point.

### 5.3 Contrôle et caractérisation des propriétés:

Tout comme la formulation des boues, le contrôle et la caractérisation des boues de forage sont réalisés selon des normes précises éditées par l'API. Là aussi, il faut employer un appareillage spécifique et des protocoles particuliers. Certaines mesures sont réalisées systématiquement sur tous les forages (viscosité, densité, filtration) et d'autres, selon le coût et les possibilités du forage (taux de gaz, alcalinité). Sur site, un responsable boue (appelé le « boueux ») est chargé du contrôle de la qualité de la boue. A partir des mesures réalisées et de ses connaissances, il corrige, si nécessaire, la composition de la boue en « Temps réel » en ajoutant certains produits ou en reformulant la boue. Les outils disponibles pour contrôler sur site la rhéologie de la boue sont de deux types : tout d'abord, un outil encore très largement utilisé est le viscosimètre Marsh ; le deuxième type d'appareil utilisé sur chantier est un rhéomètre rotatif FANN 35 réalisant une mesure de contrainte pour 2 ou 6 valeurs du cisaillement selon les appareils. A partir de ces mesures, les normes API imposent de calculer trois paramètres correspondant à un modèle de Bingham : VP (viscosité plastique), YP (contrainte seuil) et VA (viscosité apparente). Deux autres mesures sont réalisées afin de caractériser la « thixotropie » de la boue : Gel0 et Gel10 qui sont des mesures de contrainte à très faible vitesse normalisée après, respectivement, 10 secondes et 10 minutes de repos. Ces mesures sont nécessaires et doivent être réalisées si on envisage une application au chantier pour une formulation de boue.[17]

Les conditions existantes sur site doivent être prises en compte lors du contrôle des propriétés et posent des difficultés supplémentaires. Deux exemples peuvent être donnés : tout d'abord, l'information tirée de la mesure est une information « retardée ». En effet, la boue circule dans le puits et une modification éventuelle de la rhéologie du fluide dans le puits ne sera détectée qu'au moment de la mesure en surface, il faut donc prendre en compte ce temps de remontée de la boue. D'autre part, la circulation dans le puits impose des valeurs élevées de pression et de température.

Il est donc nécessaire de mesurer ou prévoir la rhéologie des fluides aux hautes températures et pressions ainsi que la tenue des additifs soumis à ces conditions .

#### **5.4. Paramètres physiques et chimiques:**

##### **a) La viscosité:**

La viscosité est la principale propriété des boues de forage, mais la densité est la seconde. Dans l'opération de forage, la pression au fond du trou doit être contrôlée soigneusement. La pression dans le puits doit excéder la pression des formations géologiques et ne doit pas aller au-dessus de la pression de rupture des différentes roches forées. En dessous de cette gamme de pression, les venues de fluide ou de gaz peuvent endommager l'opération de forage, et au-dessus d'elle, les pertes de boue ou l'instabilité mécanique du puits pourrait se produire. Un produit sous forme de poudre (barytine ou calcaire) est ainsi employé comme matière de charge. Le mélange ou la dilution permet une commande précise de sa valeur.

A cause de cette pression de contre-balancement en conditions normales de forage, une diffusion du fluide dans les milieux poreux est possible. Pour diminuer autant que possible cette invasion, un produit de filtration appelée cake est formée sur les parois du trou foré. Ce film doit être de perméabilité faible et doit être facilement enlevé quand les opérations de cimentage ou d'accomplissement se produisent.

La notion de viscosité traduit une résistance à la déformation ou bien au glissement relatif des couches adjacentes du fluide les unes par rapport aux autres.

C'est une grandeur d'intérêt capital en rhéologie ; sa connaissance suffit parfois à caractériser de façon précise le comportement rhéologique du matériau. On définit différents coefficients de viscosité

- **La viscosité dynamique ou apparente  $\mu_a$ :**

C'est le rapport de la contrainte par la vitesse de cisaillement correspondante.

$$\mu_a = \tau / \dot{\gamma} \quad [\text{N.s/m}^2] \text{ ou } [\text{Pa.s}] \quad [18]$$

- **La viscosité cinématique  $\nu$ :**

$$\nu = \mu_a / \rho \quad [\text{m}^2/\text{s}] \quad [18]$$

$\rho$  : masse volumique du fluide  $[\text{kg/m}^3]$ .

La viscosité cinématique est le quotient de la viscosité dynamique par la masse volumique du fluide. Elle représente la capacité de rétention des particules du fluide et quantifie sa capacité à s'épancher.

- **La viscosité relative, spécifique, intrinsèque:**

Elle est utilisée souvent dans l'étude des solutions ou des suspensions pour déterminer les influences respectives du soluté et du solvant sur le comportement rhéologique

- **La viscosité relative:**

$$\mu_{\text{rel}} = \mu / \mu_s \quad [18]$$

- **Viscosité spécifique:**

$$\mu_{\text{spé}} = (\mu - \mu_s) / \mu_s = \mu_{\text{rel}} - 1 \quad [18]$$

- **Viscosité intrinsèque:**

$$[\mu] = \lim_{\substack{c \rightarrow 0 \\ \dot{\gamma} \rightarrow 0}} [\mu_{\text{sp}} / C] \quad [18]$$

$$\begin{aligned} c &\rightarrow 0 \\ \dot{\gamma} &\rightarrow 0 \end{aligned}$$

où:

$\mu$  et  $\mu_s$  : représentent respectivement la viscosité dynamique de la solution et du solvant, C : représente la concentration de solution,

$\mu_{rel}$  et  $\mu_{sp}$  : sont des grandeurs sans dimension,

[ $\mu$ ] : est homogène à l'inverse d'une concentration

### **B) Ladensité:**

La densité est un paramètre important des boues de forage. Elle doit être suffisamment élevée pour contrebalancer la pression exercée par 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 parois du puits (formations traversées) pour ne pas les fracturer et pour ne pas avoir une perte de boue au cours de sa circulation.

La boue exerce une pression sur les parois du puits donnée par l'expression suivante [18]:

$$p = \frac{h * d}{10}$$

Où:

P : Pression de la formation ; en Kgf/cm<sup>2</sup>

h : Profondeur de la couche traversé ; en m

d : Densité de la boue.

10 : Pesanteur. [18]

### **c) Lafiltration:**

#### **c).1. Principe fondamental de la filtration:**

Les fluides de forage sont des suspensions composées d'une phase liquide et des particules solides. La filtration se réfère à la phase liquide du fluide de forage forcé à traverser la formation perméable causé par la différence de pression. Durant ce processus les particules solides sont retenues à la surface de la paroi, formant un cake de filtration. La perméabilité c'est la capacité d'un fluide à s'écouler a travers une formation poreuse.

Les systèmes de boue doivent être conçus pour sceller les zones perméables aussi vite que possible avec des cakes lisses et minces. Dans les formations de haute perméabilité avec de larges pores, toute la boue pourrait envahir la formation (selon la taille des particules solides de la boue). Dans de telles situations des agents de liaisons doivent être utilisés pour arrêter les pertes de boue. La taille des agents de liaisons

doit être la moitié de la taille des pores de la formation. On peut citer dans cette gamme, les carbonates de calcium, les dérivées de la cellulose et une large variété d'autres matériaux réducteurs de filtrat.

Deux sortes de filtrations ont lieu pendant le forage : la filtration statique pendant arrêt de la circulation du fluide, et la filtration dynamique au cours de la circulation du fluide qui entraîne une érosion du cake formé. Le volume du filtrat est fonction :

De la nature de la formation ;

- Du temps;
- De la pression différentielle;
- De la viscosité du fluide;
- De la température;
- De la distribution en taille des particules.

Les propriétés de filtration des fluides de forage sont évaluées et contrôlées par des tests API. Ce sont des tests en régime statique utilisant un filtre presse standardisé.

Ces tests peuvent être réalisés à hautes pressions et hautes températures.

De nombreux travaux et études ont été sur la filtration et l'évolution de ses paramètres sous différentes conditions inhérentes au forage.

- **La filtration statique:**

Le processus de filtration statique des suspensions classiques des particules solides dans un liquide est d'une manière générale bien connu ; (Fergusson et Klotz, 1954), (Glen et Slussers, 1957) ont étudié plus particulièrement le cas des boues de forage.

Fergusson et Klotz ont montré que la filtration de ces fluides ne suit qu'en partie la théorie classique résumée comme suit:

$$V = K \cdot t^{1/2} \quad [18]$$

Avec :

V : volume filtré de liquide (cm<sup>3</sup>/s) ;

K: perméabilité du cake (1 darcy = 1 μm<sup>2</sup>);

t: temps mesuré du début de la filtration (s). [18]

- **Equation de la filtration :**



Lors de la filtration statique, le cake s'épaissit continuellement au cours du processus. D'après la loi de Darcy, la vitesse de filtration à travers un cake de porosité donnée par approximation est de la forme suivante :

$$dV/dt = \Delta P / \mu \cdot e \cdot A \quad [18]$$

P : pression (Kgf/cm<sup>2</sup>); A : surface (cm<sup>2</sup>);

$\mu$  : viscosité (cP);

V : volume filtré pendant un temps (cm<sup>3</sup>/s) ; e : épaisseur du cake après un temps (cm) ;

t : temps (s);

K : perméabilité du cake (1 darcy = 1 $\mu$ m<sup>2</sup>).

- **La filtration dynamique:**

La filtration dynamique est nettement différente de la filtration statique, souvent avec des taux de filtration plus considérables. Il n'existe aucune corrélation directe entre les mesures de filtration statique API, HTHP et la filtration dynamique.

Aussitôt que le trépan est en contact avec une roche perméable, que la filtration dynamique débute.

- **Rôle du filtrat :**

- Le filtrat est d'une importance capitale dans le forage d'un puits ; il doit être suffisamment élevée pour augmenter la vitesse d'avancement, suffisamment bas pour ne pas déliter ou faire gonfler les formations argileuses et marneuses et pour éviter les coulages du matériel tubulaire en face des zones perméables (calcaire, dolomie, grès, etc.). Il ne doit pas envahir les formations productives, car il peut occasionner des émulsions avec l'huile en place ou modifier la porosité et la perméabilité de ses formations et fixer le filtrat que doit posséder la boue est un problème délicat qui nécessite une grande connaissance des problèmes et des objectifs de forage.
- Le filtrat est d'une importance capitale dans le forage d'un puits ; il doit être suffisamment élevée pour augmenter la vitesse d'avancement, suffisamment bas pour ne pas déliter ou faire gonfler les formations argileuses et marneuses et pour éviter les coulages du matériel tubulaire en face des zones perméables (calcaire, dolomie, grès, etc.). Il ne doit pas envahir les formations productives, car il peut occasionner des émulsions avec l'huile en place ou modifier la porosité et la perméabilité de ses formations et fixer le filtrat que doit posséder la boue est un problème délicat qui nécessite une grande connaissance des problèmes et des objectifs de forage.

**Le pH :**

Une solution aqueuse peut contenir divers ions ; elle possède toujours une plus ou moins grande quantité, d'ions  $H^+$  et  $OH^-$  dissociés.

Pratiquement, le pH des boues de forage couramment utilisées varie entre 6 et 13,5. Les boues dont le pH est inférieur à 10,5 sont dites à bas pH, celles dont le pH est supérieur à 10,5 sont dites à pH élevé.

Le pH est mesuré :

- soit par une méthode colorimétrie (papier pH ou indicateurs colorés);
- soit par une méthode électrométrique (pH-mètre), au moyen d'électrodes en verre.

### **Le L'alcalinité:**

La mesure du pH est insuffisante pour permettre un bon contrôle des propriétés de la boue de forage. Elle est d'ailleurs parfois difficilement à contrôler, surtout aux pH élevés, car elle manque de sensibilité.

Une mesure complémentaire s'avère nécessaire, c'est celle des alcalinités. Lorsque le pH apporte la concentration en ions  $H^+$  (ou  $OH^-$ ) libres, la mesure des alcalinités donne les concentrations en bases solubles ou insolubles. Dans les boues de forages, ces bases sont principalement des carbonates, bicarbonates et hydroxydes et à un degré moindre, les silicates, les phosphates, les aluminates et les bases organiques.

Trois alcalinités sont mesurées en pratique : pb, pf, Mf ; où b signifie boue, f filtrat, p phenol phtaléine, M méthylorange ; le virage à la phenol phtaléine se produit à pH égale à 8,2 et celui du méthylorange est de 4,2.

- **L'alcalinité pb:**

C'est la quantité d'acide  $H_2SO_4$ , N/50 nécessaire pour neutraliser 1  $cm^3$  de boue, diluer avec de l'eau distillée. Le dosage doit être très rapide, car ce dosage a pour but de déterminer la teneur de la boue en  $Ca(OH)_2$ , souvent, en présence de carbonates.

- **L'alcalinité pf et Mf:**

Elle est déterminée de la même façon que l'alcalinité pb, sauf qu'on utilise 1  $cm^3$  de filtrat de la même boue. Une boue à l'amidon, à pH élevé, doit effectivement contenir des ions  $OH^-$ . C'est une garantie contre la fermentation de l'amidon.

- **Paramètres rhéologiques:**

La connaissance du comportement rhéologique des boues de forage est d'une importance capitale pour bien cerner tout son écoulement et pour savoir par quelle loi rhéologique cette boue est régie. La loi la plus simple du comportement est représentée par le modèle dit newtonien, tandis que les autres types

de fluides sont qualifiés de non newtoniens. Les caractéristiques les plus recherchées par l'étude rhéologiques sont :

**e).1. La viscosité plastique (VP)M :**

Elle dépend avant tout de la teneur en solides contenus dans la boue. Une augmentation de viscosité plastique ne pourra être donc combattue que par l'élimination des solides. Par ailleurs, la viscosité plastique est également liée à la taille des particules, et à leur forme.

$$VA = L_{600} / 2 \text{ (cP)}$$

$$VP = L_{600} - L_{300}$$

$$\text{(cP)} \quad [18]$$

**e).2. La contrainte seuil ou « Yield value » (YP):**

Les solides présents dans la boue de forage influencent un autre paramètre autre que la viscosité plastique ; c'est la contrainte seuil plus connus sous le nom de yield value ou yield point. La contrainte seuil est la mesure de résistance initiale à franchir pour que le fluide s'écoule. Cette résistance est due aux forces électrostatiques attractives localisées sur ou près de la surface des particules. C'est une mesure dynamique. La contrainte seuil dépend des types des solides présents, de leurs charges de surface, respectives, de la concentration de ces solides, du type et la concentration des autres ions ou sels qui peuvent être présents.

$$YP = L_{300} - Vp \text{ (lb/100ft}^2\text{)} \quad [18]$$

$L_{600}$  et  $L_{300}$  sont les lectures respectives à 600 rpm et 300 rpm sur le rhéomètre FANN 35.

**e).3. Gels:**

Une boue de forage laissé au repos édifie progressivement une structure qui augmente sa rigidité et qui peut être réduite par agitation. On appelle thixotropie le fait que ce phénomène soit réversible et non instantané.

Le caractère thixotropique d'une boue est évalué en mesurant d'une part le gel 0 et d'autre part le couple après un repos de la boue de 10 min, ce qui est appelé le gel 10.

Le gel 0 varie pratiquement comme la viscosité plastique et le gel 10 comme la contrainte seuil avec cependant, pour ce dernier, une sensibilité particulière au traitement chimique.

- **Le gel 0 :** Il représente la résistance du gel aussitôt après agitation de la boue. Il est mesuré à l'aide du viscosimètre du type FANN35 à une vitesse de 3 tr/min. il est exprimé en lb/100ft<sup>2</sup>.

- **Le gel 10** : Il représente la résistance du gel après un repos de la boue de 10 minutes, la mesure est faite de la même manière que pour le gel 0. Il est exprimé en  $\text{lb}/100\text{ft}^2$ .

### 6. Filtration et endommagement des formations:

La connaissance des causes et l'importance du phénomène de colmatage des abords du puits par la boue de forage présente un intérêt évident. En effet, elle doit permettre, dans la mesure du possible de prévenir l'endommagement catastrophique, par le choix d'un fluide adéquat et de conditions de mise en œuvre convenable.

Nous rappelons ici que concernant le colmatage, les facteurs à prendre en compte sont liés:

- A la roche (perméabilité, porosité, répartition des pores, nature minéralogique, mouillabilité) ;
- Aux fluides qu'elle contient (nature, propriétés chimiques, caractéristiques physico- chimiques, pression, température);
- A la boue elle-même (composition, caractérisation rhéologiques) et à ses éléments de filtration, au cake (épaisseur, perméabilité, résistance mécanique, grosseur des particules) et au filtrat (nature, propriétés chimiques et physico-chimiques).

Lorsque le fluide de forage se trouve en contact avec une surface nouvellement foré, il pénètre immédiatement dans celle-ci. Puis, la pénétration étant limitée, certains pores sont obstrués par des particules en suspension dans le fluide et celles résultant du broyage de la roche par l'outil, c'est-à-dire, lors de formation du cake interne. Cette obstruction dépend des dimensions relatives du pore et de la particule.

- Si cette dernière est plus grande que l'ouverture du pore, elle est balayée par le courant du fluide de forage;
- Si elle est petite par rapport à l'ouverture, elle pénètre librement dans le pore ; si elle possède une certaine dimension critique, elle s'agglutine à d'autres particules dans le goulot d'étranglement que constitue l'entrée du pore et l'obstrue;
- Il est évident que la formation du cake interne dépend des caractéristiques du milieu filtrant.
- Des particules de dimensions comprises entre:
  - a. Une valeur légèrement inférieure à l'ouverture de pores les plus larges;
  - b. Une valeur égale à environ le tiers de cette ouverture.

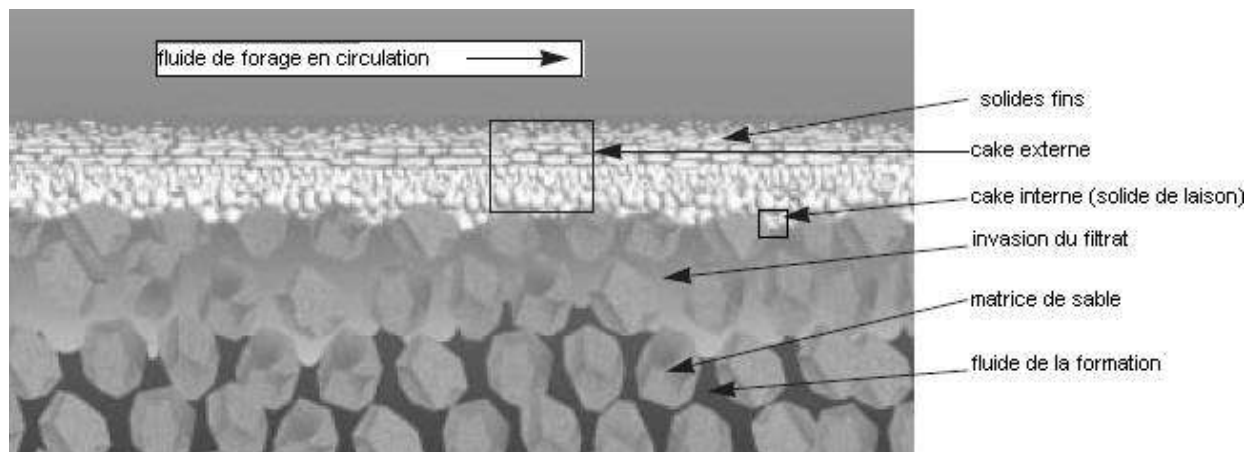
Particules plus petites atteignant le domaine colloïdal susceptible de boucher les pores les plus fins et les interstices entre les fractions les plus grossières déjà déposées.

L'obstruction du milieu poreux est d'autant plus rapide que la concentration en particules susceptible, de la provoquer est plus élevée

Une fois l'obstruction amorcée, les éléments les plus fins sont à leur tour retenus. Seule la phase liquide envahit la formation, tandis que la phase solide se dépose à l'extérieur, le long de la paroi, en constituant le cake externe.

Comme le montre la figure I.2, différentes zones peuvent être distinguées du puits vers la formation:

- Le cake externe qui tapisse la paroi;
- Le cake interne qui s'étend sur une épaisseur équivalente à quelques diamètres des grains;
- La zone envahie par le filtrat lors de la pénétration immédiate.



**Figure II.2 : Les différentes zones de pénétration du fluide de forage en circulation**

Un des paramètres critiques pour la prédiction de l'invasion de la formation par la boue est la perméabilité du cake et sa variation avec la pression. Des tests de filtration

Dynamique sur roche réalisés avec des boues à base d'eau, montrent que:

- La formation d'un cake de faible perméabilité sur la paroi est importante pour prévenir une invasion de la formation par les particules solides et le filtrat, et obtenir un minimum d'endommagement ;
- L'épaisseur du cake externe dépend de la viscosité de la suspension, du taux de cisaillement et de la perméabilité de la roche;

- Au tout début de la filtration, avant que le cake ne soit formé, le filtrat est contrôlé par la perméabilité de la roche. La force responsable de l'adhésion des particules à la surface est fonction de la vitesse de filtration. Si le milieu filtrant a une très faible perméabilité il est possible que le taux de filtration soit si faible, qu'une particule ne puisse se déposer. Dans ce cas, aucun cake externe ne sera formé et le flux de filtrat sera directement contrôlé par le milieu filtrant. On peut donc parler d'une perméabilité critique de la roche en dessous de laquelle aucun cake externe ne peut être formé pour un taux de cisaillement donné. En général, cette perméabilité critique se situe entre 0,1 et 1 md.

De la même façon, quand la perméabilité de la roche est très grande, il n'y a pas, non plus, de formation de cake externe.

La perméabilité critique est considérée réduite quand la pression différentielle augmente. Cela peut être particulièrement utile si l'on veut limiter l'invasion d'un milieu par les particules solides.

Il existe également une pression différentielle critique en dessous de laquelle aucun cake ne se forme, ce qui résulte en une invasion plus profonde du milieu par les particules solides et le filtrat. Cette influence est marquée pour les roches de faible perméabilité ( $K < 1 \text{ mD}$ ).

Un des paramètres critiques pour la prédiction de l'invasion de la formation par la boue est la perméabilité du cake et sa variation avec la pression. Des tests de filtration dynamique sur roche réalisés avec des boues à base d'eau, montrent que:

- La formation d'un cake de faible perméabilité sur la paroi est importante pour prévenir une invasion de la formation par les particules solides et le filtrat, et obtenir un minimum d'endommagement;
- L'épaisseur du cake externe dépend de la viscosité de la suspension, du taux de cisaillement et de la perméabilité de la roche;
- Au tout début de la filtration, avant que le cake ne soit formé, le filtrat est contrôlé par la perméabilité de la roche. La force responsable de l'adhésion des particules à la surface est fonction de la vitesse de filtration. Si le milieu filtrant a une très faible perméabilité, il est possible que le taux de filtration soit si faible, qu'une particule ne puisse se déposer. Dans ce cas, aucun cake externe ne sera formé et le flux de filtrat sera directement contrôlé par le milieu filtrant. On peut donc parler d'une perméabilité critique de la roche en dessous de laquelle aucun cake externe ne peut être formé pour un taux de cisaillement donné. En général, cette perméabilité critique se situe entre 0,1 et 1 md.

De la même façon, quand la perméabilité de la roche est très grande, il n'y a pas, non plus, de formation de cake externe.

La perméabilité critique est considérée réduite quand la pression différentielle augmente. Cela peut être particulièrement utile si l'on veut limiter l'invasion d'un milieu par les particules solides.

Il existe également une pression différentielle critique en dessous de laquelle aucun cake ne se forme, ce qui résulte en une invasion plus profonde du milieu par les particules solides et le filtrat. Cette influence est marquée pour les roches de faible perméabilité ( $K < 1 \text{mD}$ ).

Lors des opérations de forage, une différence de pression, juste supérieure à la pression différentielle critique, peut assurer la formation d'un cake externe et entraîner une invasion minimale de la formation par le fluide.

# **CHAPITR III: ETUDE ET TECHNOLOGIEDE LA POMPE A BOUE**



## 1 DEFINITION DE LA POMPE:

C'est une machine qui sert à élever le liquide ou le mélange d'un liquide avec des corps solides d'un niveau inférieur à un niveau supérieur, ou à refouler les liquides d'une région à faible pression vers une région à haute pression.

Le fonctionnement d'une pompe consiste à produire une différence de pression entre la région d'aspiration « entrée de la pompe » et la région de refoulement « sortie de la pompe ». Les pompes transmettent au liquide qu'elles véhiculent l'énergie mécanique provenant d'une source d'énergie quelconque extérieure.[16]

## 2 CLASSIFICATION DES POMPES:

Il existe deux grands types de pompes : les pompes volumétriques et les turbopompes.

### 2.1 Turbopompes :

Ce type de pompe se divise en trois classes de turbopompes :

- Les pompes centrifuges, à écoulement radial ;
- Les pompes axiales, à écoulement axial ;
- Les pompes hélio centrifuges, à écoulement mixte.

### 2.2 Pompes volumétriques :

Nous appelons pompe volumétrique les appareils assurant l'augmentation de l'énergie d'un liquide dont le principe de fonctionnement est basé sur la variation du volume d'un espace qui est relié alternativement à la conduite d'aspiration et la conduite de refoulement.

#### a) *Pompes volumétriques rotatives :*

Ces pompes sont des pompes volumétriques où le refoulement est assuré par le mouvement rotatif ou bien alternatif et rotatif en même temps des éléments de refoulement.

#### b) *Pompes volumétriques à piston*

Elles utilisent un piston qui effectue un mouvement rectiligne dans un cylindre muni de valves, qui régulent le débit du liquide dans le cylindre.

Dans une pompe à piston, on emprisonne un certain volume de liquide dans un cylindre pour générer la pression sous une force mécanique sur le piston. Le cylindre dispose de deux soupapes l'une pour l'aspiration et la seconde pour assurer le refoulement, ces dernières s'ouvrent et se referment sous l'action de la pression du liquide.

Les pompes à piston sont classées selon plusieurs critères :

- 1- Selon le mode d'entraînement :

- Pompe à action directe ;
  - Pompe à mécanisme bielle manivelle.
- 2- Selon le nombre de cylindre :
- Pompe simplex « 1 cylindre » ;
  - Pompe duplex « 2 cylindres » ;
  - Pompe triplex « 3 cylindres ».
  - Pompe Sextuplex « 6 pistons ».
- 3- Selon le principe de fonctionnement :
- Pompe à simple effet ;
  - Pompe à double effet.

### 3 LES POMPES A BOUE DE FORAGE:

La circulation de la boue lors d'un forage nécessite l'utilisation de pompes puissantes. Une bonne installation de pompage doit assurer :

- une vitesse de remontée des déblais suffisante pour éviter leur décantation,
- une pression de refoulement suffisante pour vaincre les pertes de charges dans le circuit. En dehors de sa puissance et son débit, une pompe doit être souple, robuste et facile à entretenir. Les pompes de forage utilisées sont généralement de type « triplex à simple effet ». [16]

De nos jours les pompes les plus couramment utilisées sont les triplex à simple effet, du principe équivalent, mais beaucoup plus robuste. Ces pompes comportent trois cylindres à simple effet (la boue est aspirée et refoulée par un seul côté du piston) Dans l'opération de forage on utilise différents types de pompes à boues on peut citer :

- ✓ **OIL WELL TRIPLEX 1400 PT**
- ✓ OIL WELL DUPLEX 560 PD
- ✓ OIL WELL DUPLEX 1400 PT
- ✓ IDECO TRIPLEX 1600
- ✓ IDECO TRIPLEX T800
- ✓ NATIONAL OIL WELL 12P160
- ✓ NATIONAL OIL WELL 9P100 [10]

### 3.1 Avantages et inconvénients des pompes triplex:

#### a) Avantages:

Facilité d'entretien et de surveillance. Les chemises sont apparentes, toute fuite aux pistons est vite décelée. Les interventions sur la pompe sont faciles et rapides du fait du faible poids des pièces d'usure, de l'absence du presse-étoupe et de la simplicité du joint de chemise.

Souplesse dans l'utilisation qui permet :

- Des débits importants à des pressions non négligeables ;
- Des débits faibles ou moyens à des pressions élevées ;
- Faible poids et encombrement.

#### b) Inconvénients:

Suralimentation nécessaire par le mauvais remplissage (sièges et clapets très petits et battements très rapides). Il est donc indispensable d'avoir une pompe centrifuge de suralimentation.

Nécessité de refroidissement et lubrification de la chemise et de l'arrière des pistons.

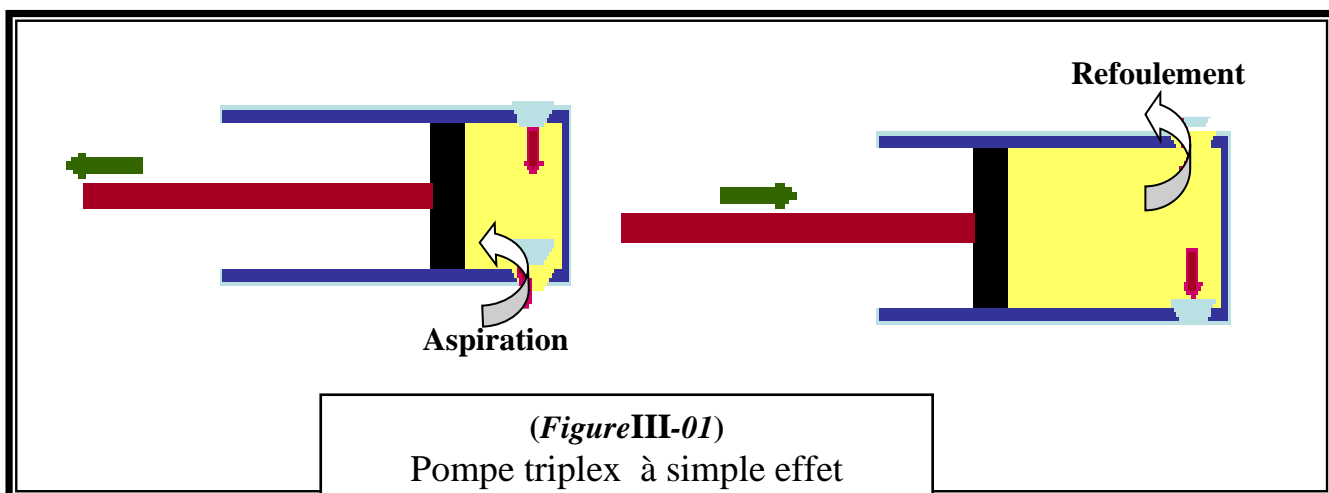
### 3.2 Principe de fonctionnement de la pompe triplex:

Ce sont des pompes qui comportent trois cylindres dans lesquels couissent trois pistons à simple effet, c'est-à-dire que chaque piston aspire et refoule d'un seul côté (figure 01). Chaque cylindre comporte un clapet d'aspiration et un autre de refoulement à l'avant seulement.

Lorsque le piston se déplace vers l'arrière (PMB), le clapet d'aspiration s'ouvre et celui de refoulement se ferme, la chemise se remplit de boue.

Lorsque le piston arrive en fin de course et revient vers l'avant (PMH), le clapet d'aspiration se ferme et celui de refoulement s'ouvre, et la boue est ainsi refoulée dans la conduite de refoulement.

Le même cycle se produit par les autres pistons avec un décalage de 1/3 de tour.



#### 4 Caractéristiques des pompes à boue:

Le rôle des pompes à boue est d'assurer un débit et une pression de refoulement suffisants pour permettre une remontée correcte des déblais dans l'espace annulaire d'une part, et pour vaincre l'ensemble des pertes de charge (perte de pression) occasionnées par la circulation dans le circuit de refoulement en surface et dans le puits, d'autre part.[19]

##### 4.1 La cylindrée :

La cylindrée d'une pompe représente la quantité théorique de liquide qu'elle peut débiter pendant un cycle de fonctionnement.

Pour une pompe triplex, elle est le produit de la course par la section du piston comme dans les moteurs à combustions.

La cylindrée d'un piston est égale à :

$$V = \frac{\pi \times d^2}{4} \times C$$

Où :

$C$  : la course du piston.

$d$  : diamètre intérieur de la chemise.

##### 4.2 La vitesse :

La vitesse nominale, c'est-à-dire la vitesse maximale de travail pour laquelle la pompe est conçue, dépend de la masse spécifique du fluide utilisé, de sa viscosité et de la pression maximale créée par la pompe.

En effet, il est recommandé pour éviter le décollement de la veine liquide dans les aspirations, de ne pas dépasser des vitesses linéaires de piston de 45.5 m/mn.[19]

##### 4.3 Le débit :

Les débits requis en forage varient en fonction de diamètre foré. Il est pendant les premiers phases (26", 16"), plus petit en fin de forage (8" 1/2, 7").

Le débit d'une pompe dépend du diamètre intérieur de la chemise (alésage), de la vitesse de la pompe exprimée nombre de coups de piston par minute et de la course du piston.

#### A. Le débit théorique :

Le débit est la quantité de liquide qu'une pompe peut fournir par unité de temps, à une vitesse d'entraînement donnée, il s'exprime en (l/mn).

Le débit théorique d'une pompe dépend de sa cylindrée d'une part, de sa vitesse et du nombre de cylindres d'autre part.

Où :

$$Q_{th} = \frac{3\pi \times D^2 \times C}{4}$$

$Q_{th}$  : Débit théorique de la pompe (l/mn).

$C$  : Course de piston (mm).

$D$  : Diamètre de la chemise (mm).[19]

#### 4.4 Rendements:

Par suite de remplissages parfois incomplets des cylindres, des fuites se produisant aux pistons, aux clapets, aux presse-étoupes, le débit réel ou débit pratique d'une pompe à boue est toujours inférieur au débit calculé ou débit théorique.

##### A. Rendement volumétrique:

On appelle rendement volumétrique le rapport entre le débit réel et le débit théorique d'une pompe.

Où :

$Q_p$  : débit réel.

$Q_{th}$  : débit théorique

$$\eta_v = \frac{Q_p}{Q_{th}}$$

Le rendement volumétrique est de 95 à 97 % pour les pompes triplex (avec suralimentation). Il peut être mesuré en faisant refouler la pompe sur un bac et en mesurant l'élévation du niveau pendant un temps déterminé. Le débit réel ainsi obtenu permet en le divisant par le débit théorique calculé de déterminer le rendement volumétrique de la pompe.

##### B. Rendement mécanique :

Le rendement mécanique est dû à la perte de puissance due aux frottements dans la partie mécanique de la pompe (engrenages, roulements, glissements des crosses dans les coulisseaux).

Ce rendement est de l'ordre de 0.85 dans les pompes triplex à simple effet.[11]

#### 4.5 Pression:

La valeur de cette pression qui représente en effet l'ensemble des pertes de charge (perte de pression) dans le circuit de refoulement en surface mais aussi dans les puits dépend donc essentiellement pour un débit donné de la profondeur du puits et de la nature des opérations entreprise.

La pression de refoulement agissant sur le piston se traduit par une force qui se communique à la tige de piston, à la rallonge de crosse et ensuite à la partie mécanique.[19]

#### 4.6 La puissance :

##### A. Puissance hydraulique :

La puissance hydraulique d'une pompe c'est-à-dire la puissance transmise au fluide à la sortie de la pompe dépend du débit réel et la pression de refoulement. Elle est donnée par la formule :

Où :

$$P_h = p_r \times Q_r$$

Ph : la puissance hydraulique.

Pr : la pression de refoulement.

Qr : le débit réel

##### B. Puissance mécanique :

La puissance mécanique indiquée par le constructeur est la puissance mécanique maximale admissible sur l'arbre d'entrée dans la pompe.[11]

### 5 PRESENTATION DE LA POMPE À BOUE OIL WELL A 1400 PT :

C'est une pompe volumétrique alternative à mécanisme bielle manivelle, de type triplex à simple effet. Pour ce type de pompe les manivelles sont décalées à 120° degrés, et le nombre de clapets est de 6 (3 à l'aspiration et 3 au refoulement).

Elle se compose de deux parties principales montées sur un châssis skid qui sont : la partie hydraulique et la partie mécanique.

La partie hydraulique est l'ensemble où circule la boue avec tous les éléments qui contribuent au mouvement de l'aspiration et de refoulement. Cette partie est formée par trois chambres renfermant les pistons. Chaque chambre est munie de deux soupapes, l'une d'aspiration et l'autre de refoulement.

A la partie inférieure on a prévu un collecteur d'aspiration avec un amortisseur de pulsation qui empêche l'air de pénétrer dans la pompe pendant la phase d'aspiration, et à la partie supérieure un collecteur de refoulement avec le corps de l'amortisseur de pulsation.

La partie mécanique est constituée d'un bâti qui supporte toutes les pièces composées de l'attelage : chaîne de transmission, pignons, arbre d'attaque, excentrique, crosses, rallonges de crosse. Ces pièces transforment le mouvement de rotation continue en mouvement de translation alternative des pistons par l'intermédiaire des tiges pistons.[19]

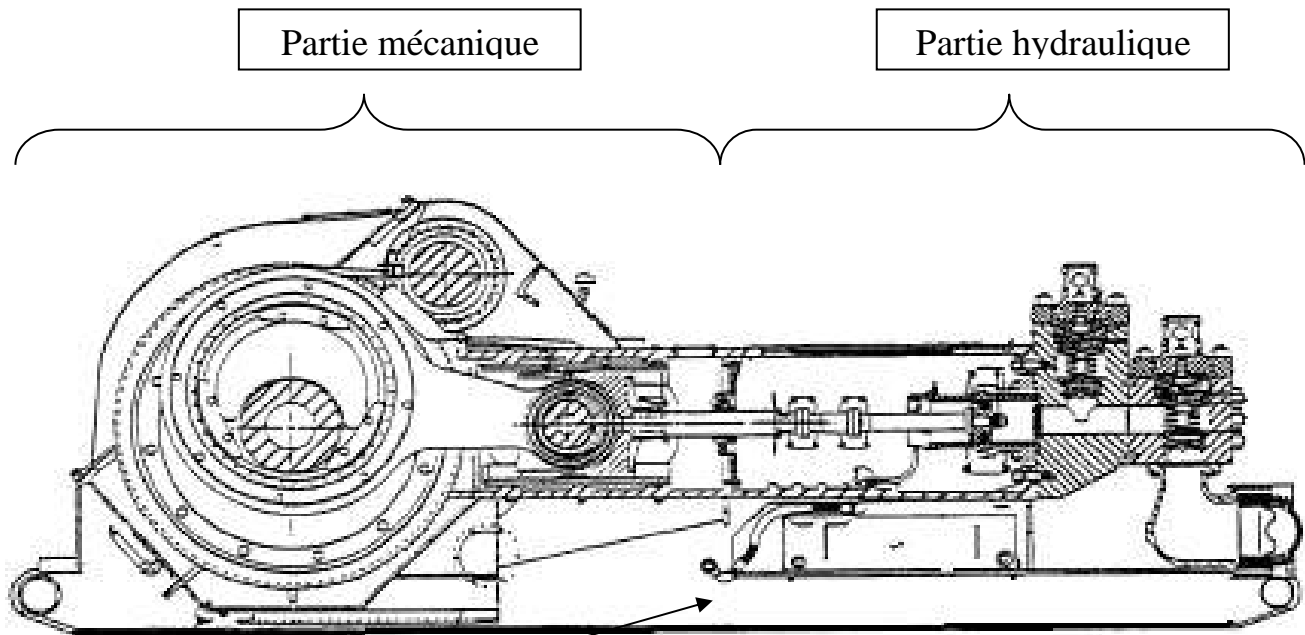
### 6.CONSTRUCTION DE LA POMPE OIL WELL A1400 PT:

La pompe OIL WELL A1400PT est constituée comme suit :

Cet équipement est utilisé dont le but d'assurer le débit nécessaire pour la circulation de boue jusqu'au fond du puits et sa récupération.

- **LE châssis SKID:**

Le châssis- SKID (figure 02) est constitué par des poutres en acier, parallèles aux axes des cylindres, il sert à supporter le poids du bâti de la partie mécanique, et celui du corps de la partie hydraulique.



Le châssis SKID

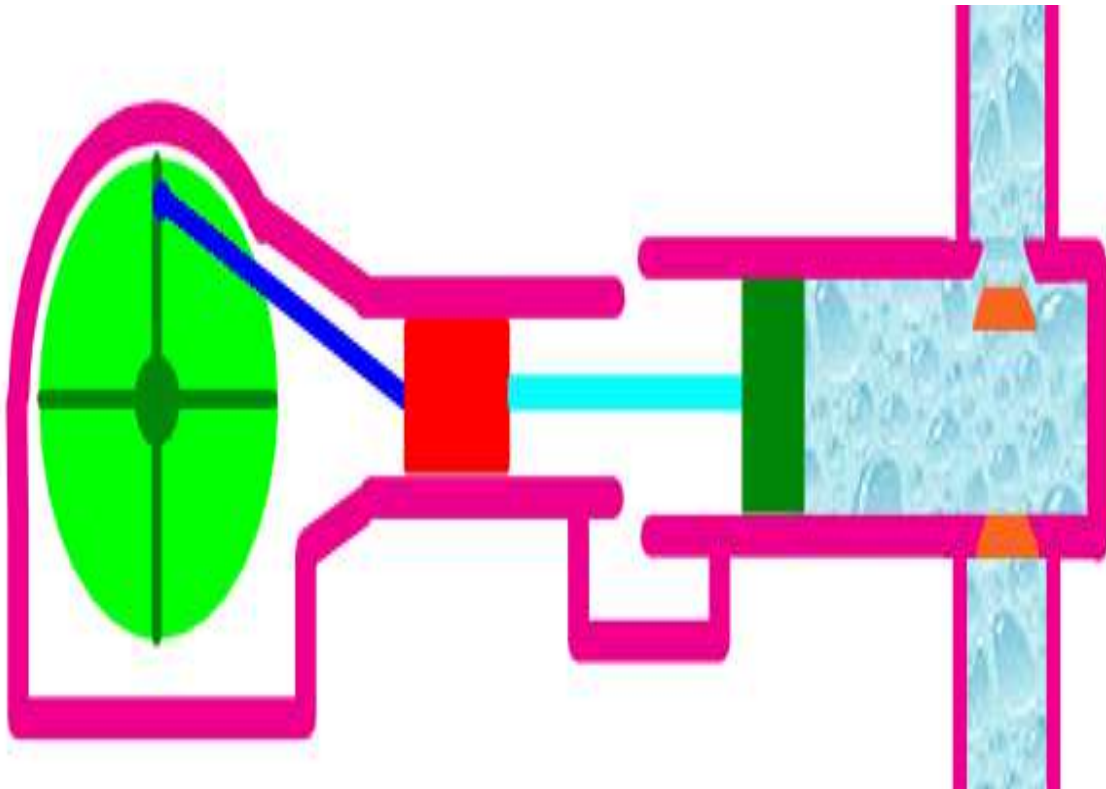
(Figure III-02)  
Pompe à boue de forage  
Type triplex simple effet

### 6.1. Partie mécanique des pompes de forage :

C'est la partie qui assure la transmission de la puissance du moteur d'entraînement au piston de la pompe.

#### 6.1.1. Principe de fonctionnement (partie mécanique) :

Deux moteurs électriques entraînent l'arbre qui fait tourner la couronne à travers deux chaînes de transmission. La couronne dentée est combinée en un excentrique, ce dernier entraînant l'entraînement des bielles et des traverses. Enfin, les traverses alimentent les pistons hydrauliques. Chaque piston de boue pousse d'avant en arrière uniquement pour pomper la boue dans le puits.



*(FigureIII - 03)*  
**Fonctionnement partie mécanique [21]**

#### 6.1.2 composants de la partie mécanique :

- **Le bâti ou carter:**

Il est en acier moulé où en tôle d'acier assemblé par mécano – soudure. Dans ce dernier cas, le skid et le bâti sont généralement intégrés. Le bâti sert de carter pour l'huile de graissage. Il doit donc être étanche et permettre un contrôle rapide du niveau et une vidange facile de l'huile. La lubrification est en général réalisée par barbotage. Un couvercle supérieur et des portes de visite latérales permettent d'effectuer rapidement et facilement l'inspection ou les réglages nécessaires.

- **Transmission et couple d'engrenage (Le système d'entraînement) :**

La puissance qui arrive à l'arbre d'attaque de la pompe est développée par la rotation de deux moteurs électriques d'entraînement alimentées en courant continu produit par les génératrices de courant liée aux CATRPILAR.



La transmission entre les moteurs d'entraînement et l'arbre d'attaque de la pompe se fait par chaîne. Les deux extrémités de l'arbre sont identiques, ce qui permet l'entraînement d'un côté comme de l'autre.

- **L'arbre grande vitesse :**

C'est l'arbre d'entraînement de la pompe .

Il est supporté par deux paliers à roulements et entraîne, par l'intermédiaire du pignon à denture oblique, la roue dentée de l'arbre petite vitesse (vilebrequin).

- **L'arbre petite vitesse ou vilebrequin :**

Cet arbre a une forme coudée (excentrique) pour permettre le décalage des courses des pistons dans les chemises, de  $120^\circ$  pour les pompes triplex et de  $90^\circ$  pour les duplex. Le diamètre de la roue dentée de cet arbre est égal à 5 ou 6 fois celui du pignon de l'arbre d'entrée, ce qui fait qu'elle tourne 5 à 6 fois moins vite.

Ainsi par exemple pour une vitesse à l'entrée de 300 trs/mn, la vitesse de l'arbre petite vitesse sera de 60 tour/min .

- **Système bielle – manivelle:**

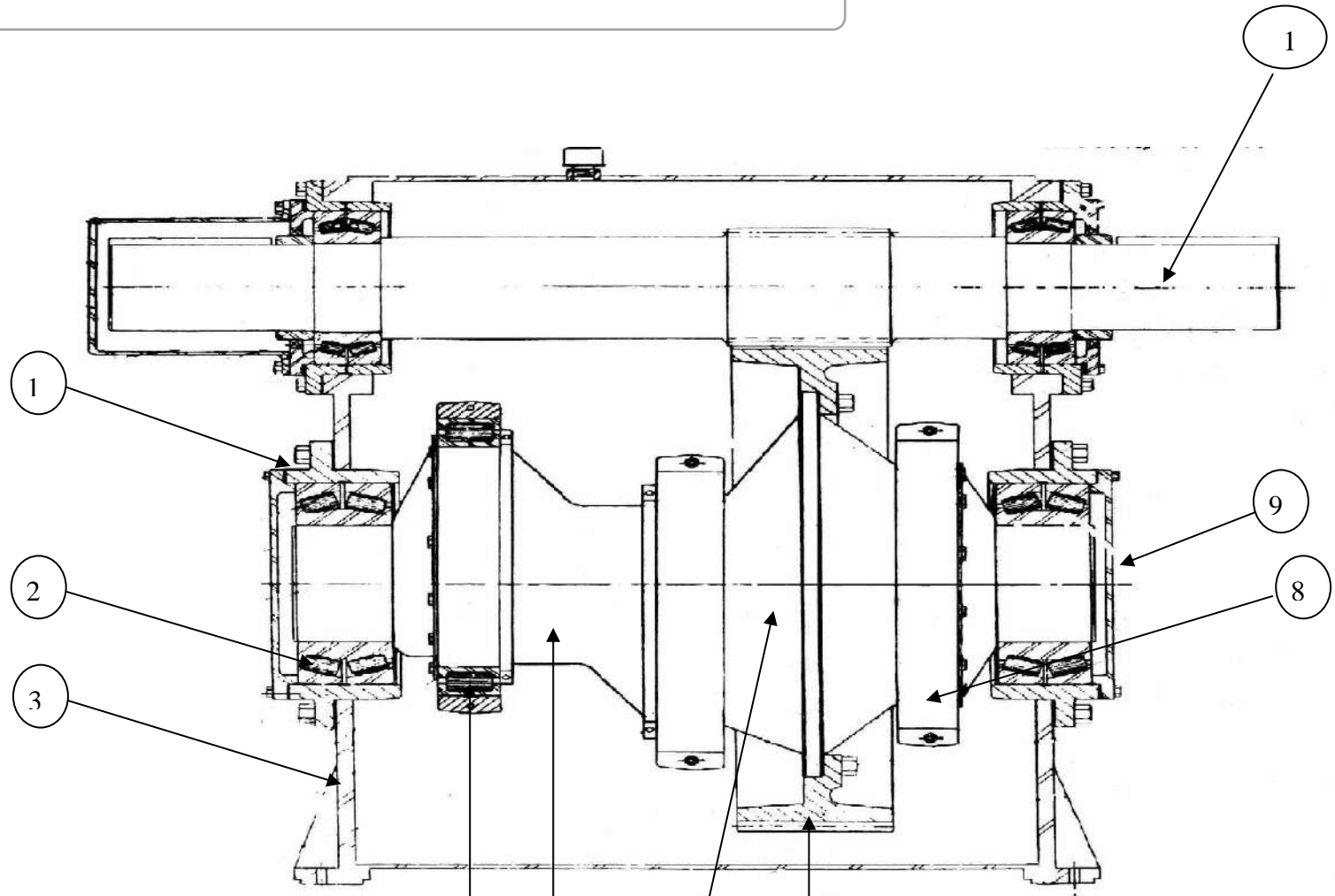
Sur le vilebrequin sont montées trois bielles dans la pompe triplex . Les têtes des bielles sont montées sur le vilebrequin, les pieds sur les crosses.

L'articulation des têtes de bielle sur le vilebrequin et des pieds sur les crosses se fait par l'intermédiaire de roulements. Cet ensemble forme un système bielle - manivelle qui transforme le mouvement de rotation de l'arbre petite vitesse en un mouvement alternatif de l'extrémité de la bielle articulée à la crosse.

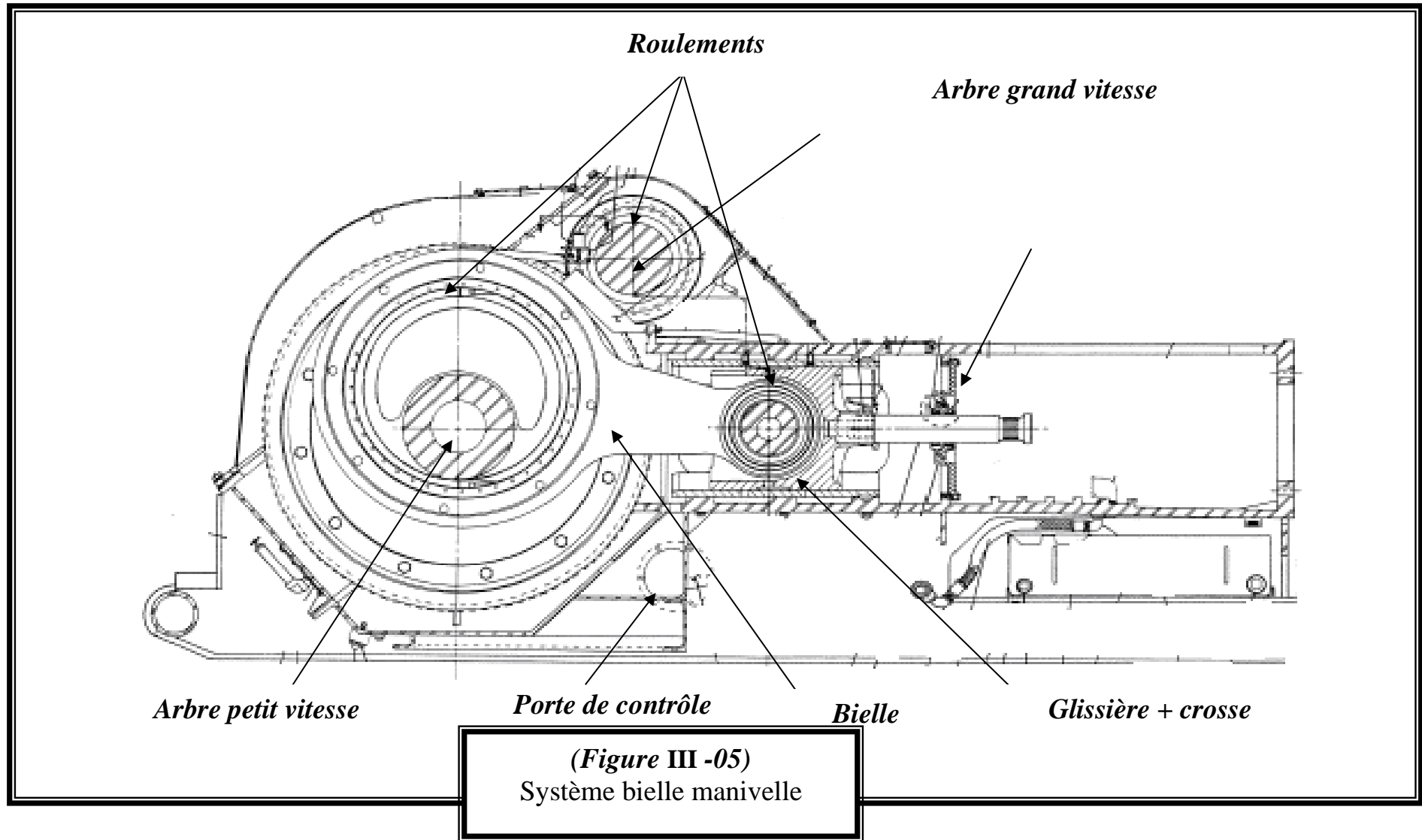
- **La crosse et la rallonge de crosse :**

Les crosses montées sur les pieds des bielles par l'intermédiaire de roulements sont guidées par des tuiles. Elles coulissent dans une glissière et est prolongée par la rallonge de crosse sur laquelle vient se fixer la tige du piston. La fixation des rallonges de crosses aux tiges de pistons se fait par l'intermédiaire de colliers de serrage pour les pompes triplex.

- 1- Porte roulement.
- 2- Roulement de l'excentrique.
- 3- Carter d'huile.
- 4- Roulement de bielle.
- 5- L'excentrique.
- 6- Roue d'entrée.
- 7- La couronne d'entrée.
- 8- Chapeau de bielle.
- 9- Plaque de retenu.
- 10- Arbre d'intrânement.



(Figure III - 04)  
Partie mécanique de la pompe à boue



### 6.1.3 Système de lubrification :

Le graissage du mécanisme est généralement réalisé par quatre modes :

*Par sous pression* : pour les glissières supérieures et inférieures ;

*Par écoulement* : les roulements de l'excentrique, l'arbre d'entraînement ; les trois roulements des bielles, les trois roulements et les trois axes des cross-haed, et les cross-haed.

*Par barbotage* : la couronne d'entrée, le pignon d'entraînement, l'excentrique, les bielles.

*Par éclaboussure* : les roulements de l'arbre d'entraînement.

**NB** : la pompe à boue aspire l'huile de graissage (**TASSILA 140**).

Le bac d'huile est rempli de deux façons :

- 1- par la pompe à huile (pompe à engrenage).
- 2- par les entonnoirs fixés près de l'engrènement.

Ainsi que la lubrification des chaînes se fait sous pression grâce à deux pompes une pour chaque chaîne dont l'entraînement se fait depuis le moteur principal.

## 6.2. Composants de la partie hydraulique :

- **Le corps hydraulique : (figure III-06)**

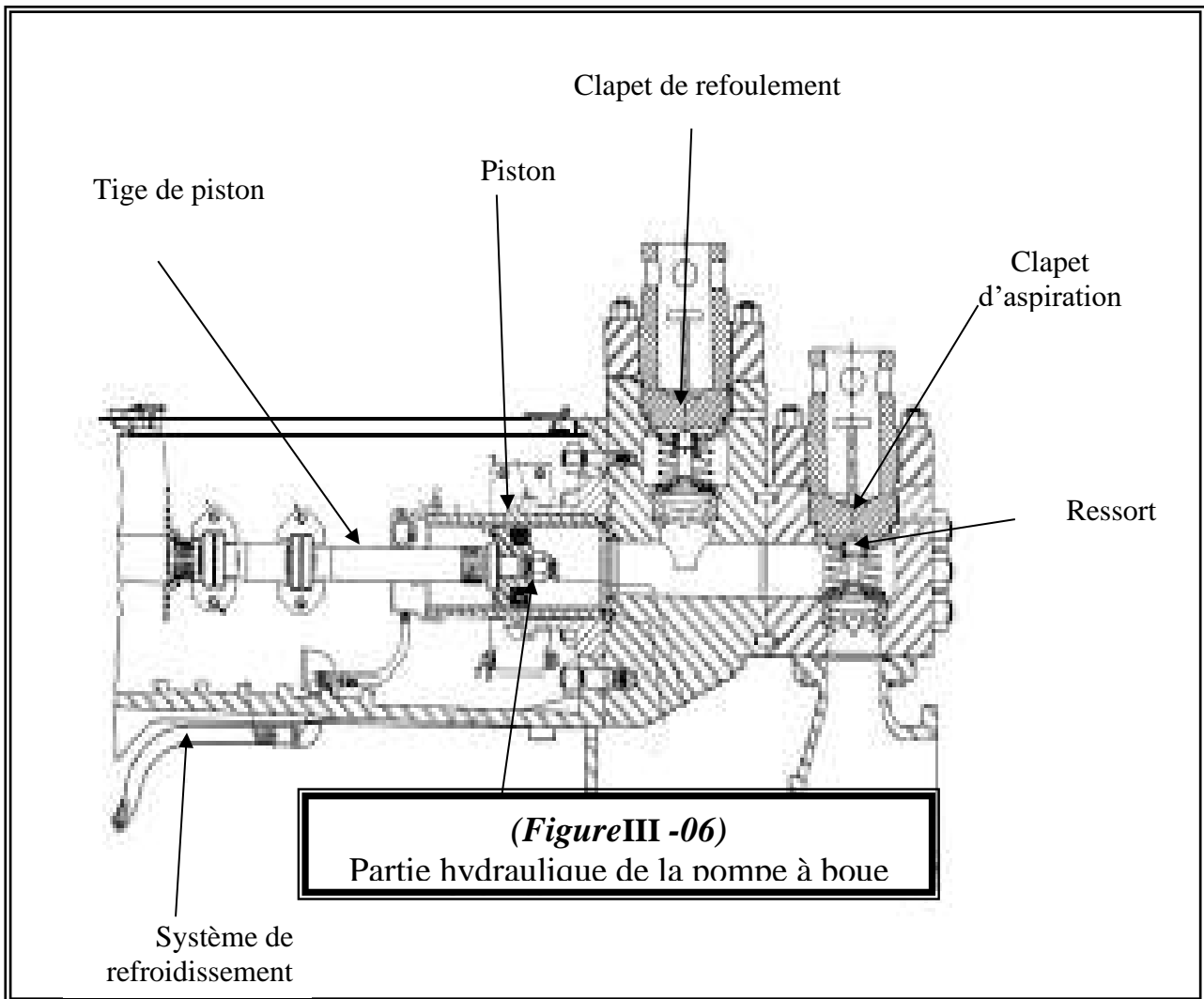
Il est en acier moulé, fixé sur le skid et au carter de la partie mécanique de la pompe, il sert de logement, pour les pièces d'usure, la chemise, clapets et les tiges des pistons.

Le corps est obturé par des couvercles filetés et des portes des couvercles boulonnés à la partie supérieure où l'on trouve un collecteur de refoulement qui lié entre les sorties de refoulement, et ces couvercles qui maintiennent ou protègent les clapets, ils sont vissés ce qui augmente la rapidité de démontage et remontage.

- **Les chemises :**

De petite taille comparativement à celles des pompes duplex, elles sont faciles à monter, à démonter et à entretenir. Elles sont montées par l'arrière ou par l'avant sans emmanchement ni centrage.

Un système d'arrosage permet la lubrification et le refroidissement de l'arrière du piston et de la chemise (*figure III-07*).



(FigureIII -07)  
Chemise de piston

- **Le piston :**

Le piston (*figure III-08*) comporte une seule garniture (cycle simple effet). Le corps du piston possède un alésage cylindrique qui permet un montage et un démontage aisés (un simple joint torique assure l'étanchéité).

Les garnitures en caoutchouc forment des joints étanches entre le piston et la chemise.

- **La tige de piston :**

La tige de piston classique (*figure III-09*) est éliminée pour être remplacée par une tige courte et légère dont les caractéristiques principales sont :

- L'absence de finition extérieure puisqu'il n'y a plus de presse-étoupe;
- L'absence de filetage d'extrémité côté rallonge de crosse remplacé par un talon et un clamp de montage et démontage aisé;
- Le poids et les dimensions faibles;
- Une durée de vie très longue (absence de presse-étoupe);
- Un remplacement très aisé de l'ensemble piston et tige de piston.

Les sièges et les clapets :

Chaque clapet (*figure III-10*) est constitué d'un corps, d'une garniture et d'un système de fixation de la garniture.

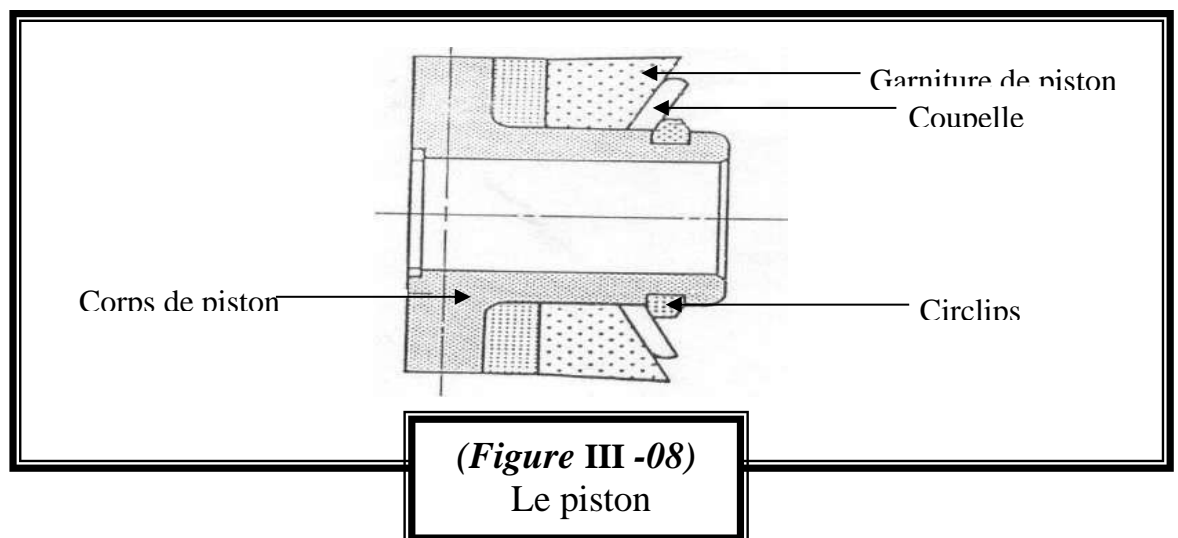
Leur principal avantage est d'être de diamètre plus faible donc :

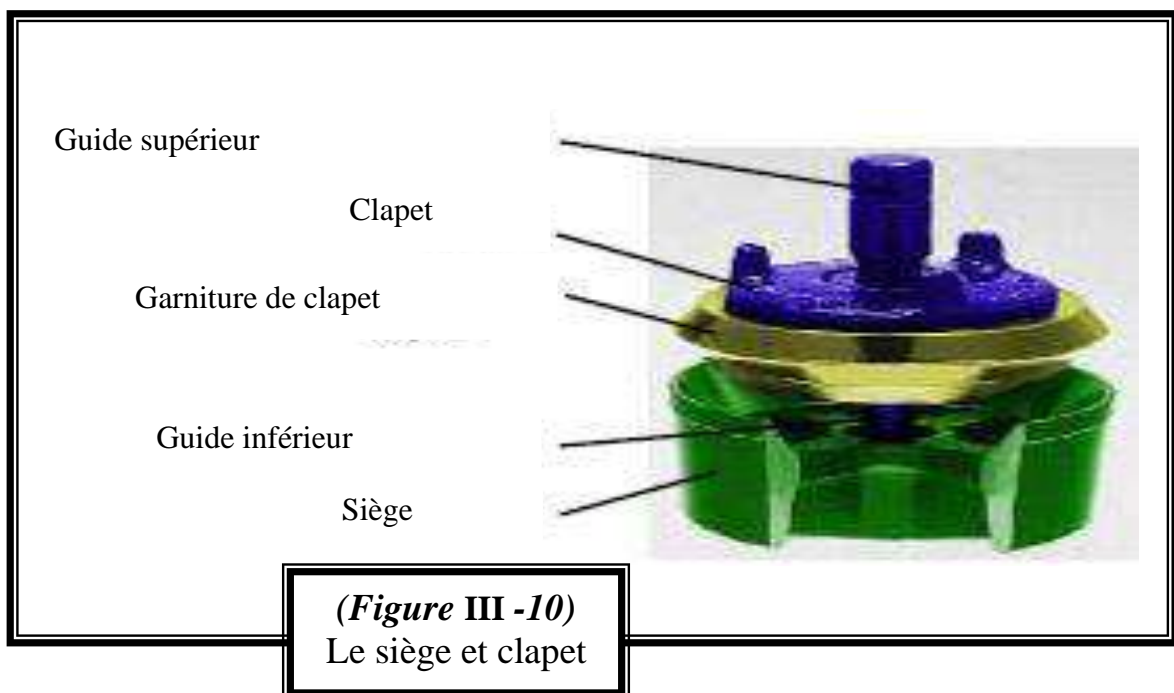
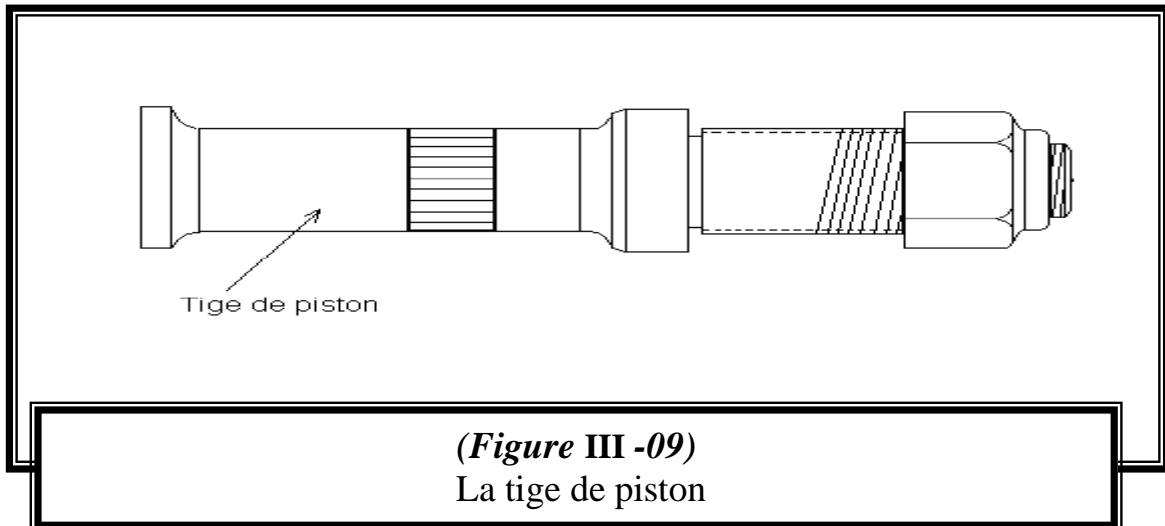
Plus résistants pour des pressions identiques;

Moins lourds donc moins sujets au choc;

Plus aisés à extraire

Coût d'achat le plus ba





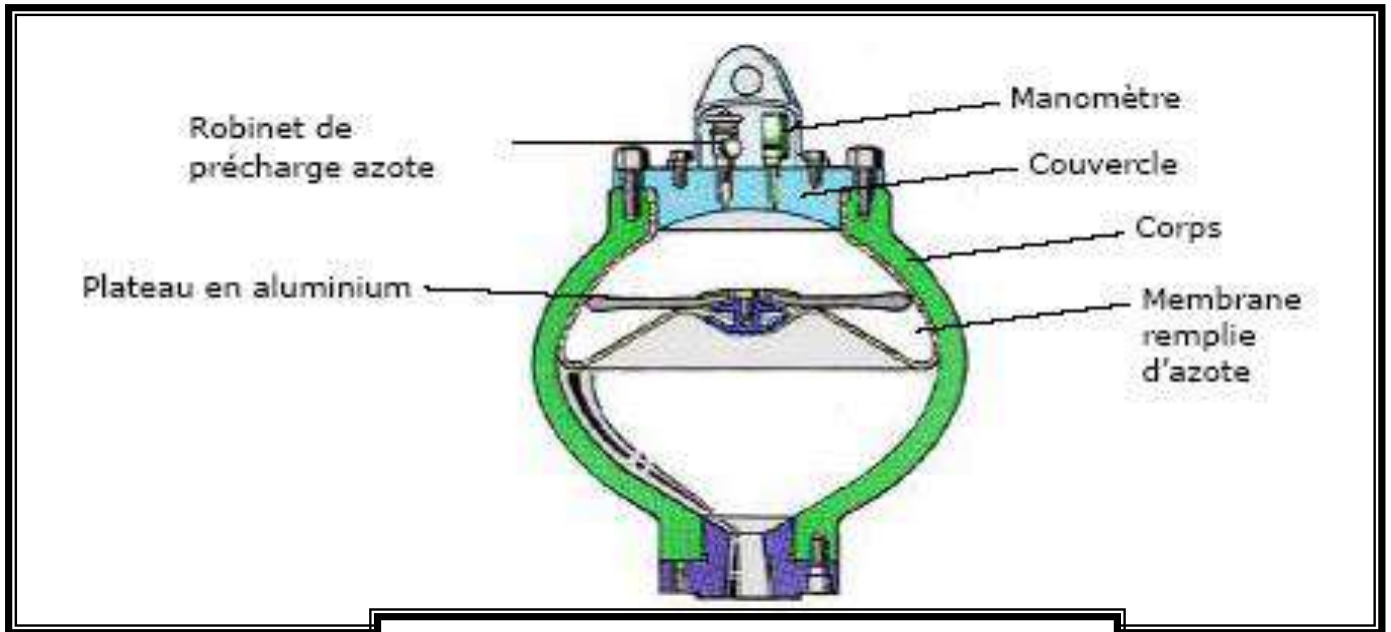
- Les amortisseurs de pulsation

1. Sur le refoulement (figure III-11)

Le débit instantané d'une pompe étant irrégulier, surtout pour les pompes duplex, il y a des variations de pression importantes qui provoquent des vibrations et des chocs néfastes sur la pompe et sur tout le circuit de refoulement.

Pour réduire ces effets, on équipe la pompe de forage d'un amortisseur de pulsations sur le refoulement, préchargé à l'air ou à l'azote à 25% de la pression maximale de service de la pompe. Lorsque la pompe travaille, la boue pénètre sous la membrane et la comprime. Le volume de l'azote diminue si la pression de refoulement augmente et augmente si elle diminue, régularisant ainsi le débit et les fluctuations de pression.

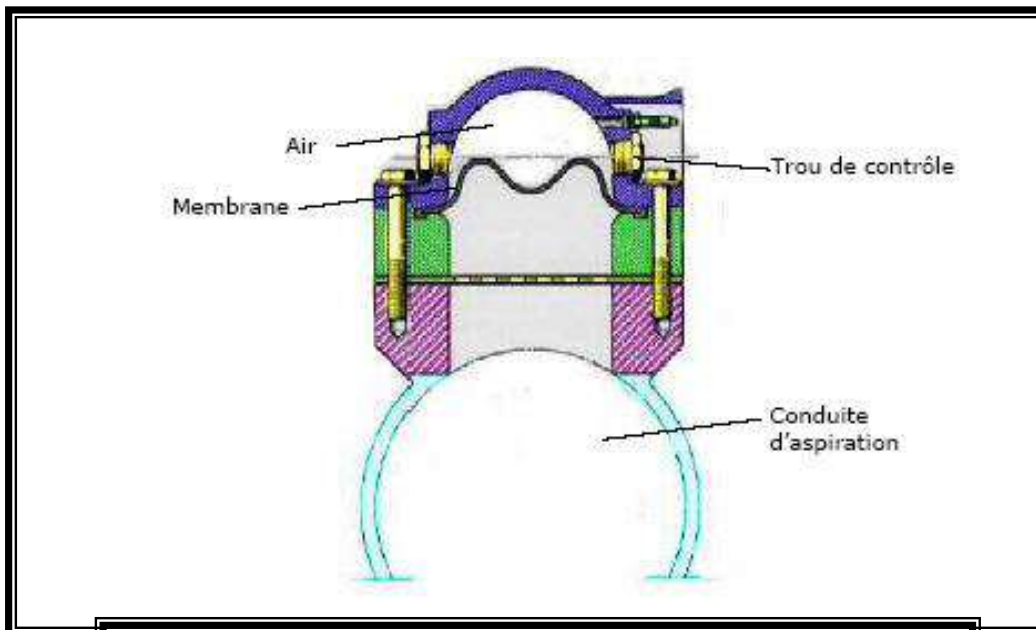
La pression de précharge est contrôlée à l'aide d'un manomètre situé à sa partie supérieure.



(Figure III -11)  
Amortisseur de pulsation côté refoulement

## 2. Sur l'aspiration :(figure III-12)

Le mouvement des clapets d'aspiration crée une variation très rapide de la pression de la boue dans la conduite d'aspiration des pompes triplex. On installe un amortisseur de pulsation sur l'aspiration pour réduire ce phénomène. Cet amortisseur comprend une membrane séparant la boue en dessous de l'air au-dessus comprimé à 40 psi. En fonctionnant normalement, le dessus de la membrane apparaîtra dans l'axe du regard de contrôle.



(Figure III -12)  
L'amortisseur de pulsation Côté d'aspiration



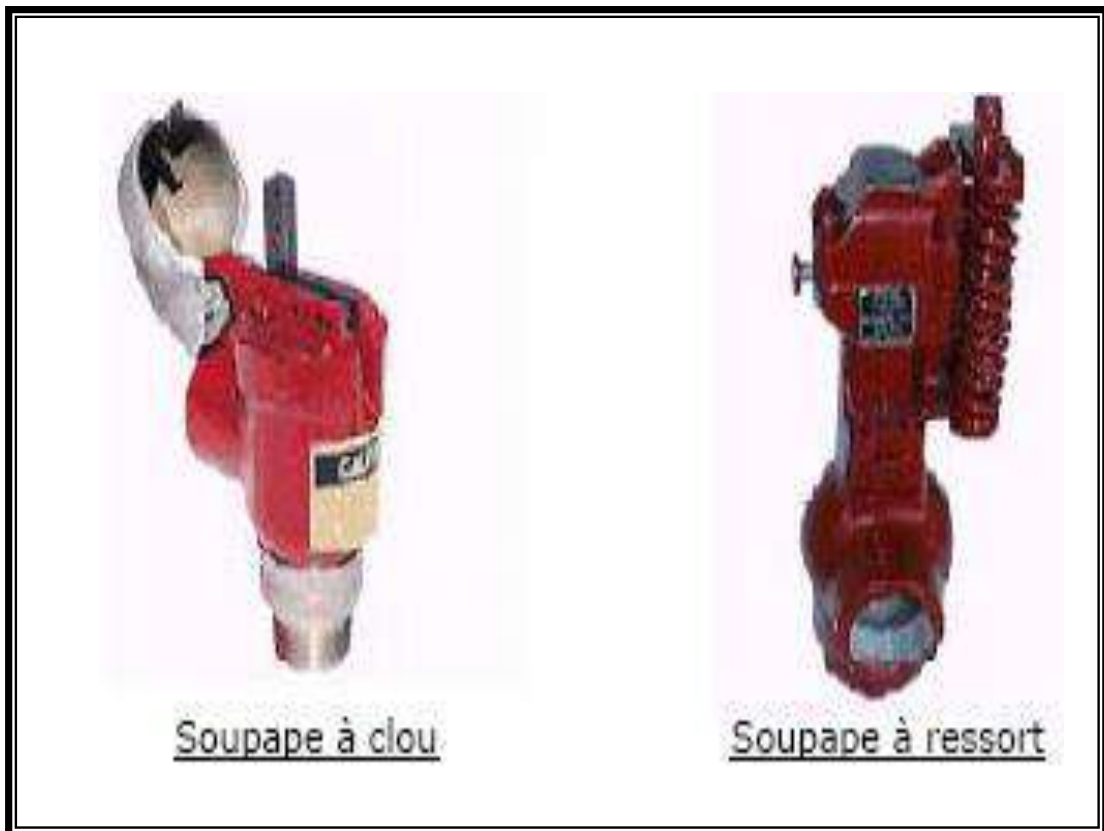
### La soupape de sécurité

La soupape de sécurité (*figure III-13*) est placée juste à la sortie des pompes et a pour rôle de protéger le circuit de refoulement contre les surpressions.

Il existe deux types de la soupape :

a) Soupape à ressort

b) Soupape à clou

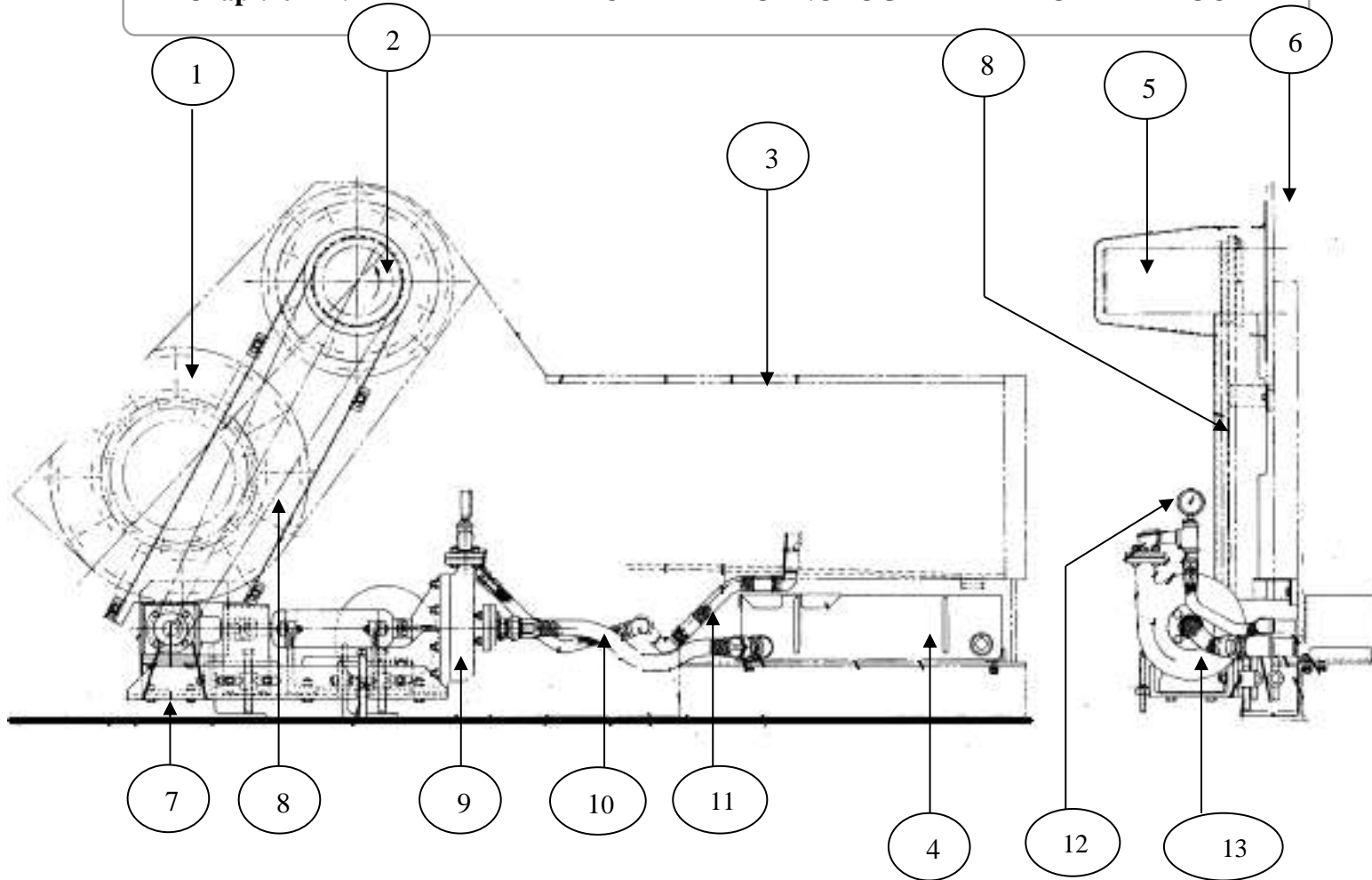


(*Figure III -13*)  
Les soupapes de sécurité

#### 6.2.1 Système de refroidissement :

La partie hydraulique (couple chemise - piston) nécessite un refroidissement intense suite au frottement et à la chaleur dissipée. Pour cela la pompe à boue OIL WELL 1400PT est munie d'une pompe centrifuge à eau.

Cette pompe aspire l'eau à partir des bacs d'eau et la refoule sous forme des jets continue sur l'ensemble (chemise - piston). En suite l'eau va s'écouler dans un bac au dessus de la partie hydraulique.



- 1- l'excentrique de la pompe.
- 2- L'arbre d'attaque.
- 3- Le corps de la pompe.
- 4- Bac d'eau.
- 5- L'extrimite de l'arbre d'attaque.
- 6- Le palier.
- 7- Support de la pompe d'arrosage.
- 8- Les chaînes de transmission.
- 9- La pompe centrifuge d'arrosage.
- 10- Les tuyaux de refroidissement.
- 11- Flexible d'arrosage.
- 12- Manomètre de pression.
- 13-

**(Figure III -14)**  
Système refroidissement de la partie mécanique

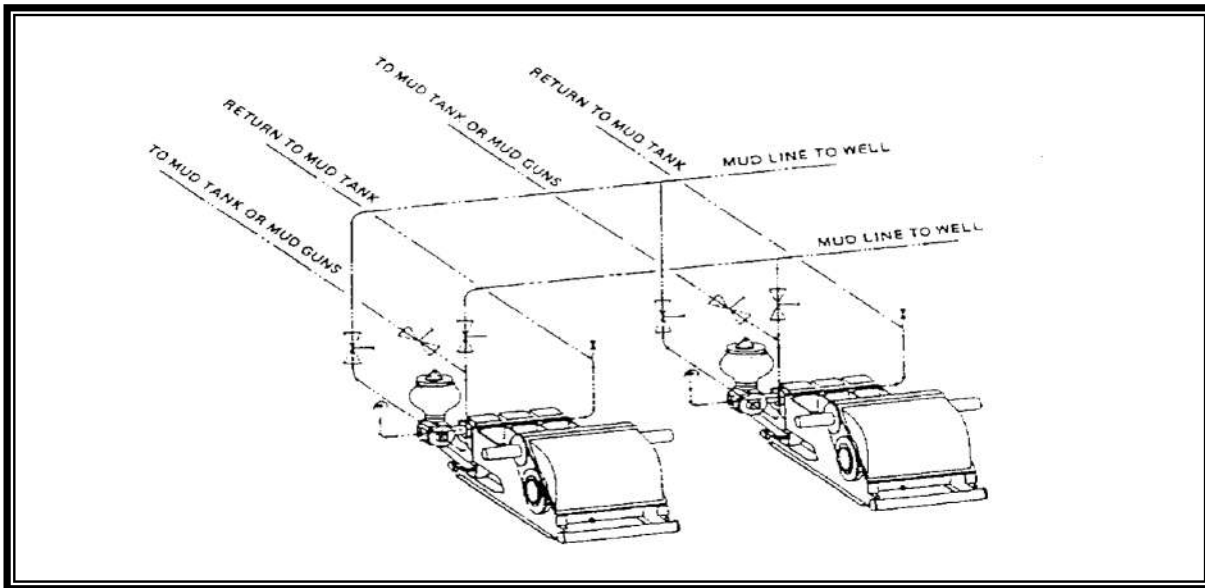
Tableau de caractéristique de la pompe à boue OIL WELL 1400PT :

<i>Diamètre de La chemise</i>		<i>en pouce</i>		<i>7 1/4</i>	<i>7</i>	<i>6 3/4</i>	<i>6 1/2</i>	<i>6 1/4</i>	<i>6</i>	<i>5 1/2</i>	<i>5</i>	<i>4 1/2</i>	<i>4</i>
		<i>en mm</i>		<i>182.2</i>	<i>177.8</i>	<i>171.57</i>	<i>165.1</i>	<i>158.8</i>	<i>152.4</i>	<i>137.8</i>	<i>127</i>	<i>114.3</i>	<i>101.6</i>
pression max de refoulement	en Psi	3200											
		en Kg/cm <sup>2</sup>	225.0										
la vitesse de la pompe corps/min	Puissance d'entrée CH		Puissance hydraulique CH	Gallon/min	GPM	GPM	GPM	GPM	GPM	GPM	GPM	GPM	GPM
			Litre/min	(LPM)	(LPM)	(LPM)	(LPM)	(LPM)	(LPM)	(LPM)	(LPM)	(LPM)	(LPM)
120	1647	1400	772 (2922)	720 (2724)	669 (2533)	621 (2349)	574 (2172)	529 (2002)	444 (1682)	367 (1389)	297 (1124)	235 (890)	
100	1330	1200	643 (2435)	600 (2270)	558 (2111)	515 (1958)	478 (1810)	441 (1668)	370 (1402)	306 (1158)	248 (938)	196 (742)	
80	1067	960	515 (1984)	480 (1816)	446 (1689)	414 (1566)	383 (1448)	353 (1334)	296 (1121)	245 (927)	198 (750)	157 (594)	
60	800	720	386 (1461)	360 (1362)	335 (1267)	310 (1175)	287 (1086)	264 (1001)	222 (841)	184 (697)	149 (564)	118 (447)	
40	533	480	257 (974)	240 (908)	223 (844)	207 (783)	191 (724)	176 (667)	148 (561)	122 (462)	99 (375)	78 (295)	
volume stoké dans la chemise	en Gallon		6.433										
	en litre		(24.354)										
			5.997										
			(22.703)										
			5.576										
			(21.110)										
			5.171										
			(19.575)										
			4.781										
			(18.098)										
			4.406										
			(16.680)										
			3.702										
			(14.015)										
			3.060										
			(11.58)										
			2.479										
			(9.384)										
			1.958										
			(7.412)										

### 6.3 Mise en parallèle de deux pompes :

Les pompes à boue placées en parallèle (*figure III-15*) permettent d'additionner les débits, la pression maximale d'utilisation étant la plus faible des pressions maximales de chacune des deux pompes dans leurs conditions propres de service. Dans ce cas, les pompes aspirent chacune par une conduite différente et refoulant dans la même conduite. Ces pratiques nécessitent certaines précautions afin d'éviter des surcharges et des détériorations rapides des pompes.

Un ou deux amortisseurs de pulsation sont indispensables pour préserver des coups et des vibrations.



(*Figure III -15*)

*Mise en parallèle de deux pompes à boue*

### 6.4 Mise en série deux pompes :

Au début, deux pompes ne peuvent être placées en série que si elles sont identiques et parfaitement synchronisées. La mise en série de deux pompes signifie que la première pompe refoule dans l'aspiration de la seconde. Le débit reste égal à celui de chacune de deux pompes, mais la pression maximale d'utilisation pour le débit se trouve être doublée.

### 6.5 Les pompes de suralimentatio

N ;

Dans un cylindre, la vite sse du piston passe de la valeur nulle au début de sa course à la valeur maximale au milieu. Les forces d'inertie de ce mouvement irrégulier génèrent des pertes de charges supplémentaires, qui créent dans le liquide des cavités remplies d'air : c'est la cavitation, qui provoque des coups de bélier, des cognements et des vibrations, ce qui entraîne l'usure rapide des pièces en contact avec le liquide.

L'utilisation des pompes centrifuges de basse pression de suralimentation par l'intermédiaire desquelles les pompes à boue aspirent des bacs permet d'obtenir un meilleur remplissage des cylindres, ce qui diminue les coups de bélier. Le débit obtenu est plus grand et le rendement volumétrique devient maximal.

Ces pompes aspirent directement des bacs et refoulent dans la conduite d'aspiration des pompes de forage. Elles sont entraînées par un moteur électrique.

Ces pompes doivent avoir un débit et une pression suffisants pour répondre aux besoins des pompes de forage à débit maximum.

### **7 EXPLOITATION DES POMPES A BOUE :**

Au début de forage d'un puits, les pompes à boue sont équipées de chemises d'alésage maximal. Au fur et à mesure que le forage s'approfondie, la pression de refoulement augmente et lorsqu'elle atteint la valeur critique pour le débit utilisé, on est amené à équiper les pompes à boue avec des chemises de diamètre inférieur, le débit étant alors plus faible, tandis que la pression augmente.

On peut lorsqu'une seule pompe est impuissante à fournir le débit voulu, utiliser les deux pompes à boue disponibles sur le chantier en les faisant fonctionner en parallèle.[16]

# **CHAPITRE IV :**

## **Dimensionnement de la pompe oil well 1400 PT**

### 1.CALCUL DE VERIFICATION :

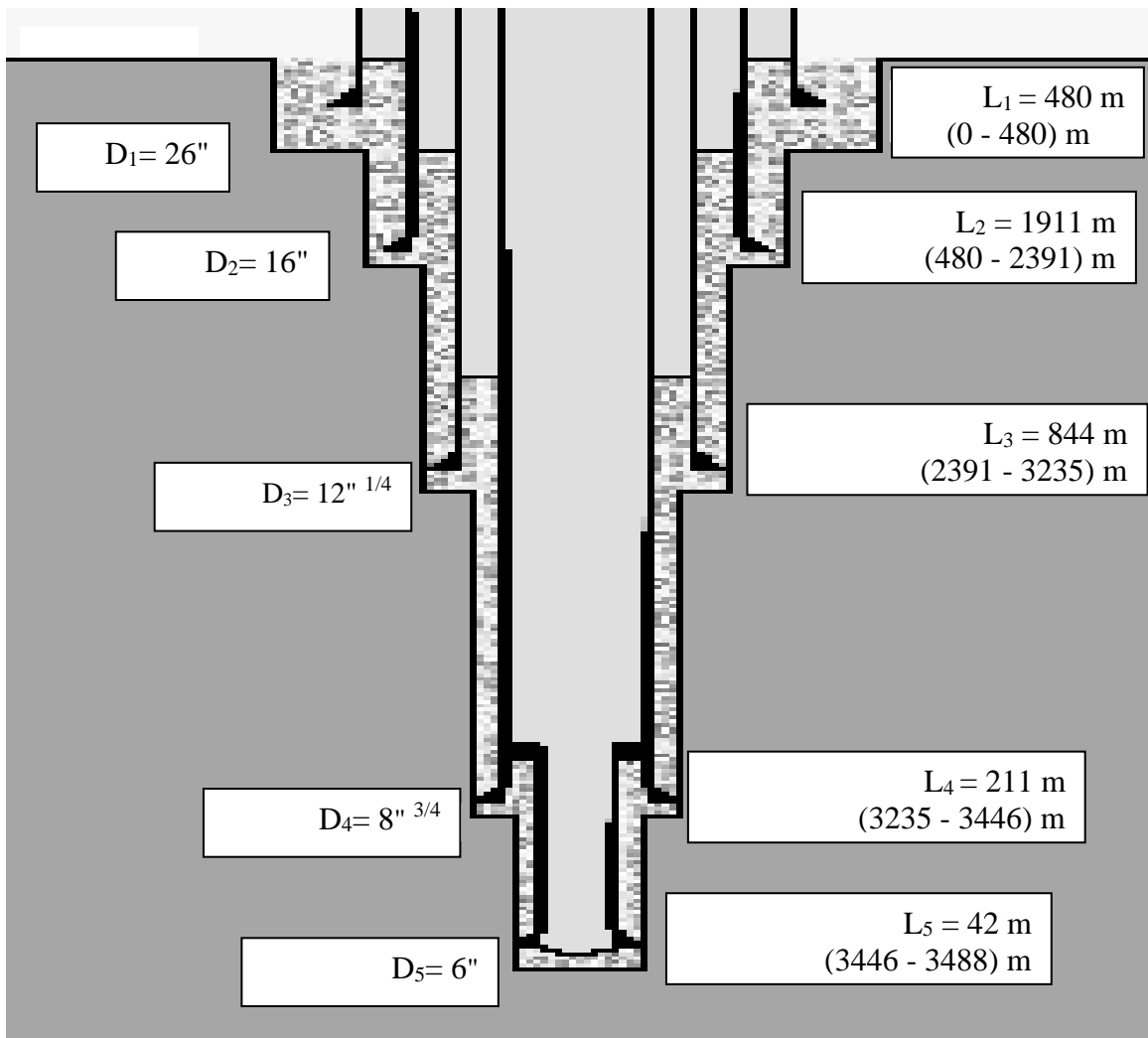
#### Introduction:

La connaissance d'une part des lois de l'écoulement des fluides de forage et d'autre part des débits nécessaires à la remontée des déblais permet d'établir un calcul des puissances hydrauliques pour un puits donné.

Le but de ce calcul est de déterminer la puissance mécanique à installer sur les pompes de forage, la puissance nécessaire des moteurs électriques d'entraînement de la pompe à boue.

Pour cela on détermine les pertes de charge pour un puits de 3488m

Le puits que nous avons étudié est composé de cinq phases comme il est illustré à la figure ci-dessous.



(Figure V-1) Construction du puits

• **Liste de symboles utilisés :**

- $D_1, D_2, D_3, D_4, D_5$  : diamètre de trou de chaque phase ;
- $D_{1t}, D_{2t}, D_{3t}, D_{4t}, D_{5t}$  : diamètre de tubage de chaque phase
- $L_1, L_2, L_3, L_4, L_5$  : les profondeurs des phases ;
- $D_{mt}$  : diamètre des masses tiges ;
- $L_{tf}$  : longueur des tiges de forage ;
- $L_{mt}$  : longueur masses tiges.

**1.1. Calcul des pertes de charge :**

Le fluide est supposé être du model *Bingham* et l'écoulement turbulent les pertes de charge sont de la forme  $P = NB$ .

Avec :

$$N = \frac{L \times Q^{1.8}}{901.63 \times D^{4.8}} \text{ (Intérieur de la garniture)}$$

$$N = \frac{L \times Q^{1.8}}{706.63(D_0 + D_i)^{1.8} (D_0 + D_i)^3} \text{ (Espace auxiliaire)}$$

$D$  = diamètre intérieur de la garniture ;

$D_0$  = diamètre du trou ;

$D_i$  = diamètre extérieur de la garniture.

- **Important :** Notons que les coefficients  $N$  représentent les pertes de charge pour l'eau pure.
  - a) Recherche du coefficient  $B$  correspondant à la bonne circulation ;
  - b) Notons les longueurs en centaines de mètres de différentes phases de géomètre identique (intérieurs tiges, intérieurs masse tiges auxiliaires, masse tiges, auxiliaire trou/tiges) ;
  - c) Chercher les coefficients  $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5$ , correspondants ;
  - d) Calculs des pertes de charge aux duses.

Avec :

$N_1$  : coefficient de pertes de charge dans l'installation de surface ;

$N_2$  : coefficient de pertes de charge à l'intérieur des tiges (Kpa/100m) ;

$N_3$  : coefficient de pertes de charge à l'intérieur des masses tiges (Kpa/100m) ;

$N_4$ : coefficient de perte des charge à l'espace annulaire des masses tiges (Kpa/100m) ;

$N_5$  : coefficient de pertes de charge à l'espace annulaire /tiges (Kpa/100m).



## Chapitre IV : Dimensionnement de la pompe oil well a 1400 PT

### ❖ Calcul de B dans chaque phase :

D'après le formulaire de foreur on peut déterminer le coefficient  $B$ , on reporte les résultants dans le tableau suivant :

#### • Caractéristiques du fluide de forage :

Phases	1 <sup>ere</sup> (26")	2 <sup>eme</sup> (16")	3 <sup>eme</sup> (12" 1/4)	4 <sup>eme</sup> (8" 3/4)	5 <sup>eme</sup> (6")
Densité	1.05	1.25	2.02	1.45	1.0
Viscosité Vp (Cp)	14	50	45	35	8
B	1.76	2.61	3.76	2.82	1.52

### 2-a Modèle d'un puits

Phases de forage	1 <sup>ere</sup> (26") (0 - 480) m			2 <sup>eme</sup> (16") (480 - 2391) m			3 <sup>eme</sup> (12" 1/4) (2391 - 3235) m			4 <sup>eme</sup> (8" 3/4) (3235 - 3446) m			5 <sup>eme</sup> (6") (3446 - 3500) m		
	D <sub>1</sub>	D <sub>1t</sub>	L <sub>1</sub> (m)	D <sub>2</sub>	D <sub>2t</sub>	L <sub>2</sub> (m)	D <sub>3</sub>	D <sub>3t</sub>	L <sub>3</sub> (m)	D <sub>4</sub>	D <sub>4t</sub>	L <sub>4</sub> (m)	D <sub>5</sub>	D <sub>5t</sub>	L <sub>5</sub> (m)
Valeurs	26"	18" 5/8	480	16"	13" 3/8	2391	12" 1/4	9" 5/8	3235	8" 3/8	7"	3446	6"	5"	3500
	660	473		406	340		311	244		213	178		152	127	

**Chapitre IV : Dimensionnement de la pompe oil well a 1400 PT**

Phases garniture de forage		1 <sup>ere</sup> (26")	2 <sup>eme</sup> (16")	3 <sup>eme</sup> (12" 1/4)	4 <sup>eme</sup> (8" 3/4)	5 <sup>eme</sup> (6")
Tiges de forage	Dt (mm)	5"×4" 3/4 127/109	5"×4" 3/4 127/109	5"×4" 3/4 127/109	5"×4" 3/4 127/109	5"×4" 3/4 127/109
	L <sub>tf</sub> (m)	339	2228	3072	3246	3347
Masses tiges	a) Dmt	3(9.5"×3" 1/2)	7(9.5"×3" 1/2)	7(9.5"×3" 1/2)	22(6,5"×3")	15(4.75"×2.25")
	b)	12(8"×2" 13/16) )	12(8"×2" 13/16) )	12(8"×2" 13/16) )		
	a) Lmt	28m	64m	64m	200m	141m
	b)	113m	113m	113m		
	(a+b)					
		141m	177m	177m		
Outil	Ø	1 <sup>ere</sup> (26")	2 <sup>eme</sup> (16")	3 <sup>eme</sup> (12" 1/4)	4 <sup>eme</sup> (8" 3/4)	5 <sup>eme</sup> (6")
	Surface des duses	660mm	406mm	311mm	213mm	152mm

		A = 0.941	A = 0.764	A = 0.675	A = 0.601	A = 0.388
--	--	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

NB : 1" = 25.4 mm

## 2-b Dimensionnement de la garniture de forage

### 1.1 Calcul des pertes de charge :

#### a) Dans l'installation de surface :

Dans ce cas les équipements de surface du système de circulation de boue étudié correspondent au 3<sup>ème</sup> cas.

$$P_{1i} = N_{1i} \cdot B_i \text{ (Kpa); } (i = 1, 2, 3, 4, 5).$$

- **La 1<sup>ère</sup> phase :**

$$Q = 4000 \text{ L/min, } N_{11} = 557 \text{ Kpa (trouvé à partir du formulaire de foreur)}$$

$$P_{11} = N_{11} \cdot B_1 = 557 \times 1.76$$

$$P_{11} = 980.32 \text{ Kpa} = 9.80 \text{ bars}$$

$$P_{11} = 9.80 \text{ bars}$$

- **La 2<sup>ème</sup> phase :**

$$Q = 3400 \text{ L/min, } N_{12} = 416 \text{ Kpa}$$

$$P_{12} = N_{12} \cdot B_2 = 416 \times 2.61 = 1085.76 \text{ Kpa} = 10.85 \text{ bars}$$

$$P_{12} = 10.85 \text{ bars}$$

- **La 3<sup>ème</sup> phase :**

$$Q = 2500 \text{ L/min, } N_{13} = 239 \text{ Kpa}$$

$$P_{13} = N_{13} \cdot B_3 = 239 \times 3.76 = 898.64 \text{ Kpa} = 8.98 \text{ bars}$$

$$P_{13} = 8.98 \text{ bars}$$

- **La 4<sup>ème</sup> phase :**

$$Q = 1900 \text{ L/min, } N_{14} = 146 \text{ Kpa}$$

$$P_{14} = N_{14} \cdot B_4 = 146 \times 2.82 = 411.72 \text{ Kpa} = 4.11 \text{ bars}$$

$$P_{14} = 4.11 \text{ bars}$$

- **La 5<sup>ème</sup> phase :**

$$Q = 500 \text{ L/min, } N_{15} = 13 \text{ Kpa}$$

$$P_{15} = N_{15} \cdot B_5 = 13 \times 1.52 = 19.76 \text{ Kpa} = 0.197 \text{ bars}$$

$$P_{15}=0.197 \text{ bars}$$

b) Calcul des pertes de charge à l'intérieure des tiges :

$$P_{2i} = N_{2i} \cdot B_i \frac{Lt_i}{100} ; (i=1, 2, 3, 4, 5)$$

• La 1<sup>ère</sup> phase :

Q = 4000 L/min, N<sub>21</sub>= 335 Kpa, Lt<sub>1</sub> = 339m

$$P_{21} = N_{21} \cdot B_1 \frac{Lt_1}{100} = 335 \times 1.76 \frac{339}{100} = 1998.74 Kpa = 19.98 bars$$

$$P_{21}=19.98 \text{ bars}$$

• La 2<sup>ème</sup> phase :

Q = 3400 L/min, N<sub>22</sub>= 151 Kpa, Lt<sub>2</sub> = 2228m

$$P_{22} = N_{22} \cdot B_2 \frac{Lt_2}{100} = 151 \times 2.61 \frac{2228}{100} = 8780.77 Kpa = 87.80 bars$$

$$P_{22}=87.80 \text{ bars}$$

• La 3<sup>ème</sup> phase :

Q = 2500 L/min, N<sub>23</sub>= 85 Kpa, Lt<sub>2</sub> = 3072m

$$P_{23} = N_{23} \cdot B_3 \frac{Lt_3}{100} = 85 \times 3.76 \frac{3072}{100} = 9818.112 Kpa = 98.18 bars$$

$$P_{23}=98.18 \text{ bars}$$

• La 4<sup>ème</sup> phase :

Q = 1900 L/min, N<sub>24</sub>= 53 Kpa, Lt<sub>2</sub> = 3246m

$$P_{24} = N_{24} \cdot B_4 \frac{Lt_4}{100} = 53 \times 2.82 \frac{3246}{100} = 4851.47 Kpa = 48.51 bars$$

$$P_{24} = 48.51 \text{ bars}$$

• La 5<sup>ème</sup> phase :

Q = 500 L/min, N<sub>25</sub>= 8 Kpa, Lt<sub>2</sub> = 3347m

$$P_{25} = N_{25} \cdot B_5 \frac{Lt_5}{100} = 8 \times 1.52 \frac{3347}{100} = 406.99 Kpa = 4.07 bars$$

$$P_{25} = 4.07 \text{ bars}$$

c) Calcul des pertes de charge à l'intérieur des masses tiges :

Compte tenu de notre programme de forage nous avons deux Ø de masses tiges pour les phases 1, 2, 3, 4, 5 (voir tableau modèle d'un puits).

$$P_{3i} = N_{3i} \cdot B_i \frac{Lmt_i}{100}; (i=1, 2, 3, 4, 5)$$

• La 1<sup>ère</sup> phase :

Q = 4000 L/min.

a) Ø int, mt = 3", Lmt<sub>1a</sub> = 28m, N<sub>31a</sub> = 828 Kpa

$$P_{31a} = N_{31a} \cdot B_1 \frac{Lmt_{1a}}{100} = 826 \times 1.76 \times \frac{28}{100} = 407.05 Kpa$$

b) Ø int, mt = 2<sup>13/16</sup>", Lmt<sub>1b</sub> = 113m, N<sub>31b</sub> = 1179 Kpa.

$$P_{31b} = N_{31b} \cdot B_1 \frac{Lmt_{1b}}{100} = 1179 \times 1.76 \times \frac{113}{100} = 2344.79 Kpa$$

Donc :  $P_{31} = P_{31a} + P_{31b} = 407.05 + 2344.79 = 2751.84 Kpa = 27.51 bars$

$$P_{31} = 27.51 \text{ bars}$$

• La 2<sup>ème</sup> phase :

Q = 3400 L/min.

a) Ø int, mt = 3", Lmt<sub>2a</sub> = 64m, N<sub>32a</sub> = 617 Kpa

$$P_{32a} = N_{32a} \cdot B_2 \frac{Lmt_{2a}}{100} = 617 \times 2.61 \times \frac{64}{100} = 1030.63 Kpa$$

b) Ø int, mt = 2<sup>13/16</sup>", Lmt<sub>2b</sub> = 113m, N<sub>32b</sub> = 880 Kpa.

$$P_{32b} = N_{32b} \cdot B_2 \frac{Lmt_{2b}}{100} = 880 \times 2.61 \times \frac{113}{100} = 2595.38 Kpa$$

Donc :  $P_{32} = P_{32a} + P_{32b} = 1030.63 + 2595.38 = 3626.02 Kpa = 36.26 bars$

$$P_{32} = 36.26 \text{ bars}$$

• La 3<sup>ème</sup> phase :

Q =2500 L/min.

a) Ø int, mt =3", Lmt<sub>3a</sub> = 64m, N<sub>33a</sub> =355 Kpa

$$P_{33a} = N_{33a} \cdot B_3 \frac{Lmt_{3a}}{100} = 355 \times 3.76 \times \frac{64}{100} = 856.27 Kpa$$

b) Ø int, mt= 2"<sup>13/16</sup>, Lmt<sub>3b</sub> = 113m, N<sub>33b</sub> = 506 Kpa.

$$P_{33b} = N_{33b} \cdot B_3 \frac{Lmt_{3b}}{100} = 506 \times 3.76 \times \frac{113}{100} = 2149.89 Kpa$$

Donc :

$$P_{33} = P_{33a} + P_{33b} = 856.27 + 2149.89 = 3004.16 Kpa = 30.04 bars$$

$$P_{33} = 30.04 \text{ bars}$$

- La 4<sup>ème</sup> phase :

Q =1900 L/min.

Ø int, mt =3", Lmt<sub>4</sub> = 200m, N<sub>34</sub> =309 Kpa

$$P_{34} = N_{34} \cdot B_4 \frac{Lmt_4}{100} = 309 \times 2.82 \times \frac{200}{100} = 1742.76 Kpa = 17.42 bars$$

$$P_{34} = 17.42 \text{ bars}$$

- La 5<sup>ème</sup> phase :

Q =500 L/min.

Ø int, mt =3", Lmt<sub>5</sub> = 141m, N<sub>35</sub> =28Kpa

$$P_{35} = N_{35} \cdot B_5 \frac{Lmt_5}{100} = 28 \times 1.52 \times \frac{141}{100} = 60 Kpa = 0.6 bars$$

$$P_{35} = 0.6 \text{ bars}$$

**d) Les pertes des charges dans l'espace annulaire (masses tiges et trou) :**

$$P_{4i} = N_{4i} \cdot B_i \frac{Lmt_i}{100} ; (i=1, 2, 3, 4, 5)$$

- La 1<sup>ère</sup> phase :

Q = 4000 L/min.

a)  $\emptyset$  trou = 26",  $\emptyset_{ext}$ , mt = 9.5", Lmt<sub>41a</sub> = 28m, N<sub>41a</sub> = 2 Kpa

$$P_{41a} = N_{41a} \cdot B_1 \frac{Lmt_{1a}}{100} = 2 \times 1.76 \times \frac{28}{100} = 0.98 Kpa$$

b)  $\emptyset$  trou = 26",  $\emptyset_{ext}$ , mt = 8", Lmt<sub>41b</sub> = 113m, N<sub>41b</sub> = 1 Kpa

$$P_{41b} = N_{41b} \cdot B_1 \frac{Lmt_{1b}}{100} = 1 \times 1.76 \times \frac{113}{100} = 1.98 Kpa$$

Donc :  $P_{41} = P_{41a} + P_{41b} = 0.98 + 1.98 = 2.96 Kpa = 0.03 bars$

$$P_{41} = 0.03 \text{ bars}$$

• La 2<sup>ème</sup> phase :

Q = 3400 L/min

a)  $\emptyset$  trou = 16",  $\emptyset_{ext}$ , mt = 9.5", Lmt<sub>42a</sub> = 64m, N<sub>42a</sub> = 6 Kpa

$$P_{42a} = N_{42a} \cdot B_2 \frac{Lmt_{2a}}{100} = 6 \times 2.61 \times \frac{64}{100} = 10.02 Kpa$$

b)  $\emptyset$  trou = 16",  $\emptyset_{ext}$ , mt = 8", Lmt<sub>42b</sub> = 113m, N<sub>42b</sub> = 3 Kpa

$$P_{42b} = N_{42b} \cdot B_2 \frac{Lmt_{2b}}{100} = 3 \times 2.61 \times \frac{113}{100} = 17.69 Kpa$$

Donc :  $P_{42} = P_{42a} + P_{42b} = 10.02 + 17.69 = 27.71 Kpa = 0.27 bars$

$$P_{42} = 0.188 \text{ bars}$$

• La 3<sup>ème</sup> phase :

Q = 2500 L/min

a)  $\emptyset$  trou = 12"<sup>1/4</sup>,  $\emptyset_{ext}$ , mt = 9.5", Lmt<sub>43a</sub> = 64m, N<sub>43a</sub> = 35 Kpa

$$P_{43a} = N_{43a} \cdot B_3 \frac{Lmt_{3a}}{100} = 35 \times 3.76 \times \frac{64}{100} = 84.22 Kpa$$

b)  $\emptyset$  trou = 12"<sup>1/4</sup>,  $\emptyset_{ext}$ , mt = 8", Lmt<sub>43b</sub> = 113m, N<sub>43b</sub> = 11 Kpa

$$P_{43b} = N_{43b} \cdot B_3 \frac{Lmt_{3b}}{100} = 11 \times 3.76 \times \frac{113}{100} = 46.73 Kpa$$

Donc :  $P_{43} = P_{43a} + P_{43b} = 84.22 + 46.73 = 130.96 Kpa = 1.31 bars$

$$P_{43} = 1.31 \text{ bars}$$

• La 4<sup>ème</sup> phase :

$$Q = 1900 \text{ L/min}$$

$$\varnothing \text{ trou} = 8''^{3/4}, \varnothing \text{ ext, mt} = 6.5'', \text{Lmt}_{44} = 200\text{m}, N_{44} = 73 \text{ Kpa}$$

$$P_{44} = N_{44} \cdot B_4 \frac{Lmt_4}{100} = 73 \times 2.82 \times \frac{200}{100} = 411.72 \text{ Kpa} = 4.11 \text{ bars}$$

$$P_{44} = 4.11 \text{ bars}$$

• La 5<sup>ème</sup> phase :

$$Q = 500 \text{ L/min}$$

$$\varnothing \text{ trou} = 6'', \varnothing \text{ ext, mt} = 4.75'', \text{Lmt}_{45} = 141\text{m}, N_{45} = 16 \text{ Kpa}$$

$$P_{45} = N_{45} \cdot B_5 \frac{Lmt_5}{100} = 16 \times 1.52 \times \frac{141}{100} = 34.29 \text{ Kpa} = 0.34 \text{ bars}$$

$$P_{45} = 0.34 \text{ bars}$$

e) Pertes de charge dans l'espace annulaire (tiges trous) :

$$P_{5i} = N_{5i} \cdot B_i \frac{Lt_i}{100}; (i=1, 2, 3, 4, 5)$$

• La 1<sup>ère</sup> phase :

$$Q = 4000 \text{ L/min. } \varnothing \text{ trou} = 26'', \varnothing \text{ ext.tige} = 5'', N_{51} = 1 \text{ Kpa}, Lt_1 = 339\text{m.}$$

$$P_{51} = N_{51} \cdot B_1 \frac{Lt_1}{100} = 1 \times 1.76 \times \frac{339}{100} = 5.96 \text{ Kpa} = 0.06 \text{ bars}$$

$$P_{51} = 0.06 \text{ bars}$$

• La 2<sup>ème</sup> phase :

$$Q = 3400 \text{ L/min. } \varnothing \text{ trou} = 16'', \varnothing \text{ ext.tige} = 5'', N_{52} = 1 \text{ Kpa}, Lt_2 = 2228\text{m}$$

$$P_{52} = N_{52} \cdot B_2 \frac{Lt_2}{100} = 1 \times 2.61 \times \frac{2228}{100} = 58.15 \text{ Kpa} = 0.58 \text{ bars}$$

$$P_{52} = 0.58 \text{ bars}$$

• La 3<sup>ème</sup> phase :



$Q = 2500 \text{ L/min}$ .  $\emptyset \text{ trou} = 12''^{1/4}$ ,  $\emptyset \text{ ext.tige} = 5''$ ,  $N_{53} = 3 \text{ Kpa}$ ,  $Lt_3 = 3072\text{m}$

$$P_{53} = N_{53} \cdot B_3 \frac{Lt_3}{100} = 3 \times 3.76 \times \frac{3072}{100} = 346.52 \text{Kpa} = 3.46 \text{bars}$$

$$P_{53} = 3.46 \text{ bars}$$

• La 4<sup>ème</sup> phase :

$Q = 1900 \text{ L/min}$ .  $\emptyset \text{ trou} = 8''^{3/4}$ ,  $\emptyset \text{ ext.tige} = 5''$ ,  $N_{54} = 22 \text{ Kpa}$ ,  $Lt_4 = 3246\text{m}$

$$P_{54} = N_{54} \cdot B_4 \frac{Lt_4}{100} = 22 \times 2.82 \times \frac{3246}{100} = 2013.81 \text{Kpa} = 20.13 \text{bars}$$

$$P_{54} = 20.13 \text{ bars}$$

• La 5<sup>ème</sup> phase :

$Q = 500 \text{ L/min}$ .  $\emptyset \text{ trou} = 6''$ ,  $\emptyset \text{ ext.tige} = 5''$ ,  $N_{55} = 35 \text{ Kpa}$ ,  $Lt_5 = 3347\text{m}$

$$P_{55} = N_{55} \cdot B_5 \frac{Lt_5}{100} = 35 \times 1.52 \times \frac{3347}{100} = 1780.60 \text{Kpa} = 17.80 \text{bars}$$

$$P_{55} = 17.80 \text{ bars}$$

#### f) Les pertes de charge au niveau de trépan

La perte de charge au niveau du trépan est donnée par la relation suivante

$$P_d = \frac{\rho \times Q^2}{2959.41 \times (0.95)^2 \times A^2}$$

A : aire des duses en ( $\text{in}^2 = (\text{pousse})^2$ )

$\rho$  : Masse volumique = 1 Kg/L

• La 1<sup>ère</sup> phase :

$Q = 4000 \text{ L/min}$ ,  $A = 0.941 \text{ in}^2$ ,  $\rho = 1.05 \text{ Kg/L}$

$$P_{d1} = \frac{1.05 \times (4000)^2}{2959.41 \times (0.95)^2 \times (0.941)^2} = 7103.58 \text{Kpa} = 71.03 \text{bars}$$

$$P_{d1} = 71.03 \text{ bars}$$

• La 2<sup>ème</sup> phase :

$Q = 3400 \text{ L/min}$ ,  $A = 0.764 \text{ in}^2$ ,  $\rho = 1.25 \text{ Kg/L}$

$$P_{d2} = \frac{1.25 \times (3400)^2}{2959.41 \times (0.95)^2 \times (0.764)^2} = 9268.91 \text{Kpa} = 92.69 \text{bars}$$

$$P_{d2} = 92.69 \text{ bars}$$

- La 3<sup>ème</sup> phase :

$$Q = 2500 \text{ L/min}, A = 0.675 \text{ in}^2, \rho = 2.02 \text{ Kg/L}$$

$$P_{d3} = \frac{2.02 \times (2500)^2}{2959.41 \times (0.95)^2 \times (0.675)^2} = 10374.60 \text{ Kpa} = 103.74 \text{ bars}$$

$$P_{d3} = 103.74 \text{ bars}$$

- La 4<sup>ème</sup> phase :

$$Q = 1900 \text{ L/min}, A = 0.601 \text{ in}^2, \rho = 1.45 \text{ Kg/L}$$

$$P_{d4} = \frac{1.45 \times (1900)^2}{2959.41 \times (0.95)^2 \times (0.601)^2} = 5425.92 \text{ Kpa} = 54.26 \text{ bars}$$

$$P_{d4} = 54.26 \text{ bars}$$

- La 5<sup>ème</sup> phase :

$$Q = 500 \text{ L/min}, A = 0.388 \text{ in}^2, \rho = 1.0 \text{ Kg/L}$$

$$P_{d4} = \frac{1 \times (500)^2}{2959.41 \times (0.95)^2 \times (0.388)^2} = 622 \text{ Kpa} = 6.22 \text{ bars}$$

$$P_{d5} = 6.22 \text{ bar}$$

### Tableau de récapitulation

Pertes de charge (bars)					
Phases éléments de circuits	1 <sup>ère</sup> (26")	2 <sup>ème</sup> (16")	3 <sup>ème</sup> (12" 1/4)	4 <sup>ème</sup> (8" 3/4)	5 <sup>ème</sup> (6")
Installation de surface	9.80	10.85	8.98	4.11	0.197

Intérieur des tiges	19.98	87.80	98.18	45.51	4.07
Intérieur des masses tiges	27.51	36.26	30.04	17.42	0.6
Espace annulaire (masse tige-trou)	0.03	0.19	1.31	4.11	0.34
Espace annulaire (tige-trou)	0.06	0.58	3.46	20.14	17.80
Outil	71.03	92.69	103.74	54.26	6.22
Total	128.43	228.38	245.73	148.56	29.23

Nous avons les pressions de refoulement maximal pour chaque phase de forage. La plus grande de ces pressions doit être considérée comme pression maximale de pomperie de forage on a donc  $P_{\max} = 245.73$  bars (correspondent à la 3<sup>ème</sup> phase).

**1.2 Calcul de la puissance hydraulique pour chaque phase :**

$$W_h = \frac{Pr \times Q}{60000}$$

**W<sub>h</sub>** : puissance hydraulique (KW) ;

**Pr** : pression de refoulement (Kpa) ;

**Q** : débit de chaque phase (L/min).

Phase paramètre	1 <sup>ère</sup> (26") 446 m	2 <sup>ème</sup> (16") 1881 m	3 <sup>ème</sup> (12" 1/4) 915 m	4 <sup>ème</sup> (8" 3/4) 80 m	5 <sup>ème</sup> (6") 899 m
Débit Q (L/min)	4000	3400	2500	1900	500
Pression Pr (Kpa)	12843.43	22838.48	24573	14856.65	2923.41
Puissance hydraulique $W_h$ (KW)	856.23	1046.76	982.92	496.20	26.77
$W_h$ (Ch)	1136.35	1389.22	1304.49	658.54	35.53

D'où la puissance hydraulique exigée est de ;  $1046.76 \text{ KW} = 1389.22 \text{ Ch}$ .

Donc la puissance  $1389.22 < 1400 \text{ Ch}$

### 1.3 Calcul de la puissance mécanique maximale de la pompe :

$$W_{m,\max} = \frac{W_h}{\eta_m}$$

$\eta_m$  : rendement mécanique interne pompe est égale à 0.85.

$$\text{Donc : } W_{m,\max} = \frac{W_{h,\max}}{\eta_m} = \frac{1046.76}{0.85} = 1231.48 \text{ KW}$$

$$W_{m,\max} = 1231.48 \text{ Kw}$$

$$W_{m,\max} = \frac{1231.48}{0.75349} = 1634.37 \text{ Ch}$$

$$W_{m,\max} = 1634.37 \text{ Ch}$$

### 1.4. Calcul la puissance fournie par un moteur électrique :

$$W_{\text{moteur}} = \frac{W_{m,\max}}{n \cdot \eta_t}$$

$\eta_t$  : rendement de transmission = 0.95 ;

n : nombre des moteur = 2 ;

$$W_{m,\max} = 1231.48 \text{ KW}$$

La puissance mécanique et pour les deux pompes ; pour une seule pompe :

$$\frac{1231.48}{2} = 615.74KW$$

Donc la puissance du moteur électrique est de :

$$W_{moteur} = \frac{615.74}{2 \times 0.95} = 324.07kw$$

$$1 \text{ ch} = 0.73549 \text{ Kw}$$

$$\text{Alors : } W_{moteur} = 440.62ch$$

**Conclusion:**

Les moteurs électriques installés sur la pompe possèdent une puissance unitaire de 440.62 ch ce qui les rendent largement satisfaisants pour les besoins hydrauliques du puits.

**2. CALCUL HYDRAULIQUE DE LA POMPE A BOUE :**

Le calcul comprend :

1. Calcul du diamètre de chaque chemise ;
2. Construction des graphiques du débit instantané ;
3. Détermination de volume de l'amortisseur de pulsation.

**2.1 Calcul du diamètre de la chemise de chaque phase :**

Le diamètre est donnée par la formule :

$$D_i = \sqrt{\frac{K \times Q_i}{\alpha \times c \times N}}$$

Où :

**D<sub>i</sub>** : Diamètre intérieur de la chemise [m] ;

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

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

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

**C** : Course de piston c = 0,254 m ;

**α**: Coefficient du débit de la pompe, α = 0,90 ;

**Première phase :**

$$Q_1 = \frac{4000}{2} = 2000L / \text{min} \text{ (Débit de la boue pour une seule pompe)}$$

$$D_1 = \sqrt{\frac{25.4 \times \frac{2000}{60 \times 1000}}{0.9 \times 0.254 \times 120}} = 0.175m \Rightarrow D_1 = 175mm$$

**Deuxième phase :**

$$Q_1 = \frac{3400}{2} = 1700L / \text{min} \text{ (Débit de la boue pour une seule pompe)}$$

$$D_1 = \sqrt{\frac{25.4 \times \frac{1700}{60 \times 1000}}{0.9 \times 0.254 \times 120}} = 0.1619m \Rightarrow D_1 = 162mm$$

**Troisième phase :**

$$Q_1 = \frac{2500}{2} = 1250L / \text{min} \text{ (Débit de la boue pour une seule pompe)}$$

$$D_1 = \sqrt{\frac{25.4 \times \frac{1250}{60 \times 1000}}{0.9 \times 0.254 \times 120}} = 0.1388m \Rightarrow D_1 = 139mm$$

**Quatrième phase :**

$$Q_1 = \frac{1900}{2} = 950L / \text{min} \text{ (Débit de la boue pour une seule pompe)}$$

$$D_1 = \sqrt{\frac{25.4 \times \frac{950}{60 \times 1000}}{0.9 \times 0.254 \times 120}} = 0.121m \Rightarrow D_1 = 121mm$$

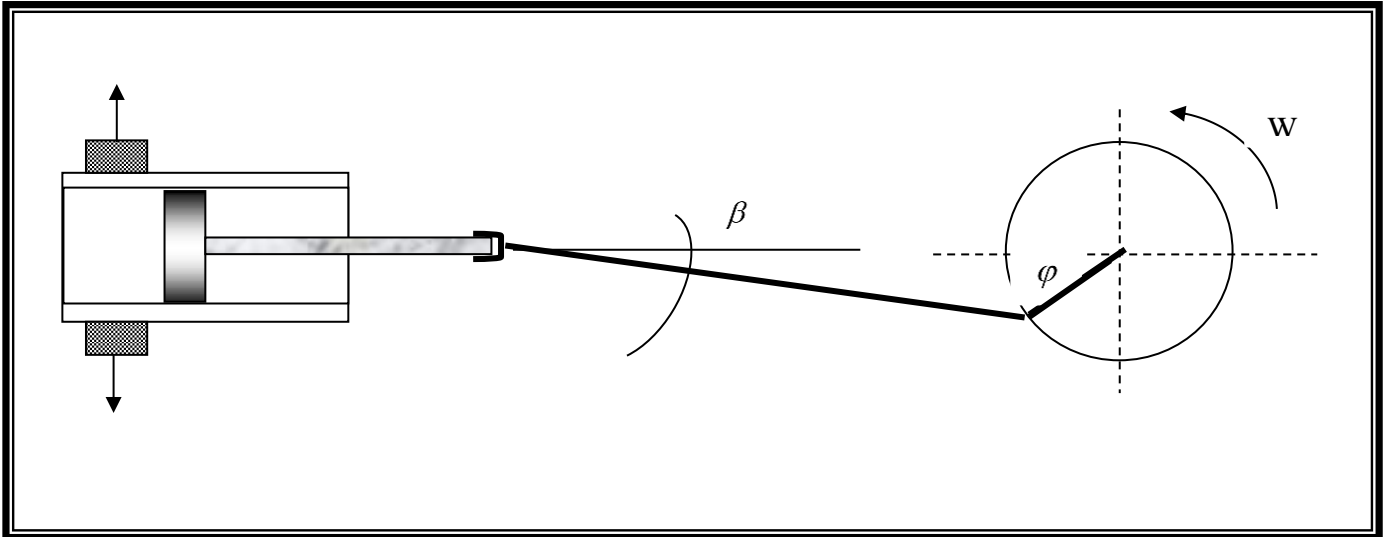
**Cinquième phase :**

$$Q_1 = \frac{500}{2} = 250L / \text{min} \text{ (Débit de la boue pour une seule pompe)}$$

$$D_1 = \sqrt{\frac{25.4 \times \frac{250}{60 \times 1000}}{0.9 \times 0.254 \times 120}} = 0.0621m \Rightarrow D_1 = 62.1mm$$

**2.2 Graphique de débit instantané :**

Le graphique du débit est construit à partir de la formule suivante de la vitesse instantanée du piston



$$V = \omega r \frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos \beta}$$

Où  $\sin \beta = \frac{r}{l} \sin \varphi$

Avec :

**r** : rayon de manivelle ;

**l** : longueur de la bielle ;

**V** : étant la vitesse du piston ;

**W** : La vitesse angulaire (rad/sec).

On a  $Q = V \cdot S_p \cdot \alpha$

$\alpha$  : coefficient de débit ;  $\alpha = (0.91 - 0.96)$ .

On prend  $\alpha = 0.94$ .

$S_p$  : la surface de piston au section de la chemise.

$\beta$  est très petit (  $\rightarrow 0$  ) implique  $\frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos \beta} = \sin \varphi$

**Donc**

$$V = W \cdot r \cdot \sin \varphi \dots\dots\dots(1)$$

\*  $r = \frac{c}{2}$

## Chapitre IV : Dimensionnement de la pompe oil well a 1400 PT

C : la course du piston=10''=0.254m

$$\text{Donc : } r = \frac{c}{2} = \frac{0.254}{2} = 0.127\text{m}$$

\*On calcule la vitesse angulaire  $\omega$  d'après la formule suivante :

$$\omega = \frac{2.\pi.n}{60}; n = 120 \text{Tr/min}$$

$$\omega = \frac{2.\pi.120}{60} = 12.56 \text{Tr/min}$$

**Donc la vitesse**

$$V = 12.56 \times 0.127 \cdot \sin \varphi$$

$$V = 1.6 \sin \varphi$$

La section maximale de la chemise :

$$D = \varnothing_{c,\max} = 7'' = 177.8 \text{ mm}$$

$$S = \frac{\pi.D^2}{4} = \frac{\pi.(177.8 \times 10^{-3})^2}{4} = 0.024 \text{m}^2$$

Alors le débit instantané est de

$$Q = 1.6 \cdot \sin \varphi \times 0.024 \times 0.94$$

$$Q = 0.036 \times \sin \varphi$$

Angle $\varphi$ (degré)	0	30	60	90	120	150	180
Q (m <sup>3</sup> /s)	0	0.018	0.031	0.036	0.031	0.018	0

Ces résultats sont pour un cylindre. Ils sont les mêmes pour les deux autres cylindres (avec un décalage de 120° entre eux).

- **Calcul le débit moyenne ( $Q_{\text{moy}}$ ) :**

$$Q_{\text{moy}} = 3 \frac{n \times V}{60} \times \alpha$$

n : nombre de coup par minute n = 120 coup/min.

V : le volume de piston V = S.C = 0.024x0.254 = 0.0061m<sup>3</sup>.

$$Q_{\text{moy}} = 3 \frac{120 \times 0.0061 \times 0.94}{60} = 0.033 \text{m}^3 / \text{s}$$

### 2.3 Le volume de l'amortisseur :



- le volume moyen d'un amortisseur de pulsation est donné par la formule suivante :

$$V_{moy} = \frac{K.S_p.c}{\delta}$$

- **K** : coefficient dépend du type et principe d'action de la pompe (pour les pompe triplex (K = 0.009).
- **S<sub>p</sub>** : section du piston = 0.026m<sup>2</sup>.
- **C** : course du piston = 10" = 0.254m.
- **δ** : coefficient d'irrégularité (δ = 0.01 ÷ 0.03).

On prend δ = 0.015

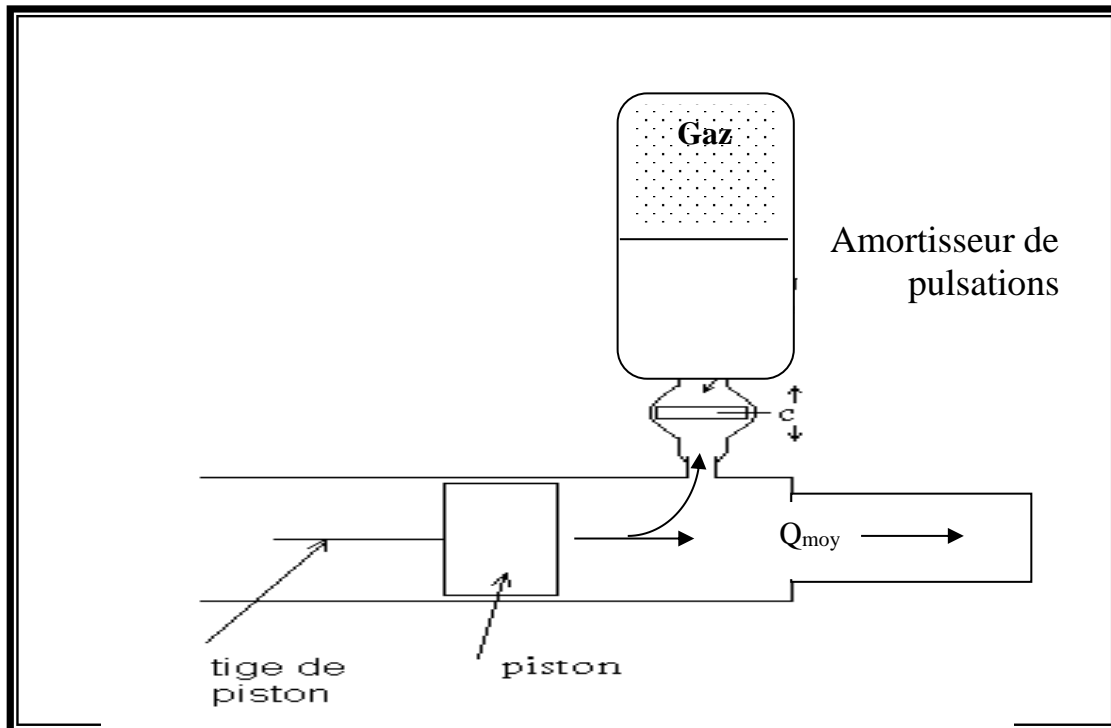
Donc :  $V_{moy} = \frac{0.009 \times 0.024 \times 0.254}{0.015} = 0.00437m^3$

$$V_{moy} = 0.00437m^3 = 4.37L$$

- le volume de l'amortisseur sera :  $V_{amortisseur} = \frac{3}{2} V_{moy} = \frac{3K.S_p.c}{2\delta}$

$$V_{amortisseur} = \frac{3 \times 4.37}{2} = 6.55L$$

$$V_{amortisseur} = 6.55L$$



### 3 Calcul mécanique :

Le but de ce calcul est de vérifier la résistance de pièce d'usure (tige piston, chemise) au cas de sollicitation (3<sup>ème</sup> phase)

$$P = P_{\max}$$

#### 3.1 la tige du piston :

La tige du piston est soumise à la compression.

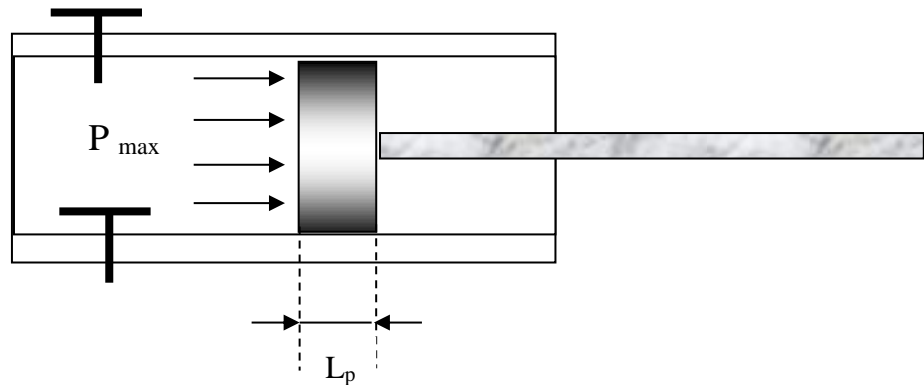
$$P = P_{\max} = 24.57 \times 10^6 \text{ Pa (N/m}^2\text{)}.$$

$D_p$  : diamètre du piston = 7" = 177.8mm

$L_p$  : longueur du piston 140mm

$d_t$  : diamètre de tige = 76mm.

On a :



#### 3.2 la force de compression :

$$F_{\text{compr}} = F_p + F_{tp}$$

$$F_p : \text{force de piston} = F_p = P_{\max} \frac{\pi \cdot D_p^2}{4}$$

$F_{tp}$  : force de frottement du piston :

$$F_{tp} = P_{\max} (\pi \cdot l_p \cdot D_p \cdot f_1)$$

$f_1$  : coefficient de frottement entre le piston et la chemise.

$$f_1 = (0.02 - 0.05).$$

On prend  $f_1 = 0.03$

$$F_p = 24.57 \times 10^6 \frac{\pi (177.8 \times 10^{-3})^2}{4} = 6.1 \times 10^5 \text{ N}$$

$$F_p = 610.04 \text{ KN}$$

$$F_{tp} = 24.56 \times 10^6 (\pi \times 177.8 \times 10^{-3} \times 140 \times 10^{-3} \times 0.03) = 5.76 \times 10^4 N$$

$$F_{tp} = 57.61 \text{ KN}$$

$$F_{comp} = 610.04 + 57.61 = 667.65 \text{ KN}$$

$$F_{comp} = 667.65 \text{ KN}$$

### 3.3 Contrainte de compression :

$$\sigma_{comp} = \frac{F_{comp}}{S_t} = \frac{F_{comp}}{\frac{\pi d^2}{4}}$$

$$\sigma_{comp} = \frac{667.65}{\frac{\pi(76)^2}{4}} = 0.147 \text{ KN/mm}^2 = 1.47 \text{ daN/mm}^2$$

#### Vérification :

La matière XC42 (Matière tige : X = acier inoxydable), de caractéristique mécanique plus élevée. Également pour leviers de changement de vitesse, arbre de relevage, vis de serrage.

$$\sigma_R = 70 \div 90 \text{ daN/mm}^2$$

$$\sigma_c = \sigma_{lim} (36 \div 70) \text{ daN/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{lim}}{\sigma_R} = \frac{70}{90} = 0.66 \Rightarrow n = 1.6$$

$$[\sigma]_{comp} = \frac{\sigma_{lim}}{n} = \frac{36}{1.6} = 22.5 \text{ daN/mm}^2$$

$$\sigma_{comp} < [\sigma]_{comp}$$

#### Donc :

La condition de résistance à la compression est vérifiée.

### 3.4 Résistance de la chemise à l'éclatement:

$\sigma_\tau$  : Contrainte tangentielle agit suivant le contour du cylindre.

$D_{ext}$  : Diamètre extérieur = 215mm.

$D_{int}$  : diamètre intérieur = 177.8mm.

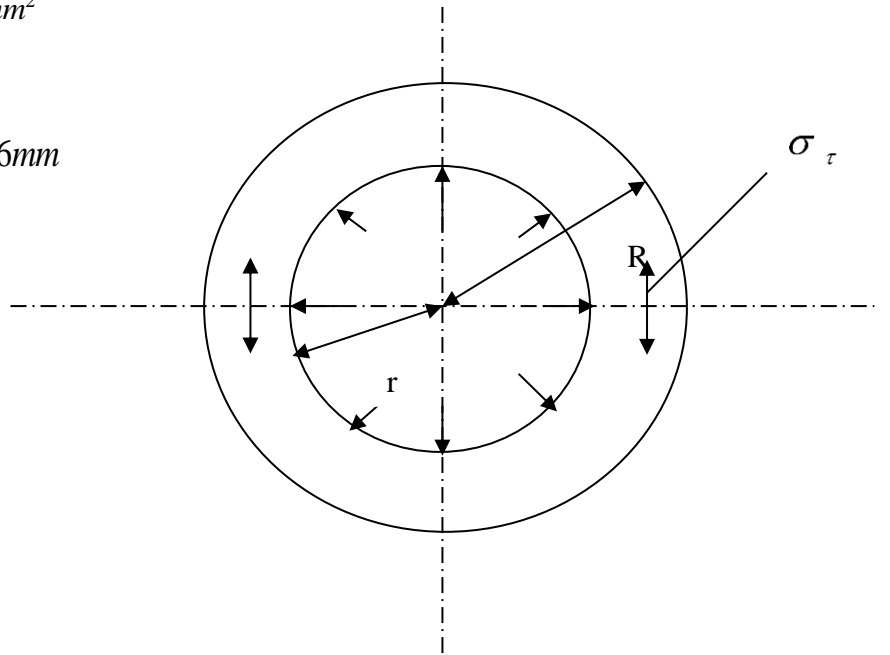
$$P_{int} = 24.57 \times 10^6 \text{ (N/m}^2\text{)} = 24.57 \text{ daN/mm}^2$$

L'épaisseur normale.

$$e_{nm} = \frac{D_{ext} - D_{int}}{2} = \frac{215 - 177.8}{2} = 18.6 \text{ mm}$$

On a :

$$L \cdot 2 \cdot [\sigma] \cdot e_m = P_m \cdot D_{int} \cdot L$$



$$e_n = \frac{P_m \cdot D_{int}}{2[\sigma]}$$

$$[\sigma] = ?$$

$$[\sigma] = \min \left\{ \frac{\sigma_R}{n_R}, \frac{\sigma_e}{n_e} \right\}$$

(N. AFNOR,  $n_R = 3$ ,  $n_e = 1.5$ ).

La matière XC18 (Matière chemise : X = acier inoxydable)

$$\sigma_R = 60 \text{ daN/mm}^2, \sigma_e = \sigma_{lim} = 36 \text{ daN/mm}^2$$

**Donc**

$$[\sigma] = \min (60/3, 36/1.5) = \min (20, 24)$$

$$[\sigma] = 20 \text{ daN/mm}^2$$

Alors

$$e_r = \frac{24.57 \times 177.8}{2 \times 20} = 10.92 \text{ mm}$$

$e_r < e_{nor} \Rightarrow$  la chemise résiste à l'éclatement.

# CONCLUSION

## **Conclusion :**

L'étude présentée nous permet d'approfondir nos connaissances dans les domaines des équipements et le fluide de forage en générale et sur un appareillage essentiel dans ce domaine qui est la pompe à boue.

D'après l'étude que nous avons effectuée sur la pompe à boue (National Oil Well A 1400 PT).

Nous pouvons maître en evidence les conclusions suivantes :

- L'installation de la pompe à boue, nous a permet de mieux illustré les différents éléments composent la pompe à boue, avec leurs fonctionnements, et les différents circuits de graissage, refroidissement et de sécurité.
- Le calcul des pertes de charges montre que ces dernières sont plus importantes au niveau de l'outil, à cause de plusieurs facteurs.
- Les puissances hydrauliques et mécaniques de la pompe à boue calculées peuvent satisfaire les besoins hydrauliques du puits.
- D'après le calcul de vérification des résistances des tiges des pistons et leurs chemises, nous avons confirmé que les conditions de résistance à la compression est vérifiée pour les tiges, comme pour les chemises contre l'éclatement.
- Ce mémoire a été pour nous l'occasion pour approfondir nos connaissances sur le fonctionnement de la pompe à boue et aussi sur les équipements de forage et leurs fonctions.

## **BLIOGRAPHIQUE**

CD manual of drilling fluids, MI-SWACO. [19]

DJIDEL Said, HOUGA Ahmed, BEN ABDALLAH Samir Mémoire PROFESSIONNEL " Etude et maintenance de la pompe à boue type "NATIONAL OIL-WELL A 1400 PT" 2017/2018. [6]

Document scientifique ENTP [21]

Dr Mehdi METAICHE Maître de Conférences FORAGE TECHNIQUES ET PROCEDES 2013. [5]

Dyhia OUMESSAOUD Mémoire Académique " Elaboration et caractérisation d'un matériau composite en Carbure de Tungstène-Alliage utilisé dans la fabrication des outils de forage" 2017/2018. [2]

Fourar karim (AMELIORATION DES PROPRIETES RHEOLOGIQUES DES FLUIDES DE FORAGE A BASE DE BIOPOLYMERES APPLICATION AUX PUITES HORIZONTAUX). [18]

HADJ ALI Jugurta Mémoire Académique " Etude Rhéologique ET HYDRAULIQUE Du circuit De boue dans une installation de forage " 2011/2012. [1]

<https://images.app.goo.gl/9DiqLCTJiSGq2nSH9>. [13]

<https://images.app.goo.gl/9YhFSyCXX21JCHcs9>. [14]

Forage Rotary, « La boue de Forage », Edition Technip 1972. [15]

NGUYEN J., P., « fluide de forage », Technique d'exploitation pétrolière, le Forage Technip, 1993. [16]

BENAZZOUZ Otmane MESGOUA Djamel "Etude et maintenance de la pompe à boue National Oil Well 1400 PT " 2007/2008. [17]

<https://images.app.goo.gl/C3CjVFrMWXyc54dp7>. [3]

<https://images.app.goo.gl/DjmSZkQS6webirZKA>. [8]

<https://images.app.goo.gl/hAQOe5hXHNxuwnhT7>. [7]

<https://images.app.goo.gl/hAQOe5hXHNxuwnhT7>. [9]

<https://images.app.goo.gl/puUHWSoc5za5kDdo7>. [10]

<https://images.app.goo.gl/YVUaJkShHz1LkSWT8>. [12]

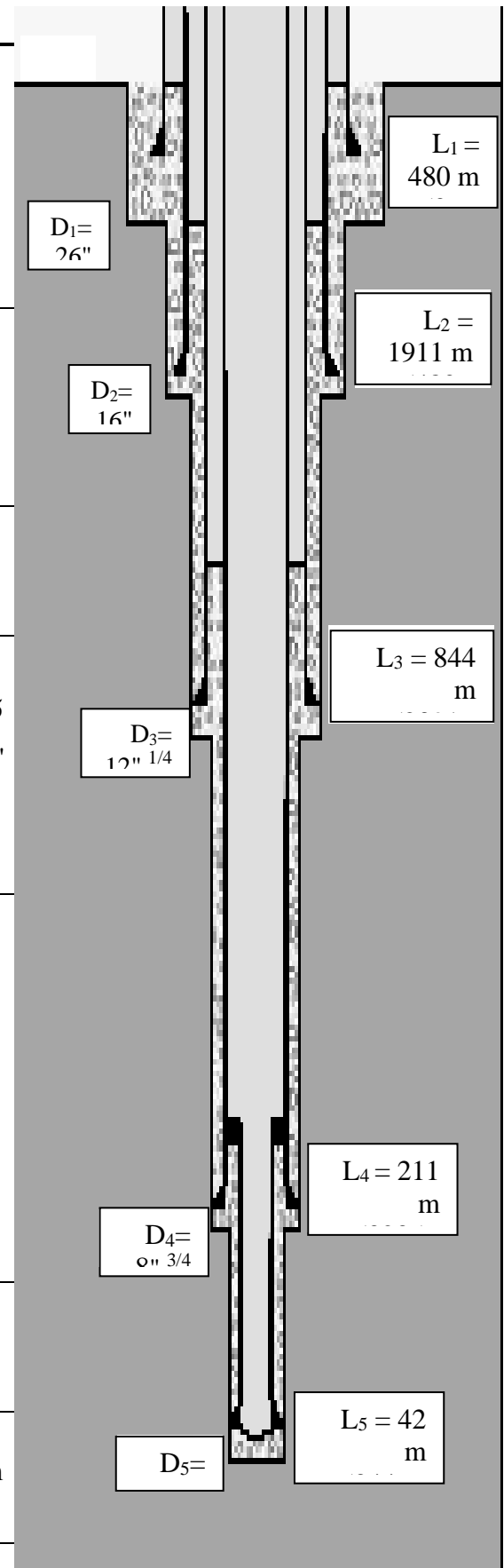
<https://images.app.goo.gl/jzMk7jfnmrVUy3Vo7>. [4]

MANSOURI Khaled GHEMAM AMARA Abderezzak "ETUDE DE LA POMPE A BOUE NATIONAL OIL-WELL 12P160". [11]

ZAABAR Youcef SAADI Abdelhafid " Etude et maintenance de la pompe à boue 12p160 cas TP197 ENTP 2015/2014. [20]

Annex :

Phases garniture de forage		1 <sup>ere</sup> (26")	2 <sup>eme</sup> (16")	3 <sup>eme</sup> (12" 1/4)	4 <sup>eme</sup> (8" 3/4)	5 <sup>eme</sup> (6")
Tiges de forage	Dt (mm)	5"×4" 3/4 127/10 9	5"×4" 3/4 127/10 9	5"×4" 3/4 127/10 9	5"×4" 3/4 127/10 9	5"×4" 3/4 127/10 9
	L <sub>f</sub> (m)	339	2228	3072	3246	3347
Masses tiges	a) Dmt	3(9.5"× 3" 1/2)	7(9.5"× 3" 1/2)	7(9.5"× 3" 1/2)	22(6,5" ×3")	15(4.75" ×2.25")
	b)	12(8"× 2" 13/16)	12(8"× 2" 13/16)	12(8"× 2" 13/16)		
	a) Lmt	28m	64m	64m	200m	141m
	b)					
(a+b)	113m	113m	113m			
		141m	177m	177m		
Outil	Ø	1 <sup>ere</sup> (26")	2 <sup>eme</sup> (16")	3 <sup>eme</sup> (12" 1/4)	4 <sup>eme</sup> (8" 3/4)	5 <sup>eme</sup> (6")
	Surface des duses (in <sup>2</sup> )	660mm	406mm	311mm	213mm	152mm
		A = 0.941	A = 0.764	A = 0.675	A = 0.601	A = 0.388



## Résumé :

Dans l'installation de forage il y a un système de circulation de fluide qui est généralement de la boue de nature différente afin d'absorber la chaleur émise lors du frottement de l'outil de forage avec les roches et pour soulever les déblais de roches.

Les roches sont transportées vers la surface par circulation dans le recyclage. Cette circulation nécessite l'utilisation d'un équipement qui est une pompe volumétrique appelée pompe à boue qui assure un grand débit et une grande pression.

Le but de notre mémoire est d'étudier la pompe à boue, fluide de forage, les équipements de pompage, avec les calculs de tous les paramètres liés au fonctionnement de la pompe à boue.

Mots clés: fluide de forage, pompe a boue, pompe à boue triplex, calcul mécanique, calcul hydraulique.

## Abstract:

In the drilling rig there is a fluid circulation system which is usually mud of a different nature in order to absorb the heat emitted during the friction of the drilling tool with the rocks and to lift the rock cuttings.

The rocks are transported to the surface by circulation in the recycling. This circulation requires the use of equipment which is a positive displacement pump called a mud pump which provides a large flow rate and a large pressure.

The purpose of our thesis is to study the mud pump, drilling fluid, pumping equipment, with the calculations of all parameters related to the operation of the mud pump.

Keywords: drilling fluid, mud pump, triplex mud pump, mechanical calculation, hydraulic calculation.

## المخلص:

يوجد في جهاز الحفر نظام دوران مائع يكون عادةً عبارة عن طين ذي طبيعة مختلفة لامتصاص الحرارة المنبعثة أثناء احتكاك أداة الحفر بالصخور ولرفع قطع الصخور.

يتم نقل الصخور إلى السطح عن طريق الدوران في إعادة التدوير. يتطلب هذا الدوران استخدام معدات عبارة عن مضخة إزاحة موجبة تسمى مضخة الطين التي توفر معدل تدفق كبير وضغطاً كبيراً.

الغرض من أطروحتنا هو دراسة مضخة الطين ، سائل الحفر ، معدات الضخ ، مع حسابات جميع الخصائص المتعلقة بتشغيل مضخة الطين.

الكلمات المفتاحية: سائل الحفر ، مضخة الطين ، مضخة الطين الثلاثية ، الحساب الميكانيكي ، الحساب الهيدروليكي.