

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI, TIZI-OUZOU

Faculté de génie de la construction

Département de génie mécanique



## Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme du MASTER académique

En Génie Mécanique

Option : ENERGETIQUE

## Thème

Etude de la boue de forage et dimensionnement de la pompe à boue triplex à simple effet.

**Proposé et dirigé par :**

Mr. ZOUAOUI SALAH

Mr. BENALIA KARIM

**Réalisé par :**

Mr. HADJEBAR BILLAL

Mr. BELOUIS HAKIM

Mr. OUERDANE AISSA

**Promotion** : 2018/2019

# REMERCIEMENT

*Tous d'abord nous remercions le bon dieu qui nous à aider pour atteindre notre objectif.*

*Nous tenons à remercier dignement, profondément et sincèrement nos promoteurs M<sub>r</sub> BENALIA ET M<sub>r</sub> ZOUAOUI pour leurs aides, leurs patiences, leurs compétences et leurs précieux conseils.*

*Nous tenons à remercier tous les enseignants de GENIE MECANIQUE qui ont contribué à notre formation.*

*Nous tenons à remercier aussi le personnel de la bibliothèque de Génie DE LA CONSTRUCTION pour leur disponibilité.*

*Nous tenons à remercier également les membres de jury qui nous ferons l'honneur de juger notre travail.*

*Nos remerciements à nos familles et tous les amis (es), Sans oublier tous nos camarades de la promotion MASTER 2 pour leur aide, patience, compréhension et encouragement.*

*Merci à tous*

# Table des matières

---

Remerciements .....	i
Table des matières .....	ii
Liste des figures .....	vii
Liste des tableaux .....	x
Liste des symboles .....	xii

<b>Introduction générale.....</b>	<b>1</b>
-----------------------------------	----------

## **CHAPITRE I : Présentation de l'Entreprise ENTP et Problématique**

<b>I.1. Introduction.....</b>	<b>3</b>
<b>I.2. Historique de l'ENTP .....</b>	<b>3</b>
<b>I.3. Normes de l'ENTP .....</b>	<b>4</b>
<b>I.4. Le Système Management QHSE de l'ENTP .....</b>	<b>5</b>
I.4.1. L'infrastructures de l'ENTP .....	5
<b>I.5. Les moyens de l'entreprise ENTP .....</b>	<b>6</b>
I.5.1. Parc des appareils de forage.....	6
I.5.2. Transport et logistique .....	6
I.5.3. Moyens humains .....	7
<b>I.6. Organigramme de l'ENTP .....</b>	<b>8</b>
<b>I.7. Champ Hassi Messaoud .....</b>	<b>9</b>
I.7.1. Situation Géographique du Champ .....	9
I.7.2. Description du champ d'étude (puits MDZ664) .....	10
<b>I.8. Problématique et motivation du notre thème.....</b>	<b>11</b>

## Table des matières

---

### CHAPITRE II :Généralités sur la boue de forage et les pompes

<b>II.1. Introduction</b> .....	13
<b>II.2. Descriptions de l'appareil de forage</b> .....	13
II.2.1. Classification .....	13
II.2.2. Description .....	14
<b>II.3. Fonctions d'un appareil de forage</b> .....	15
<b>II.4. Les techniques de forage</b> .....	16
II.4.1. La technique de Battage .....	16
II.4.2. La technique Rotary .....	17
II.4.2.1. Principe de fonctionnement .....	17
II.4.2.2. Paramètres de forage rotary .....	18
<b>II.5. Généralité sur les boues de forage</b> .....	20
II.5.1. Définition de boue du forage .....	20
II.5.2. Rôle des boues de forage .....	20
II.5.3. Système de circulation dans une installation de forage .....	22
<b>II.6. Généralité sur les pompes</b> .....	24
II.6.1. Définition et rôle .....	24
II.6.2. Différents types des pompes .....	24
II.6.3. Les pompes volumétriques .....	26
II.6.3.1. Les pompes volumétriques rotatives .....	26
II.6.3.2. Les pompes volumétriques alternatives .....	28

## Table des matières

---

II.6.4. Les pompe rotodynamique .....	29
<b>CHAPITRE III . Description et fonctionnement de la pompe à boue BMPT-1600-ACR-7.5“x12“</b>	
<b>III.1. Introduction .....</b>	<b>31</b>
<b>III.2. Description de la pompe à boue triplex à simple effet BMPT-1600-ACR-7.5“x12“ .....</b>	<b>32</b>
III.2.1. Description générale .....	32
III.2.2. Fiche technique de la pompe à boue triplex à simple effet BMPT-1600-ACR-7.5“x12.....	33
<b>III.3. Construction de la pompe BMPT-1600-ACR-7.5“x12.....</b>	<b>34</b>
III.3.1. Partie mécanique de la pompe BMPT-1600-ACR-7.5“x12“ .....	34
III.3.1.1. L’arbre grande vitesse(pignon shaft) .....	35
III.3.1.2. L’arbre petite vitesse (crankshaft) ou vilebrequin .....	36
III.3.1.3. Système bielle-manivelle.. .....	37
III.3.1.4. La crosse et la rallonge de crosse .....	37
III.3.1.5. Les roulements .....	38
III.3.1.6. Le système d’entraînement .....	39
III.3.1.7. Le circuit de lubrification .....	40
III.3.1.8. Transmission et le couple d’engrenage .....	41
III.3.1.9. Le bâti .....	42
III.3.2. La partie hydraulique de la pompe .....	42
III.3.2.1. Le corps hydraulique .....	43
III.3.2.2. Chemises .....	43

## Table des matières

---

III.3.2.3. Les sièges et les clapets .....	44
III.3.2.4. Le piston et la tige du piston .....	44
III.3.3. Partie électrique de la pompe à boue .....	45
<b>III.4. Principe de fonctionnement de la pompe BMPT-1600-ACR-7.5“x12“ .....</b>	<b>46</b>
<b>III.5. Caractéristiques des pompes à boue BMPT-1600-ACR-7.5“x12“ .....</b>	<b>47</b>
III.5.1 La cylindrée .....	47
III.5.2 La vitesse .....	49
III.5.3 Le débit .....	49
III.5.4. Pression .....	49
III.5.5. La puissance .....	49
<b>III.6. Les équations de perte de charge utilisées en forage .....</b>	<b>49</b>

## CHAPITRE IV : Partie Calcul

<b>IV.1. Introduction .....</b>	<b>51</b>
<b>V.2. Etude et dimensionnement de la pompe à boue BMPT-1600-ACR-7.5“x12 pour un puits donné .....</b>	<b>51</b>
V.2.1. Le principe de calcul .....	51
IV.2.2. Données de départ .....	53
IV.2.3. Résultats du calcul .....	56
IV.2.4. Nombre de pompe dans chaque phase.....	56
IV.2.5. Calcul du diamètre de la chemise de chaque phase .....	57
IV.2.6. Comparaison entre les pertes de charge totale théorique et les pertes de charge Réel dans chaque phase .....	58

## Table des matières

---

<b>IV.3. Calcul du volume de boue pour toutes les phases au niveau des puits MDZ664 .....</b>	<b>59</b>
IV.3.1. Calcul du volume de boue pour la phase 26" (0 – 488 m).....	60
IV.3.2. Calcul du volume de boue pour la phase 16" (488 – 2391 m) .....	60
IV.3.3. Calcul du volume de boue pour La phase 12 <sup>1/4</sup> "(2391 – 3238 m) .....	62
IV.3.4. Calcul du volume de boue pour La phase 8 <sup>3/8</sup> "(3238 – 3376 m) .....	63
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>65</b>
<b>Bibliographie.</b>	
<b>Annexes.</b>	

## Liste des figures

<b>Chapitre I</b>		
<b>Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
Figure I.1	L'organigramme de l'entreprise ENTP	8
Figure I.2	Situation géographique du HMD et Nezla SONATRACH	10
Figure I.3	Plan de position du puits MDZ664	11
<b>Chapitre II</b>		
<b>Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
Figure II.1.	Description de l'appareil de forage	14
Figure. II.2.	Schéma de fonctionnement de l'appareil de forage	16
Figure II.3.	La technique de batage	17
Figure II.4.	La technique Rotary	19
Figure II.5.	Cycle de la boue de forage	22
Figure II.6.	Système de circulation dans une installation de forage	23
Figure II.7.	Différents types des pompes	25
Figure II.8.	Pompes à palettes libres	26
Figure II.9.	Pompes à palettes flexibles	27
Figure II.10.	Pompes à engrenages extérieurs	27
Figure II.11.	Pompes à vis	28
Figure II.12.	Pompes à piston	29
Figure II.13.	Schéma d'une pompe centrifuge	30

## Liste des figures

<b>Chapitre III</b>		
<b>Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
Figure III.1.	Description de la pompe à boue triplex à simple	32
Figure III.2.	Description mécanique d'une pompe BMPT-1600-ACR-7.5"x12"	35
Figure III.3.	Arbre grande vitesse	36
Figure III.4.	Arbre petite vitesse	36
Figure III.5.	Système bielle-manivelle	37
Figure III.6.	La crosse et la rallonge de crosse	38
Figure III.7.	Les roulements des bielles	38
Figure III.8.	Le système d'entraînement	40
Figure III.9.	Système de lubrification les roulements et les crosses	40
Figure III.10.	La lubrification	41
Figure III.11.	Couple d'engrenage.	42
Figure III.12.	Le bâti d'engrenages	42
Figure III.13.	Le corps hydraulique d'une pompe BMPT-1600-ACR-7.5"x12"	43
Figure III.14.	Chemise de corps hydraulique d'une pompe BMPT-1600-ACR-7.5"x12"	44
Figure III.15.	Les sièges et les clapets BMPT-1600-ACR-7.5"x12" III	44
Figure III.16.	Le piston et la tige du piston	45
Figure III.17.	Moteur à courant continu(DC).	46
Figure III.18.	Principe de fonctionnement de la pompe BMPT-1600-ACR-7.5"x12"	47

## Liste des figures

<b>Chapitre IV</b>		
<b>Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
Figure IV.1.	Phase 1 : 26"	54
Figure IV.2.	Phase 2 : 16"	54
Figure IV.3	Phase 3 : 12"1/4	55
Figure IV.4.	Phase 4 : 8"1/2	55
Figure IV.5.	Comparaison entre les pertes de charge théorique et réelle dans chaque phase.	58
Figure IV.6.	Calcule du volume de boue pour la phase 16" (488 – 2391 m)	61

## Liste des tableaux

<b>Chapitre I</b>		
<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
Tableau I.1.	Les bases de l'ENTP	5
Tableau I.2	Les sites occupés par l'ENTP	5
Tableau I.3	Etat du parc appareil de l'entreprise ENTP au fin 2017	6
Tableau I.4	Matériel de transport de l'entreprise ENTP	7
Tableau I.5	Moyens humains 2012-2017	8
<b>Chapitre II</b>		
<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
Tableau II.1.	Classification des appareils de forage	13
<b>Chapitre III</b>		
<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
Tableau III.1.	Identification de la pompe à simple effet BMPT-1600-ACR-7.5"x12".	33
Tableau III.2.	Spécification de la pompe à simple effet BMPT-1600-ACR-7.5"x12"	33
<b>Chapitre IV</b>		
<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
Tableau IV.1.	Données de départ pour le calcul et vérification	53
Tableau IV.2	Résultats du calcul et vérification pour les 4 phases de forage	56
Tableau IV.3	Résultats de nombre de coups par minute pour chaque phase	56
Tableau V.4.	Les résultats de calcul du diamètre de chemise pour chaque phase	57
Tableau V.5.	Les pertes de charge théorique et réelle dans chaque phase de forage	58

## Liste des notations symboles et abréviations

Unité	Désignation
<b>K</b>	Coefficient pour les pompes triplex
<b>N</b>	Nombre de coups par minute (cop/mn)
<b>Ph</b>	la puissance hydraulique. (HP)
<b>Pr</b>	la pression de refoulement (kPa)
<b>Qi</b>	Débit de la boue de chaque phase (m <sup>3</sup> /s)
<b>Qr</b>	le débit réel (l/mn)
<b>Qth</b>	Débit théorique de la pompe (l/mn).
	Coefficient du débit de la pompe
<b>7.5"</b>	Taille de piston maximale (pouce)
<b>12"</b>	Longueur de course (pouce)
<b>1600</b>	puissances en cheval (HP)
<b>D</b>	Diamètre de trou (in)
<b>H</b>	Profondeur de trou (m)
<b>k</b>	Coefficient de cavitité
<b>Vtr</b>	Volume de trou (m <sup>3</sup> )
<b>Vrés</b>	Volume de réserve (m <sup>3</sup> )
<b>Vdec</b>	Volume de décantation (m <sup>3</sup> )
<b>Vcir</b>	Volume de circuit (m <sup>3</sup> )
<b>Vgol</b>	Volume de la goulotte (m <sup>3</sup> )
<b>μ</b>	Viscosité (cp)
<b>B</b>	Coefficient correspond à la boue en circulation
<b>N1</b>	Coefficient des pertes de charge

## Liste des notations symboles et abréviations

---

<b>d</b>	Masse volumique de la boue (kg/ l)
<b>L</b>	Longeur (m)
<b>C</b>	Coefficient d'orifice
<b>P</b>	Perte de charge (kPa)

<b>Abréviation</b>	<b>Désignation</b>
<b>AC</b>	Alternatif courant
<b>ACR</b>	American College of Radiology
<b>BMTP</b>	Buren, Mosset, Parmentier et toroni
<b>C.C</b>	Courant continu
<b>DTM</b>	(démontage, transport, montage)
<b>ENTP</b>	Entreprise nationale des travaux puits
<b>HM</b>	Hassi Messoud

## Introduction générale

---

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

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

Sonatrach emploie près de 42 000 salariés (120 000 avec ses filiales), génère 30 % du PNB de l'Algérie, elle est le 12<sup>ème</sup> groupe pétrolier au niveau mondial, le premier en Afrique et dans le Bassin méditerranéen, le 4<sup>ème</sup> exportateur de GNL, le 3<sup>ème</sup> exportateur de GPL et le 5<sup>ème</sup> exportateur du gaz naturel [23]. Pour la réalisation de son plan de charge, la sonatrach fait appel à d'autres entreprises, entre autres ENTP, qui est une filiale de la sonatrach et qui détient 60% des part du marché de forage en Algérie [24].

Dans l'industrie pétrolière les travaux de forage des puits de pétrole et de gaz sont les plus difficiles et exigeant beaucoup de main d'œuvre et nécessitent de grands investissements des capitaux. Avec l'augmentation de la profondeur de forage le volume des travaux de forage et la consommation des pièces d'équipement, d'outils et de matériaux croient considérablement.

Le forage a trios paramètres essentiels : Poids sur l'outil, Rotation de l'outil et Injection d'un fluide dont la boue est l'un de ces derniers ; par conséquent la pompe est une pièce maitresse dans l'opération de forage ; d'où l'importance de notre sujet : Etude de la boue de forage pétrolier et dimensionnement d'une pompe à boue BMPT-1600-ACR-7.5"x12" au niveau d'un puits du champ Hassi Messaoud-algerie.

Dans le domaine du forage pétrolier, où les risques sont majeurs et les capitaux sont énormes, le rôle de la pompe à boue est décisif. La circulation de boue nécessite un matériel robuste comme la pompe a boue (la pompe volumétrique) pour assurer la pression et le débit nécessaires.

## Introduction générale

---

Durant notre étude pratique sur chantier de H.M, nous avons constaté une fréquence anormale de panne de pompe à boue qui monte à (4 pannes/mois) ce qui se répercute par une usure rapide de pièces vivantes et une perte de temps excessive, par conséquent une augmentation du coût de forage.

Un calcul de vérification mécanique sera également réalisé pour s'assurer que le dimensionnement de la chemise lui permet de résister à l'éclatement. Ainsi, nous allons calculer les volumes de fluide ajoutée et nous fournissons des espèces adaptées à chaque côté du puit foré.

Notre travail se présente comme suit :

Le premier chapitre concerne la présentation de l'Entreprise Nationale des Travaux aux Puits (ENTP) et problématique du notre sujet.

Le deuxième chapitre se rapporte à la description de la boue de forage et quelques généralités sur les pompes.

Le troisième chapitre, est consacré à l'étude technologique de la pompe à boue **BMPT-1600-ACR-7.5"x12"**.

Enfin, le dernier chapitre, est consacré à l'étude et dimensionnement de la pompe à boue **BMPT-1600-ACR-7.5"x12"** ; et nous allons calculer les volumes de fluide ajoutée et nous fournissons des espèces adaptées à chaque côté du puit foré.

Une conclusion générale clôt ce mémoire.

# CHAPITRE I

---

## Présentation de l'Entreprise Nationale des Travaux aux Puits ENTP et Problématique

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

*Jean Dieudonné*

**I.1. Introduction**

Le pétrole et le gaz sont les secteurs dominant de l'économie algérienne et constituent 98 % des exportations.

Sonatrach étant la clé de l'économie algérienne, elle est constituée d'un groupe pétrolier et gazier qui intervient dans l'exploration, la production, le transport par canalisation, la transformation et la commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivés.

Sonatrach emploie près de 42 000 salariés (120 000 avec ses filiales), génère 30 % du PNB de l'Algérie, elle est le 12<sup>ème</sup> groupe pétrolier au niveau mondial, le premier en Afrique et dans le Bassin méditerranéen, le 4<sup>ème</sup> exportateur de GNL, le 3<sup>ème</sup> exportateur de GPL et le 5<sup>ème</sup> exportateur du gaz naturel [23].

Pour la réalisation de son plan de charge, la sonatrach fait appel à d'autres entreprises, entre autres ENTP, qui est une filiale de la sonatrach et qui détient 60% des part du marché de forage en Algérie [23].

**I.2. Historique de l'ENTP [23]**

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

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

Ses actionnaires sont :

1. Sonatrach : Holding SPP 51% ;

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

### **I.3. Normes de l'ENTP [23]**

Elle est triplement certifiée en QHSE :

#### **☐☐ Norme ISO9001V 2000 :**

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

#### **☐☐ Norme ISO14001V 2004 :**

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

#### **☐☐ OHSAS 18001V2007 :**

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

**I.4. Le Système Management QHSE de l'ENTP [23,22]**

Après avoir certifié son système de Management qualité aux exigences de la norme

ISO 9001/2000 (avril 2003), **L'ENTP** a engagé une démarche d'intégration de l'ensemble des systèmes :

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

**I.4.1. L'infrastructures de l'ENTP**

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

**Tableau I.1. : Les bases de l'ENTP [23].**

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

**Tableau I.2 : Les sites occupés par l'ENTP [23]**

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

### I.5. Les moyens de l'entreprise ENTP [17], [23]

#### I.5.1. Parc des appareils de forage

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

**Tableau I.3 : Etat du parc appareil de l'entreprise ENTP au fin 2017[17].**

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

#### I.5.2. Transport et logistique

La division transport est assignée selon les points suivants :

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

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

**Tableau I.4 : Matériel de transport de l'entreprise ENTP [17].**

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

### I.5.3. Moyens humains [22],[23]

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

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

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

Tableau I.5 : Moyens humains 2012-2017 [23].

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

I.6. Organigramme de l'ENTP [23].

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

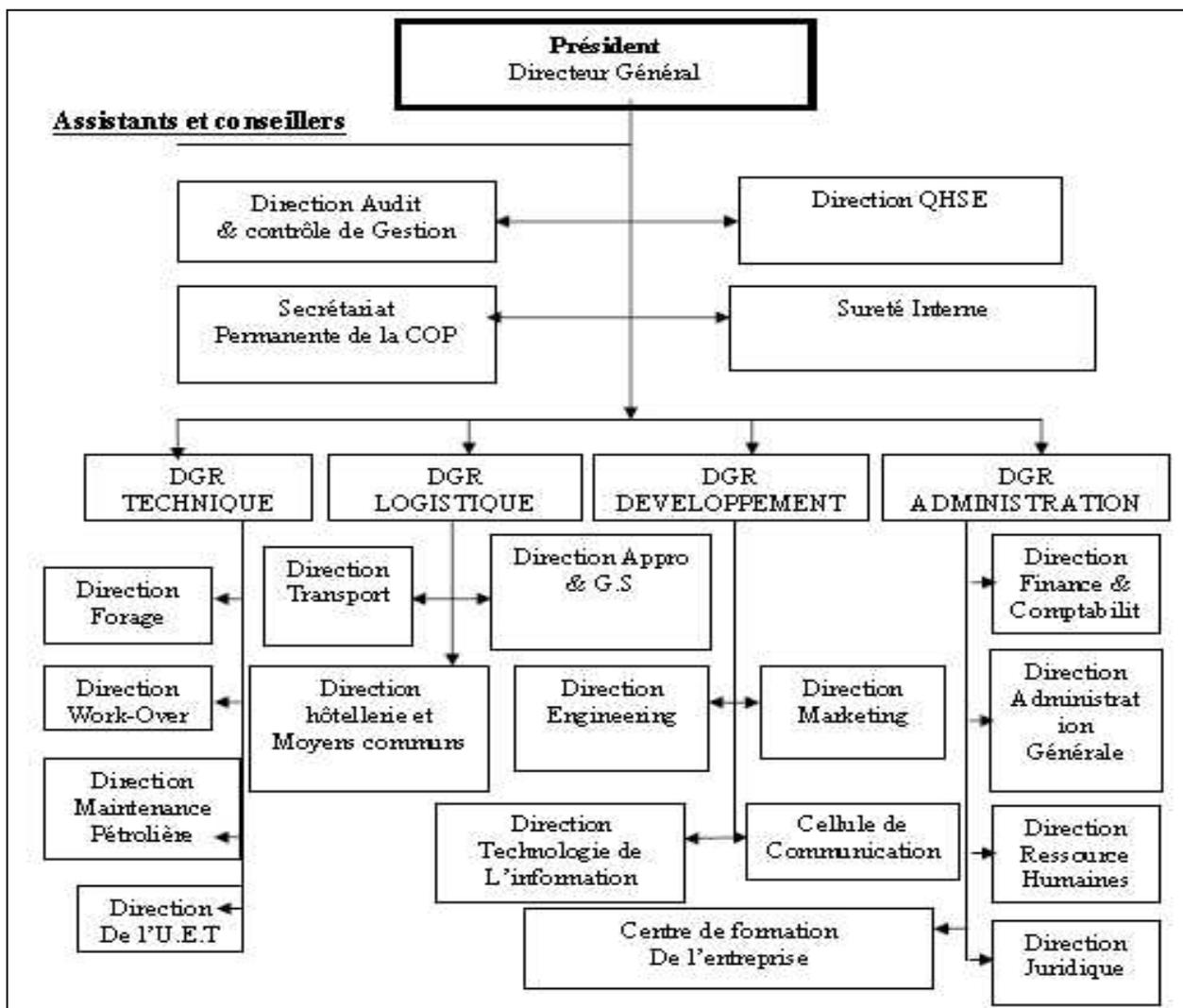


Figure I.1. : L'organigramme de l'entreprise ENTP [23].

**I.7. Champ de Hassi Messaoud (H.M )**

Le champ de Hassi Messaoud représente l'un des champs les plus complexes du monde. Durant l'histoire géologique, ce champ a subi d'une part une évolution tectonique intense caractérisée par des phases compressives et distinctives. D'autre part, par la transformation dia-génétique dans le réservoir lors de son enfouissement au cours du temps géologique, jusqu'à ce que le gisement a pris forme tel que représentée par la configuration actuelle. Ces événements peuvent quelques fois améliorer les paramètres pétro-physiques comme ils peuvent les détériorer [19].

**I.7.1. Situation Géographique du Champ**

Le champ de Hassi Messaoud est situé à 850 Km au Sud-Est d'Alger, à 350Km de la frontière Algéro-Tunisienne. Il est limité au Nord par Touggourt, au Sud par Gassi-Touil, Ouaregla par l'Ouest et l'Est par Bourma. Il fait parti d'un ensemble de structures formant la partie Nord oriental de la province Triasique,

Le champ de Hassi Messaoud s'étend sur une surface de 2500 km<sup>2</sup>. Sa localisation en coordonnées Lambert est la suivante :

X = [790.000-840.000] Est

Y = [110.000-150.000] Nord.

Il est encadré par les latitudes 31°.30' et 32°.00' et les longitudes 5°.40' et 6°.20' [19].

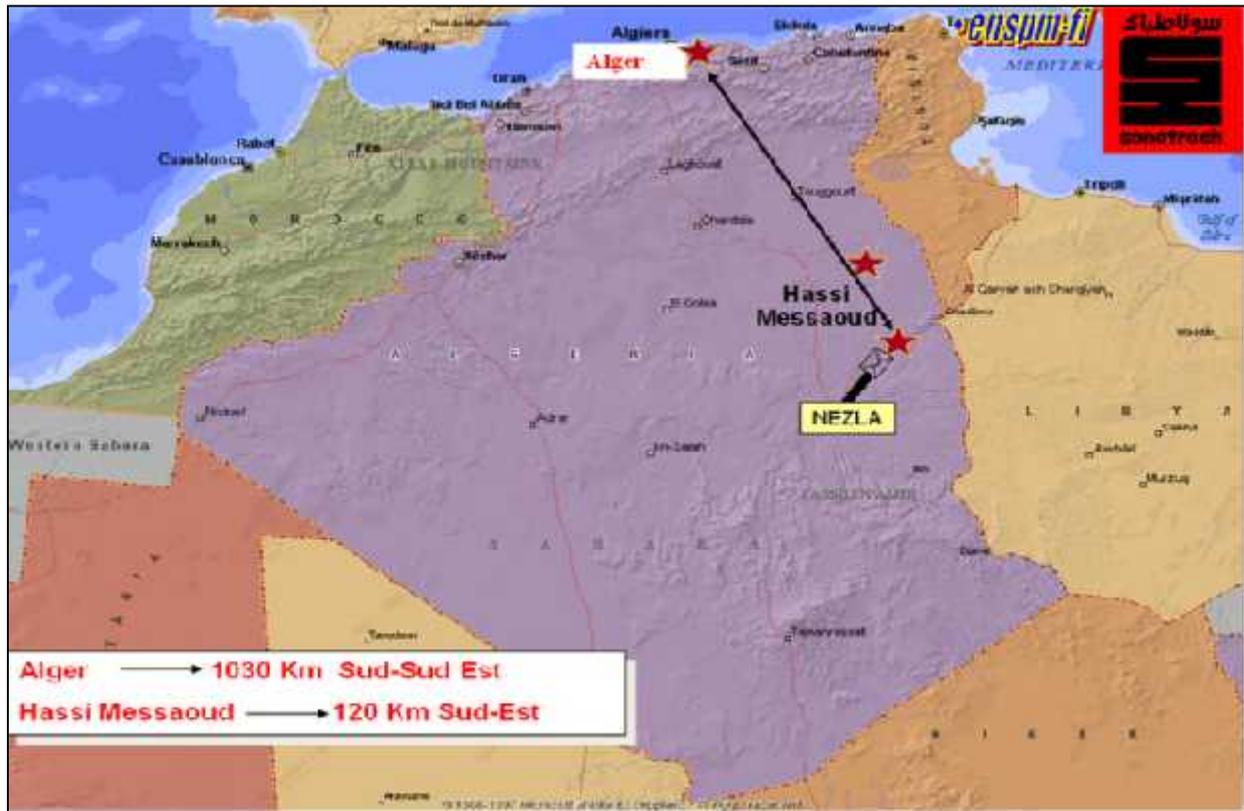


Figure I.2. Situation géographique du HMD et Nezla SONATRACH [19].

### I.7.2. Description du champ d'étude (puits MDZ664)

#### Localisation du puits MDZ664 :

Ce puits est localisé dans un secteur faillé à proximité d'une grande faille de 316 m Sud Est du puits MDZ664, précisément au SSE de la zone 20A à 750m environ de l'installation UTBS, et s'inscrit dans le cadre de développements de champ de Hassi Messaoud. Ce dernier est situé dans une zone où la densité du réservoir est importante avec une profondeur de 3360m et avec un avancement de 650m dans le drain, suivant l'inclinaison de la trajectoire qui atteint un angle de  $90^\circ$  et selon un Azimut Nord  $320^\circ$  [19].

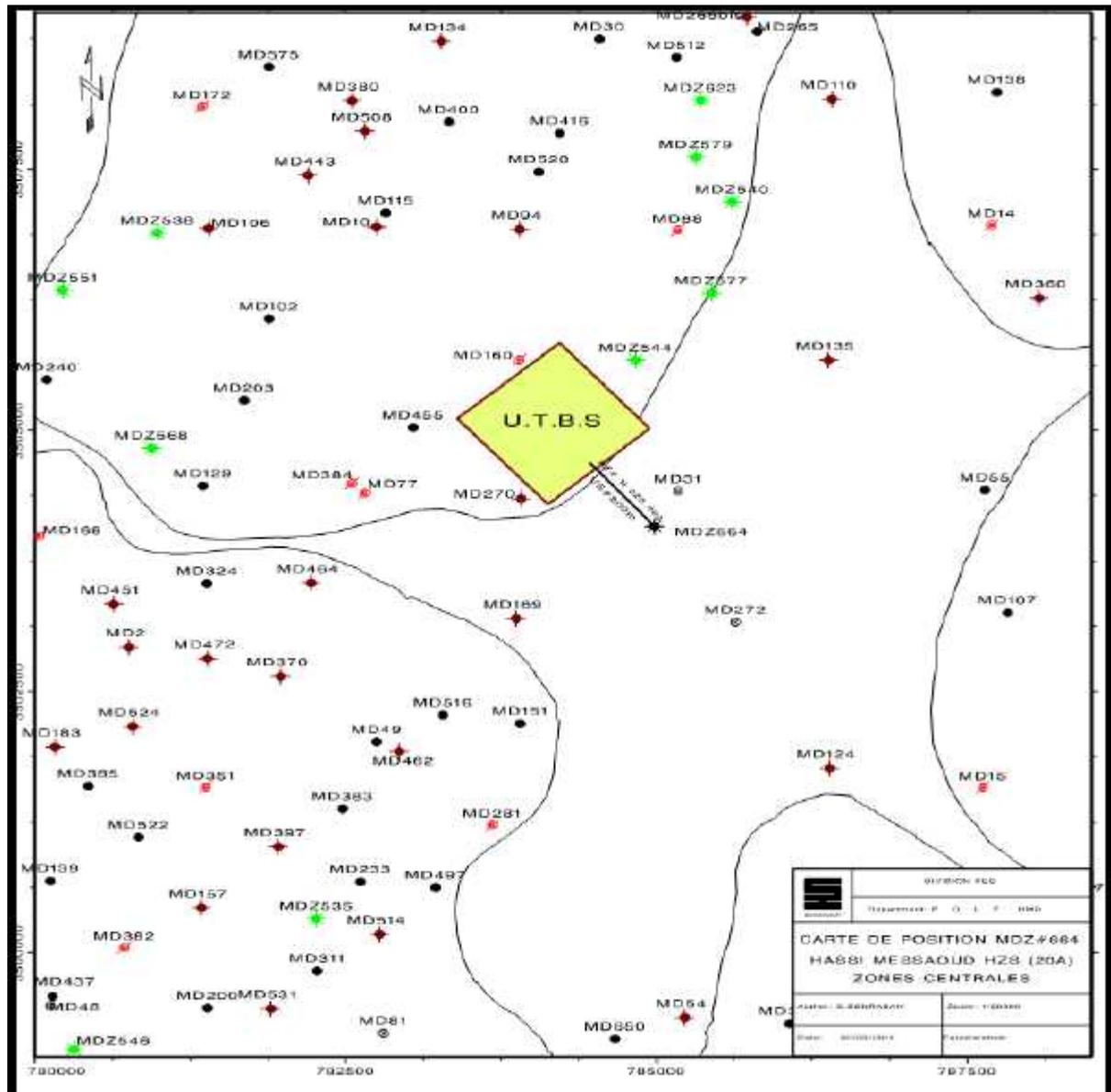


Figure I.3. Plan de position du puits MDZ664 [19].

### I.8. Problématique et motivation du notre thème

Pour des raisons de sécurité et afin d'améliorer les conditions de travail dans le puits, la boue doit toujours remplir le trou, que celui-ci contienne ou non le train de sonde.

Dans la plupart des cas, le liquide de forage circule circuit fermé, à partir des pompes dans le puits et du puits avec les déblais de terrain vers les équipements d'épuration et de Nouveau vers les pompes.

Afin d'assurer la circulation du liquide, les installations de forage sont équipées d'un système de circulation qui est destiné à amener le liquide de forage sous pression à partir des pompes vers la tête d'injection se déplaçant du haut en bas et vice versa, à le renvoyer le liquide de la tête de puits dans les réservoirs de recueil des pompes, à l'éliminer les déblais du liquide et à préparer un nouveau liquide de forage.

Pour la préparation de liquide de forage on utilise soit des matières poudre en état prêt à employer, soit des matières premières locales (argile, tourbe,...etc.) et des réactifs chimiques, soude caustique.....etc. les dispositifs pour la préparation et l'épuration (enlèvement des déblais et du sable) du liquide de forage représentent des groupes autonomes montés sur la canalisation de circulation entre la tête de puits et le réservoir de recueil de la pompe de forage. Ils sont actionnés par le mécanisme d'entraînement de l'installation de forage, le moteur électrique autonome ou par l'énergie du courant du liquide de forage.

La connaissance d'une part des lois de l'écoulement des fluides de forage d'autre part des débits nécessaire à la remonter des déblais permet d'établir un calcul des puissances hydraulique pour un puits donné.

Le but de ce calcul est de déterminer la puissance mécanique à installer sur les pompes de forage et la puissance nécessaire de moteurs électriques d'entraînement de la pompe. Pour cela on détermine les pertes de charge pour **le puits MDZ664**. Ainsi nous allons calculer les volumes de fluide ajoutée et nous fournissons des espèces adaptées à chaque côté du puit foré.

## CHAPITRE II

---

### *Généralités sur la boue de forage et les pompes*

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

**II.1. Introduction**

Un processus de forage est un dispositif qui assure l'extraction de la matière première que ce soit en mer (off shore) ou sur terre (on shore) pour réaliser un puits. Cette tâche se déroule via la contribution de plusieurs organes qui se composent de deux groupes: l'installation de forage (plate forme) située à la surface et la garniture qui opère dans le puits.

On appelle «forage pétrolier » l'ensemble des opérations qui permettent d'atteindre les roches poreuses et imperméables du sous-sol, susceptible de contenir des hydrocarbures liquides ou gazeux à l'aide des outils appropriés.

Les travaux de forage de puits de pétrole et de gaz sont le plus difficiles dans l'industrie pétrolière et exigent beaucoup de main d'œuvre, différents matériaux et nécessitent de grand investissement. La pratique montre que les fonds engagés dans les travaux en forage comprennent de 30 % de tous les investissements concentrés dans l'industrie du pétrole et du gaz.

**II.2. Descriptions de l'appareil de forage**

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

**II.2.1. Classification [4],[9]**

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

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

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

**Tableau II.1. Classification des appareils de forage [9].**

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

## II.2.2. Description [9],[10]

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

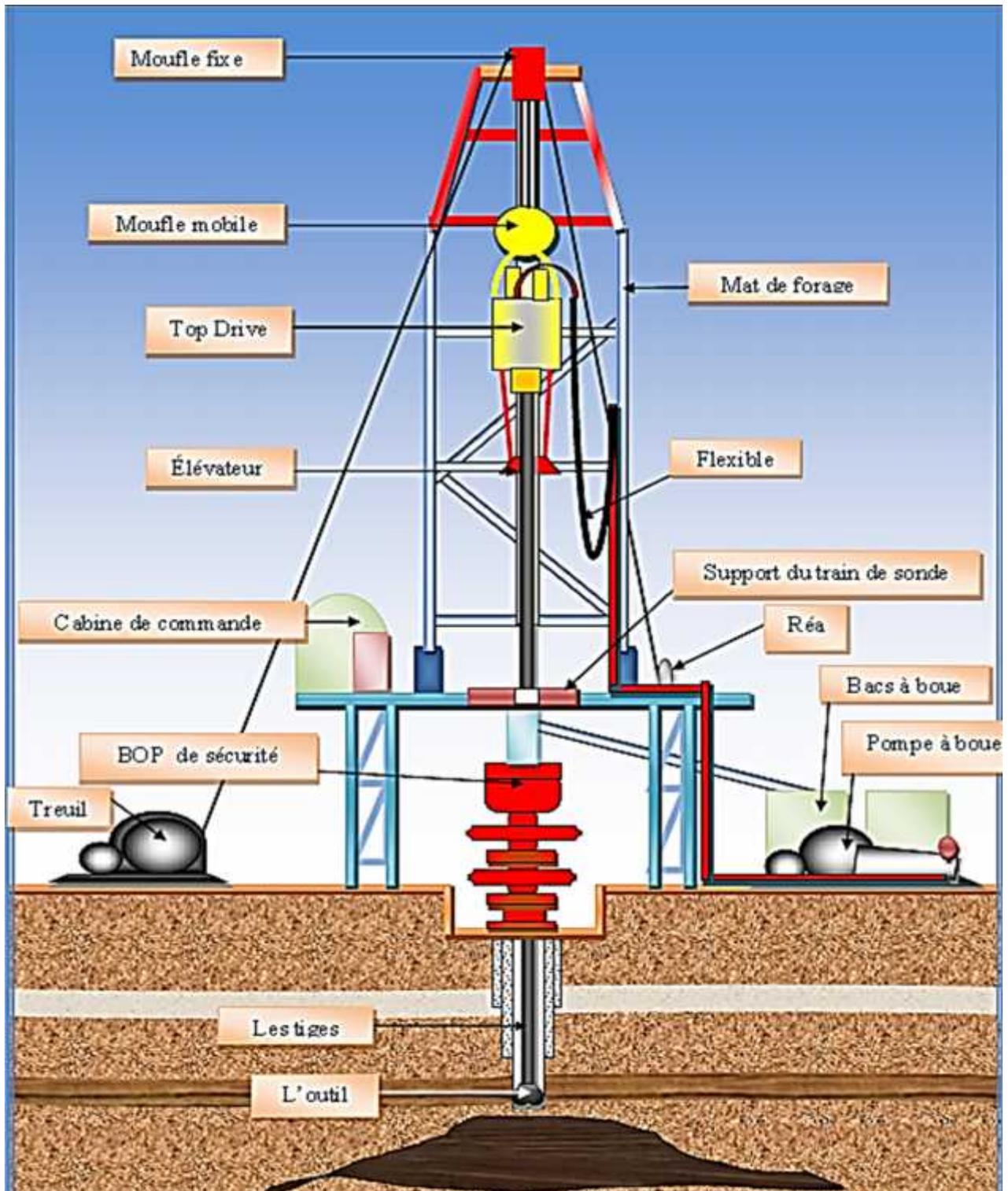


Figure II.1. Description de l'appareil de forage [10].

**II.3. Fonctions d'un appareil de forage [9],[10]**

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

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

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

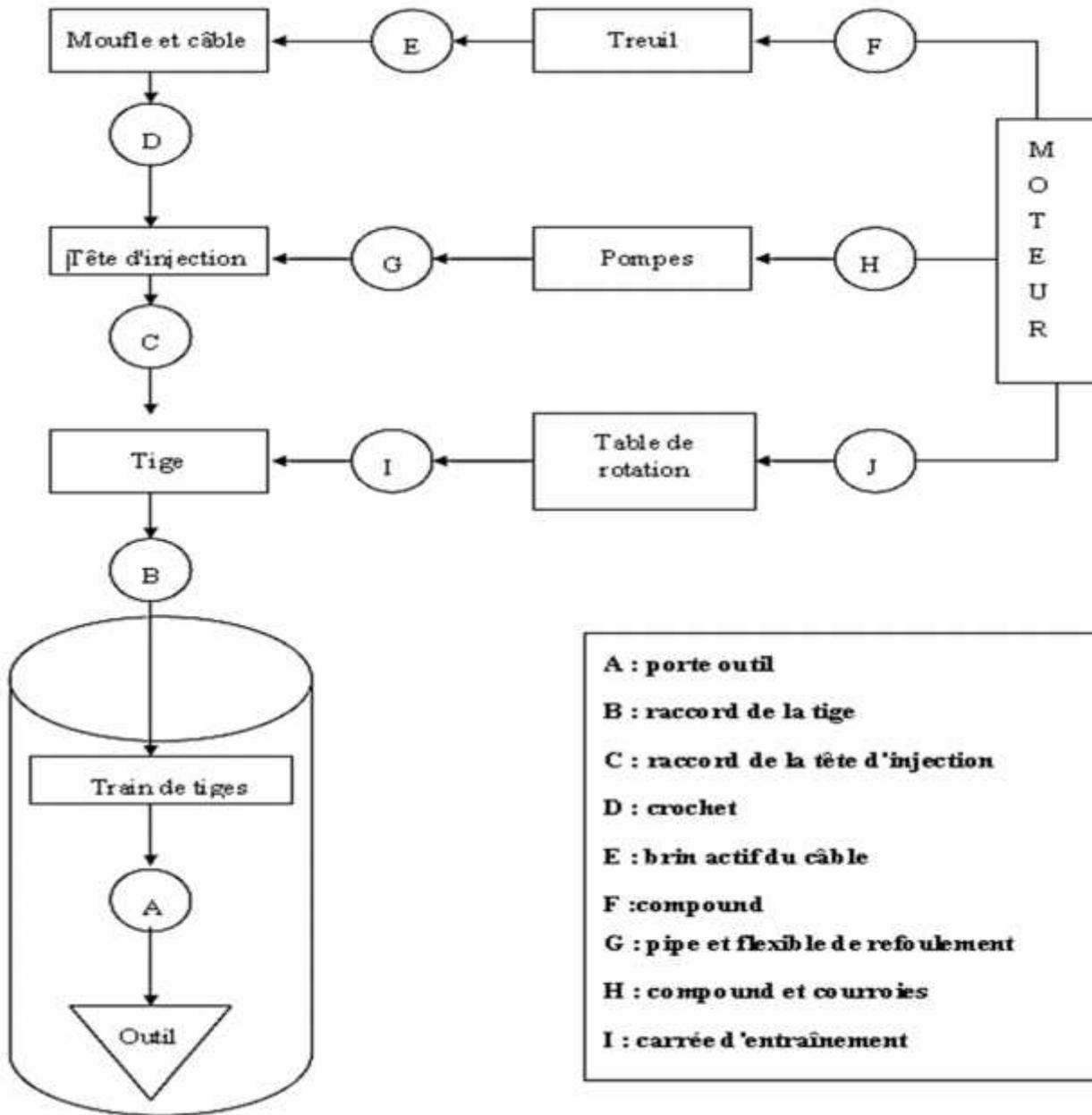


Figure. II.2. Schéma de fonctionnement de l'appareil de forage [10].

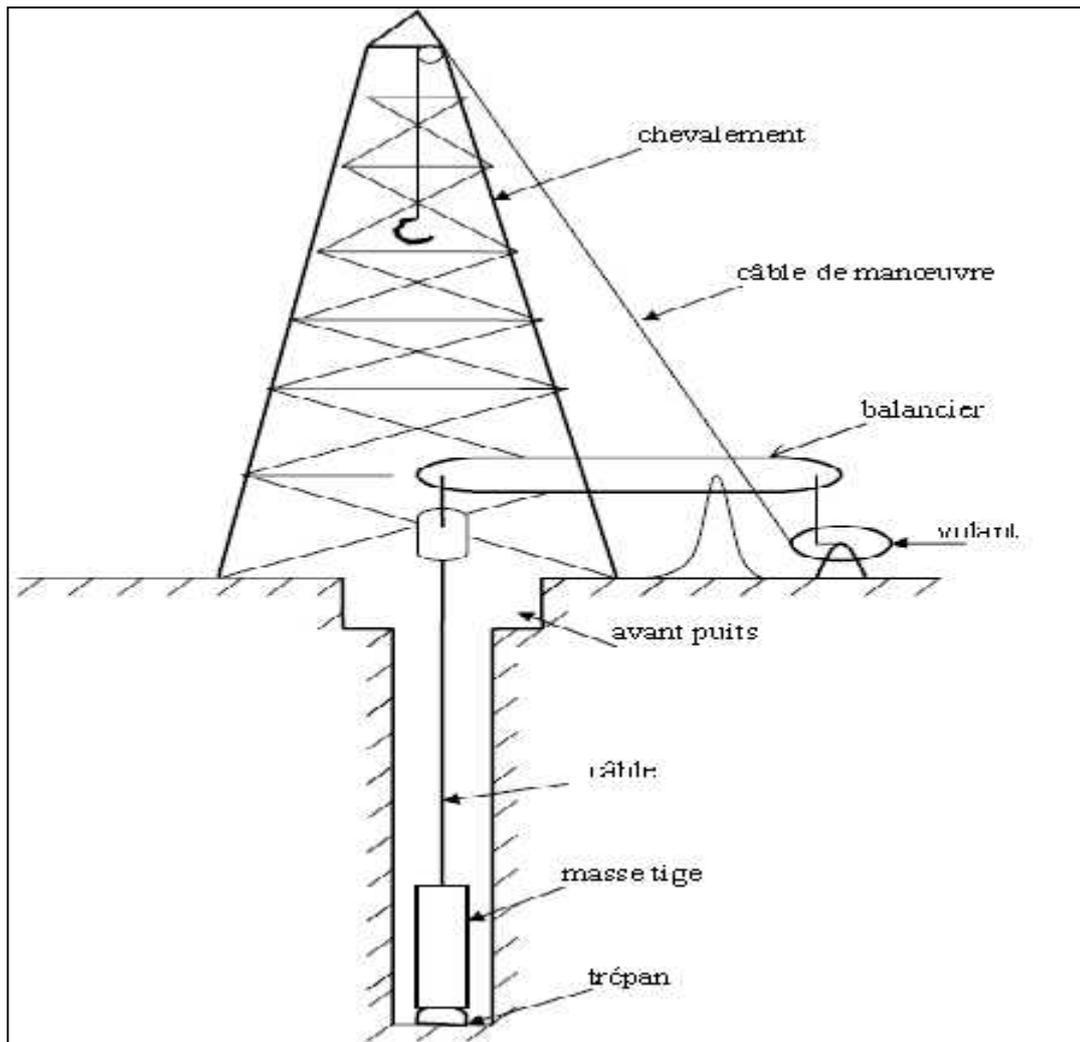
**II.4. Les techniques de forage [4]**

Les différentes techniques de forage sont :

**II.4.1. 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.

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 travaille 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.



**Figure II.3. La technique de Battage [4]**

## **II.4.2. La technique Rotary**

### **II.4.2.1. Principe de fonctionnement**

Elle est relativement récente, ses premières utilisations remontent au 1920. La 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 (tricône) est mis en rotation depuis 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 tubées et les maintiens 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 sonde 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.

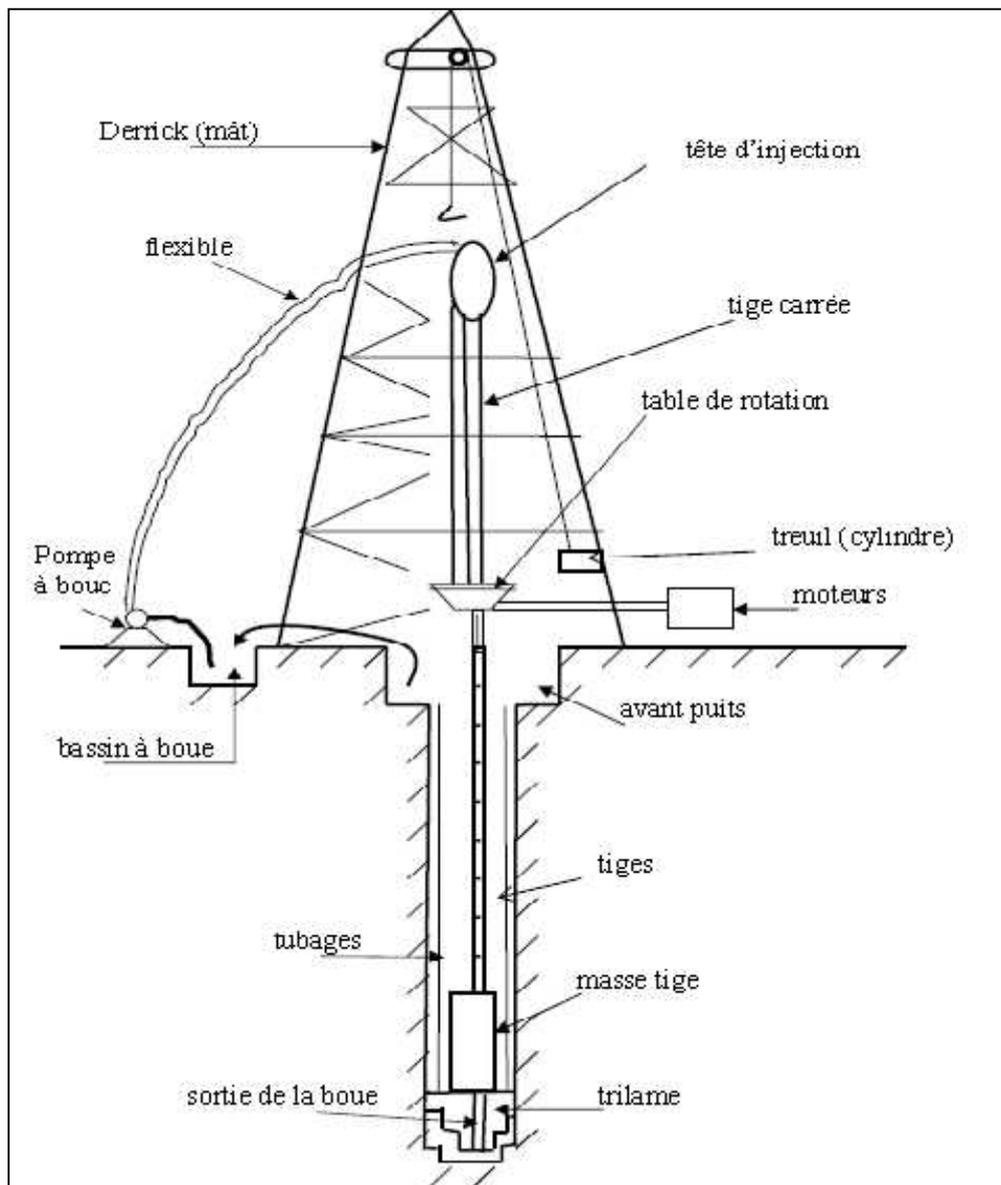
#### **II.4.2.2. Paramètres de forage rotary**

Pour avoir le meilleur rendement d'un atelier de forage rotary, 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'avançant 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 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 plus part des appareils rotary 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 oeuvre 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.



**Figure II.4. La technique Rotary[4]**

**II.5. Généralité sur les boues de forage****II.5.1. Définition de boue du forage**

La boue de forage, est un système composé des différents Constituants liquides (eau, huile) et/ou gazeux (air ou gaz naturel) contenant en suspension d'autres additifs minéraux et organiques (argiles, polymères, tensioactifs, déblais, ciments, etc...).

La boue de forage était déjà présentée en 1933 lors du premier Congrès Mondial du Pétrole, où il a fait l'objet de cinq communications (Darley et Gray, 1988). Le premier traité sur les boues de forage a été publié en 1936 par Evans et Reid. En 1979, l'American Petroleum Institut (API) définit la boue de forage comme un fluide en circulation continue durant toute la durée de forage, aussi bien dans le sondage qu'en surface.

La boue est préparée dans des bacs à boues, il est injecté à l'intérieur des tiges jusqu'à l'outil d'où il remonte dans l'annulaire, chargé des déblais formés au front de taille.

A la sortie du puits, il subit des différents traitements, tamisage, dilutions, et ajout de produits, de façon à éliminer les déblais transportés et à réajuster ses caractéristiques physicochimiques à leurs valeurs initiales, puis réutilisé. [2].

**II.5.2. Rôle des boues de forage [3],[11]**

Les boues de forage doivent avoir des propriétés leur permettant d'optimiser les fonctions suivantes:

**1-Nettoyage du puits:**

La boue doit débarrasser le puits des particules de formation forées qui se présentent sous forme de débris de roche appelés « cuttings » ou « déblais ».

**2-Maintien des déblais en suspension :**

La boue de forage doit non seulement débarrasser le puits des déblais de forage durant les périodes de circulation, mais il doit également les maintenir en suspension pendant les arrêts de circulation.

**3-Sédimentation des déblais fins en surface:**

Alors que la boue doit permettre le maintien en suspension des déblais dans le puits durant les arrêts de circulation, ce même fluide doit laisser sédimenter les déblais fins en surface, afin de les éliminer. Bien qu'apparemment ces deux aptitudes semblent contradictoires, elles ne sont pas incompatibles.

**4-Refroidissement et lubrification de l'outil et du train de sonde:**

Du fait de son passage en surface, la boue en circulation se trouve à une température inférieure à celle des formations ce qui lui permet de réduire efficacement l'échauffement de la garniture de forage et de l'outil. Cet échauffement est dû à la transformation d'une partie de l'énergie mécanique en énergie calorifique. [6]

**5-Dépôt d'un cake imperméable :**

La filtration dans les formations perméables d'une partie de la phase liquide de la boue crée un film sur les parois du sondage, ce film est appelé cake. Le dépôt du cake permet de consolider et de réduire la perméabilité des parois du puits.

**6-Circulation du fluide de forage :**

Le fluide de forage est en circulation continue durant toute la durée du forage et aussi bien dans le sondage qu'en surface. Le fluide de forage est préparé dans des bacs à boue. Il est injecté à l'intérieur des tiges [drill pipes], jusqu'à l'outil qui comporte également des orifices qui laissent sortir la boue. Cette dernière une fois sortie de l'outil remonte par l'espace annulaire chargé des déblais pour être recueillie en surface dans un tube appelé « tube fontaine ».

Elle est ensuite acheminée par un « tube goulotte » vers un « tamis vibrant » qui la tamise en enlevant les déblais et laissant la boue débarrassée des solides venus du puits retourner dans le bac d'où elle a été pompée afin de subir des traitements chimiques (dilution, ajout de produits,...) et à réajuster ses caractéristiques physico-chimiques aux valeurs initiales avant d'être réinjectée dans le puits.

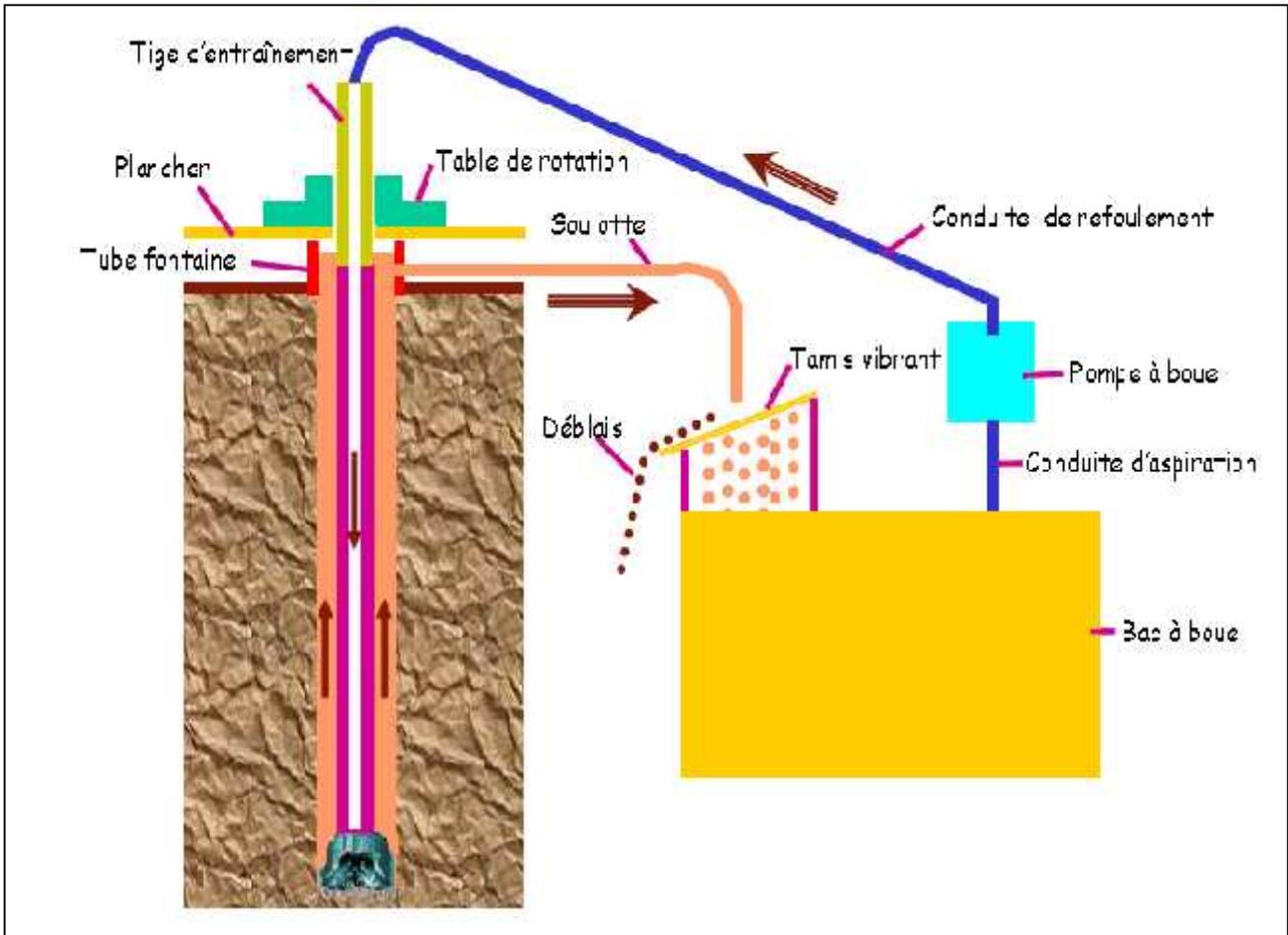


Figure II.5. Cycle de la boue de forage

### II.5.3. Système de circulation dans une installation de forage [13 ],[14]

#### Destination et organisation

Pour des raisons de sécurité et afin d'améliorer les conditions de travail dans le puits, la boue doit toujours remplir le trou, que celui-ci contienne ou non le train de sonde.

Dans la plus part des cas, le liquide de forage circule circuit fermé, à partir des pompes dans le puits et du puits avec les déblais de terrain vers les équipements d'épuration et de nouveau vers les pompes (**Figure II.6**).

Afin d'assurer la circulation du liquide, les installations de forage sont équipées d'un système de circulation qui est destiné à amener le liquide de forage sous pression à partir des pompes vers la tête d'injection se déplaçant du haut en bas et vice versa, à le renvoyer le liquide de la tête de puits dans les réservoirs de recueil des pompes, à l'éliminer les déblais du liquide et à prépare un nouveau liquide de forage.

Pour la préparation de liquide de forage on utilise soit des matières poudre en état prêt à employer, soit des matières premières locales (argile, tourbe,...etc.) et des réactifs chimiques, soude caustique.....etc. les dispositifs pour la préparation et l'épuration (enlèvement des déblais et du sable) du liquide de forage représentent des groupes autonomes montés sur la canalisation de circulation entre la tête de puits et le réservoir de recueil de la pompe de forage. Ils sont actionnés par le mécanisme d'entraînement de l'installation de forage, le moteur électrique autonome ou par l'énergie du courant du liquide de forage.

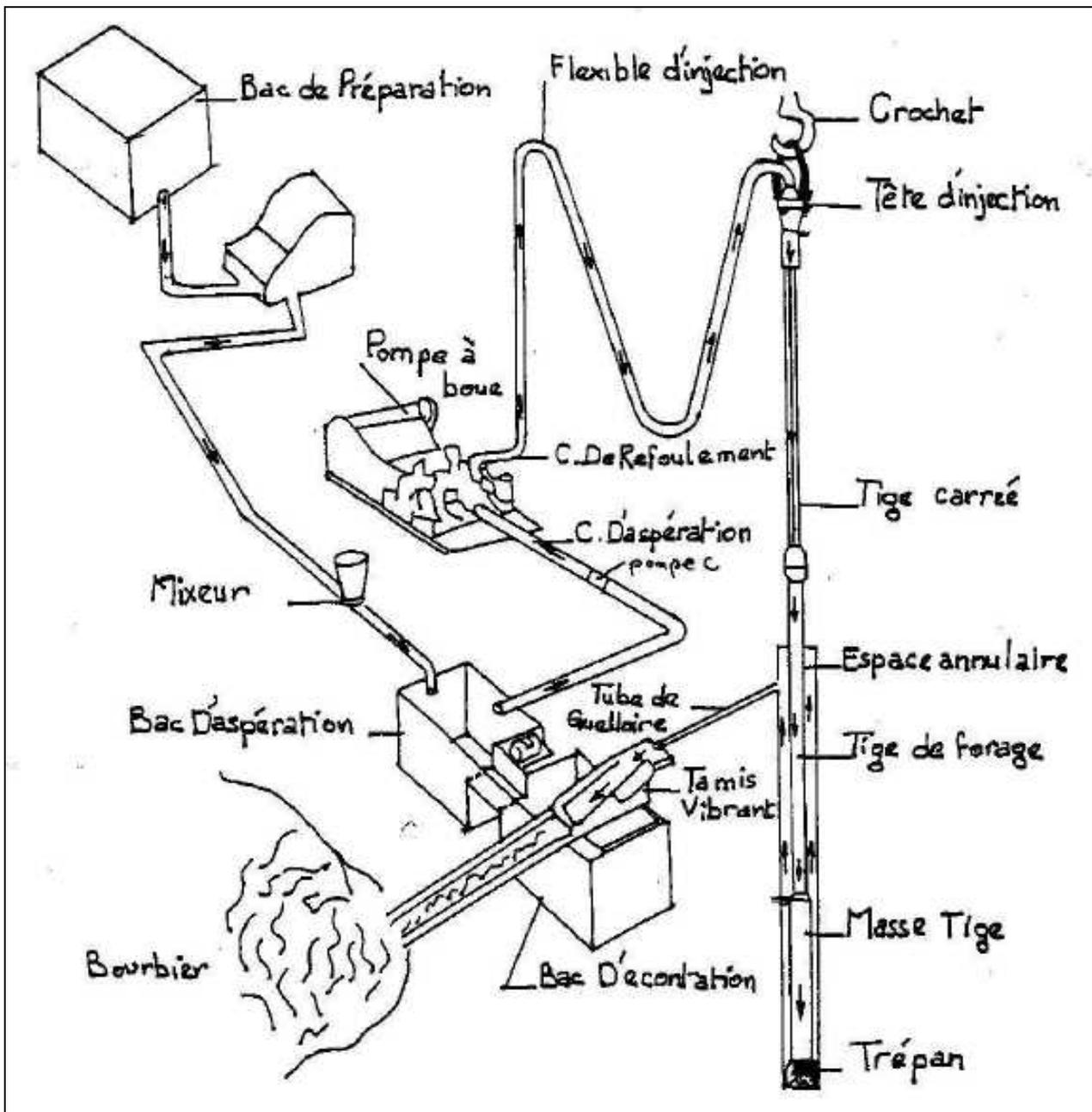


Figure II.6. Système de circulation dans une installation de forage

**II.6. Généralité sur les pompes [1],[5]****II.6.1. Définition et rôle**

Une pompe est une machine hydraulique qui aspire et refoule un liquide (l'eau, l'huile, l'essence, les liquides alimentaires etc....) d'un point à un endroit voulu.

La pompe est destinée à élever la charge du liquide pompé. La charge ou l'énergie est la somme de trois catégories d'énergie :

□□Energie cinétique ;

□□Energie potentielle ;

□□Energie de pression.

La pompe est une machine qui fournit de l'énergie à un liquide pour le déplacer d'un niveau à un autre, on peut l'utiliser pour:

- Transférer le liquide d'un réservoir situé à un certain niveau vers un réservoir situé à un niveau plus élevé ;
- Transférer le liquide d'un réservoir à une certaine pression vers un autre réservoir à une pression plus grande.
- Augmenter la quantité de liquide qui traverse une conduite d'une autre manière, et de point de vue physique la pompe transforme l'énergie mécanique de son moteur d'entraînement en énergie hydraulique «de pression, potentiel, cinétique».

**II.6.2. Différents types des pompes**

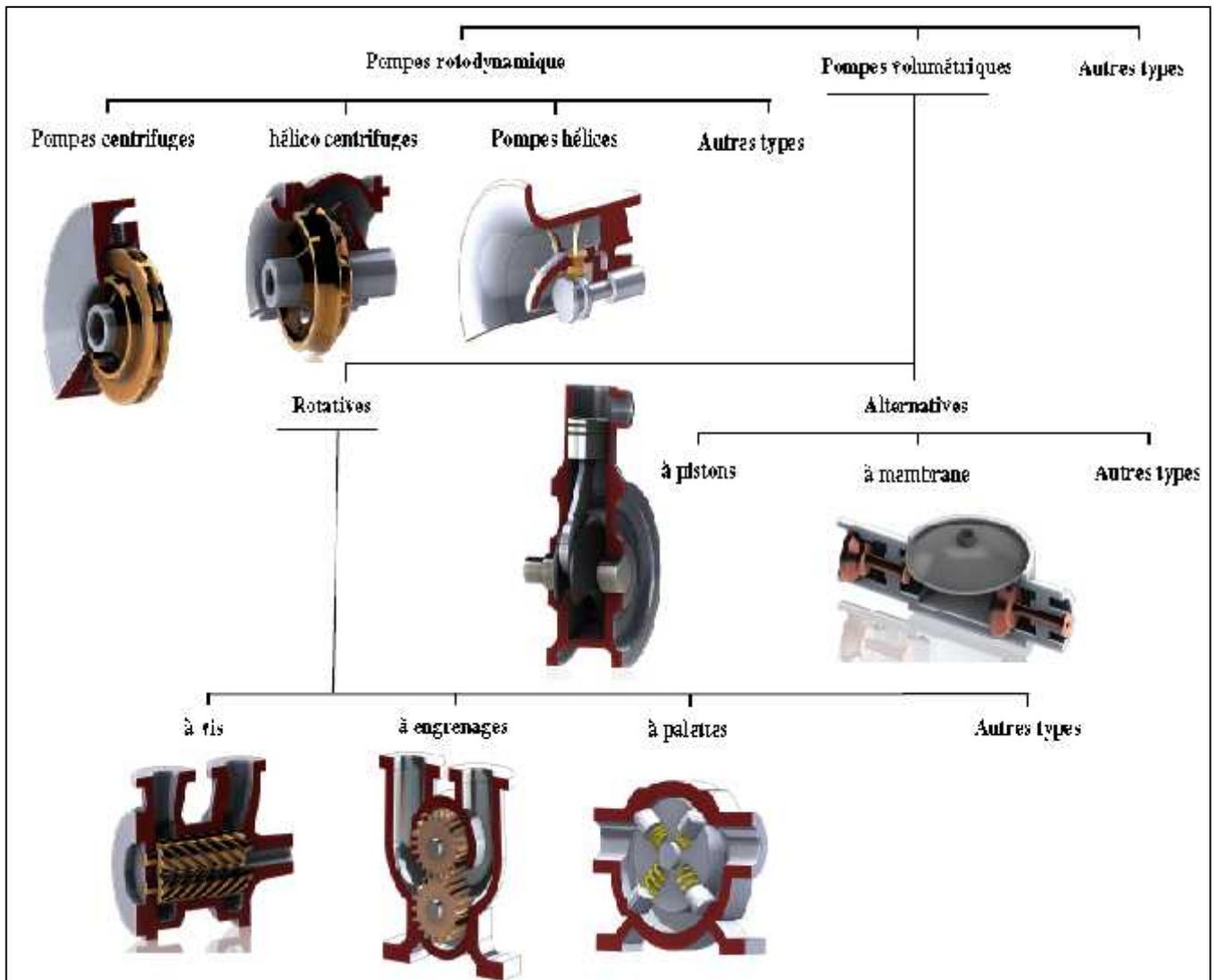
Les pompes sont des appareils permettant un transfert d'énergie entre le fluide et un dispositif mécanique convenable. Suivant les conditions d'utilisation, ces machines communiquent au fluide soit principalement de l'énergie potentielle par accroissement de la pression en aval, soit principalement de l'énergie cinétique par la mise en mouvement du fluide.

L'énergie requise pour faire fonctionner ces machines dépend donc des nombreux facteurs rencontrés dans l'étude des écoulements :

- ✓ Les propriétés du fluide : masse volumique, viscosité, compressibilité.
- ✓ Les caractéristiques de l'installation : longueur, diamètre, rugosité, singularités ...
- ✓ Les caractéristiques de l'écoulement : vitesse, débit, hauteur d'élévation, pression ...

Devant la grande diversité de situations possibles, on trouve un grand nombre de machines que l'on peut classer en deux grands groupes:

- 1- les pompes volumétriques dont l'écoulement résulte d'une variation de volume de l'espace occupé par le liquide.
- 2- les pompes centrifuges où le mouvement du fluide est généré par la force centrifuge.



**Figure II.7. Différents types des pompes [1]**

### II.6.3. Les pompes volumétriques [1],[5]

On distingue deux groupes des pompes volumétriques : les pompes volumétriques rotatives et les pompes volumétriques alternatives.

#### II.6.3.1. Les pompes volumétriques rotatives

Ces pompes sont constituées par une pièce mobile animée d'un mouvement de rotation circulaire autour d'un axe, qui tourne dans une enveloppe (le corps) et crée le mouvement du fluide pompé par déplacement d'un volume depuis l'aspiration jusqu'au refoulement.

Les principaux types de pompes volumétrique rotatives sont les suivants : à palettes, engrenages, et à vis.

##### ➤ Pompes à palettes libres (Figure II.8)

Le principe est le suivant : un corps cylindrique dans lequel tourne un tambour excentré par rapport au corps de pompe entraîne des palettes libres (généralement six). Celles-ci sont plaquées contre le corps par la force centrifuge développée par la rotation du tambour ou par des ressorts qui poussent les palettes.

Ces pompes sont caractérisées par des débits de quelques dizaines de m<sup>3</sup>/h, des vitesses de rotation de quelques dizaines de tours à 1 500 tr/min et des pressions au refoulement de quelques bars (sauf pour les pompes hydrauliques pour lesquelles la pression peut atteindre 150 à 200 bar). Elles conviennent aux liquides peu visqueux et sont de maintenance aisée.

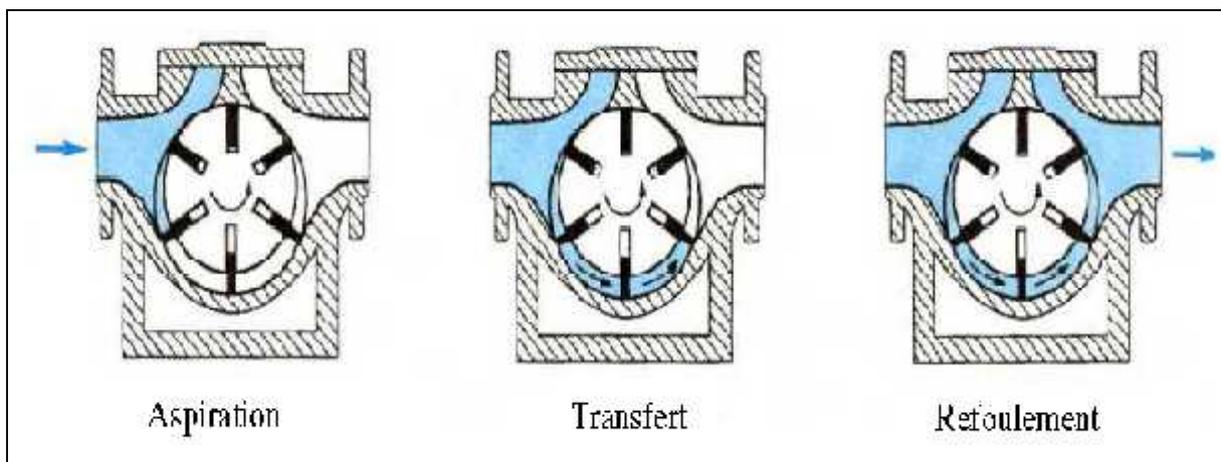


Figure II.8. Pompes à palettes libres

➤ Pompes à palettes flexibles (Figure II.9)

L'ensemble rotor-palettes est en élastomère. Il entraîne le liquide jusqu'au refoulement où les palettes sont fléchies par la plaque de compression et permettent l'expulsion du liquide. Comme toutes les pompes à palettes, ces pompes n'entraînent ni brassage, ni laminage, ni émulsion du produit. Elles peuvent également pomper des particules solides. Les caractéristiques débits, vitesse, pression sont sensiblement identiques aux précédentes.



Figure II.9. Pompes à palettes flexibles

➤ Pompes à engrenages extérieurs (Figure II.10)

Ce type de pompe comporte un grand nombre de variantes qui diffèrent entre elles soit par la disposition, soit par la forme des engrenages. Dans tous les cas, le principe consiste à aspirer le liquide dans l'espace compris entre deux dents consécutives et à le faire passer vers la section de refoulement. Les pompes à engrenages peuvent avoir une denture droite, hélicoïdale, ou encore à chevrons. Cette dernière solution présente l'avantage de rendre le mouvement plus uniforme.

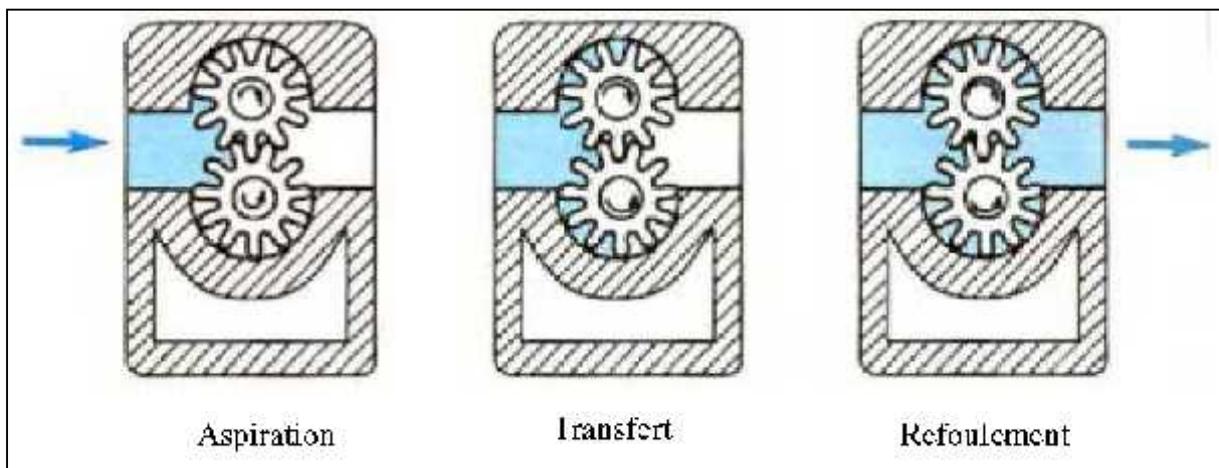


Figure II.10. Pompes à engrenages extérieurs

➤ **Pompes à vis (Figure II.11)**

Elles sont formées de deux ou trois vis suivant les modèles. Dans le cas d'une pompe à trois vis, la vis centrale seule est motrice, les deux autres sont entraînées par la première. Dans le cas d'une pompe à deux vis, celles-ci sont souvent toutes deux entraînées par un jeu de pignons extérieurs. Ces pompes peuvent tourner vite (3 000 tr/min). Elles sont silencieuses et permettent d'atteindre des pressions assez élevées (100 bar). Par contre, elles n'admettent pas de particules solides.

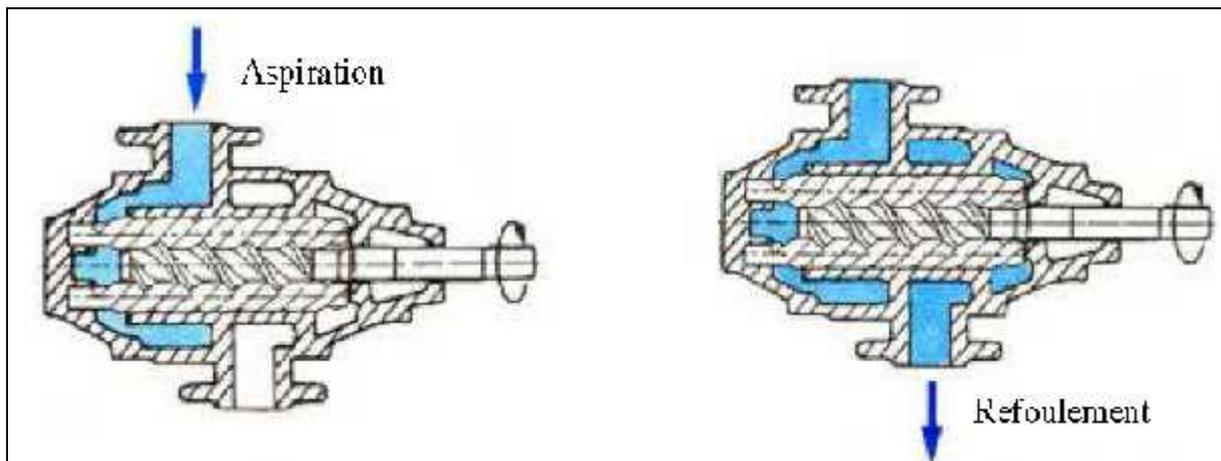


Figure II.11. Pompes à vis

**II.6.3.2. Les pompes volumétriques alternatives [1],[5]**

Ces pompes sont caractérisées par le fait que la pièce mobile est animée d'un mouvement alternatif. Les principaux types de pompes sont les suivants : à membrane ou à piston.

➤ **Pompe à piston (Figure II.12)**

Elles peuvent être à simple effet et, dans ce cas, le piston n'a qu'une seule phase active (premier temps : aspiration, deuxième temps : refoulement) sur les deux que comporte le cycle. Elles peuvent être à double effet et, dans ce cas, le piston est actif dans les deux phases, celles-ci étant à la fois phase d'aspiration et phase de refoulement. Cela permet un débit deux fois plus important et une régularité plus grande dans le débit.

On peut également associer plusieurs pompes à simple ou à double effet en les calant de manière à ce que leurs mouvements respectifs s'accordent harmonieusement. On arrive dans ce cas à augmenter nettement le débit et surtout sa régularité. Ces pompes ont généralement un fort pouvoir d'aspiration, et surtout permettent d'obtenir des pressions élevées.

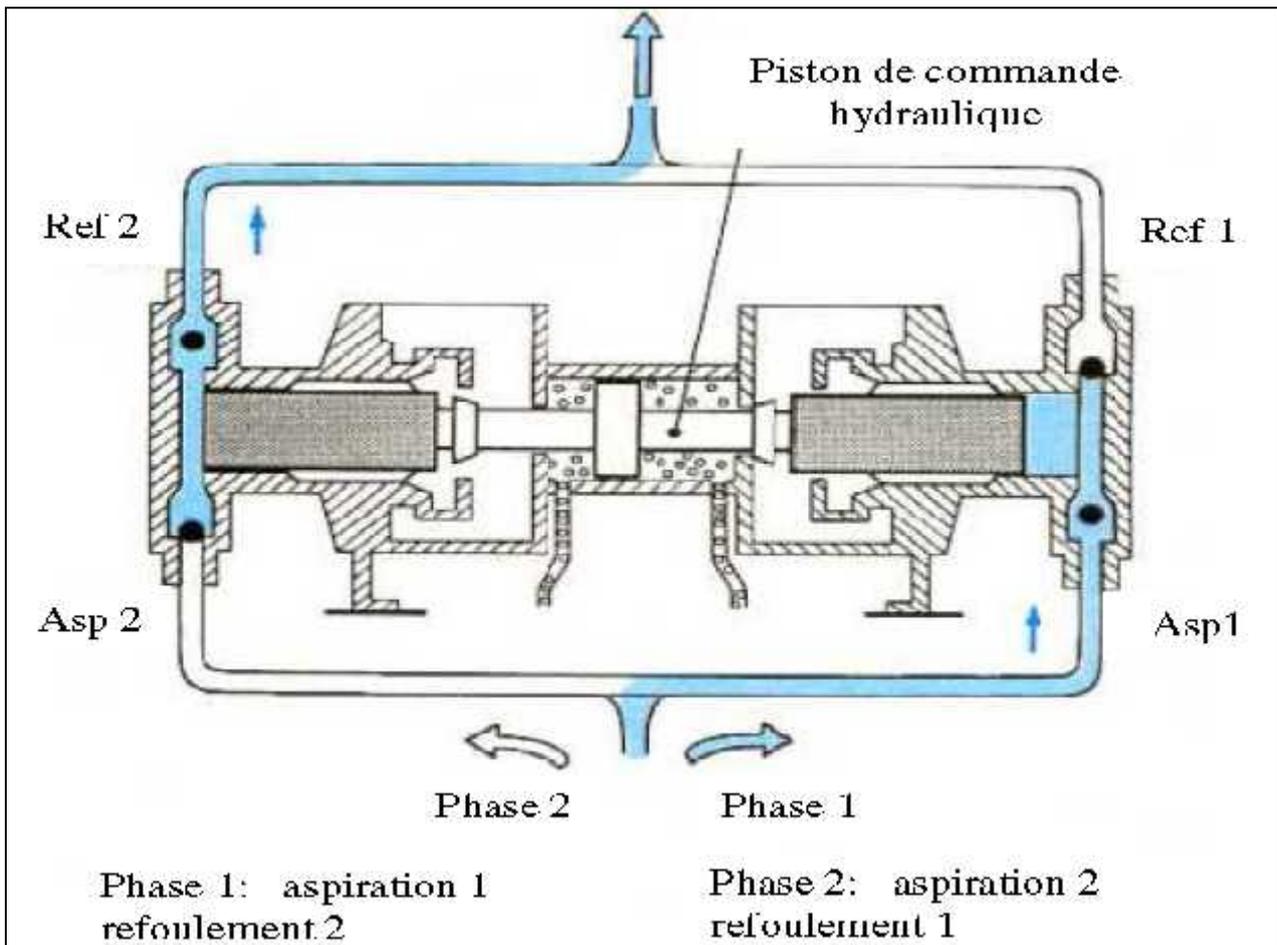


Figure II.12. Pompes à piston

#### II.6.4. Les pompe rotodynamique [1],[5]

Les pompes centrifuges, hélico-centrifuges et hélices. Cette famille peut être caractérisée par le fait que la pression  $y$  est générée soit par l'action des forces centrifuges, soit par la conversion en pression de l'énergie cinétique communiquée au fluide (en le ralentissant). Dans la pratique, ces deux modes de génération de pression sont associés, même pour une pompe hélice, lorsque l'on s'écarte du point nominal. Les pompes rotodynamique constituent un système ouvert et en équilibre, où le fluide n'est jamais enfermé dans un volume totalement clos.

Cette famille de pompes est capable d'atteindre des débits  $Q$  très élevés, allant jusqu'à 105 m<sup>3</sup>/h. Encore convient-il de remarquer que cette limite n'est pas de caractère technologique, et que des débits sensiblement plus grands seraient réalisables, s'il y avait un appel du marché dans ce sens.

➤ Pompes centrifuges (figure II.13)

Les pompes centrifuges sont composées d'une roue à aubes qui tourne autour de son axe, d'un stator constitué au centre d'un distributeur qui dirige le fluide de manière adéquate à l'entrée de la roue, et d'un collecteur en forme de spirale disposé en sortie de la roue appelé volute.

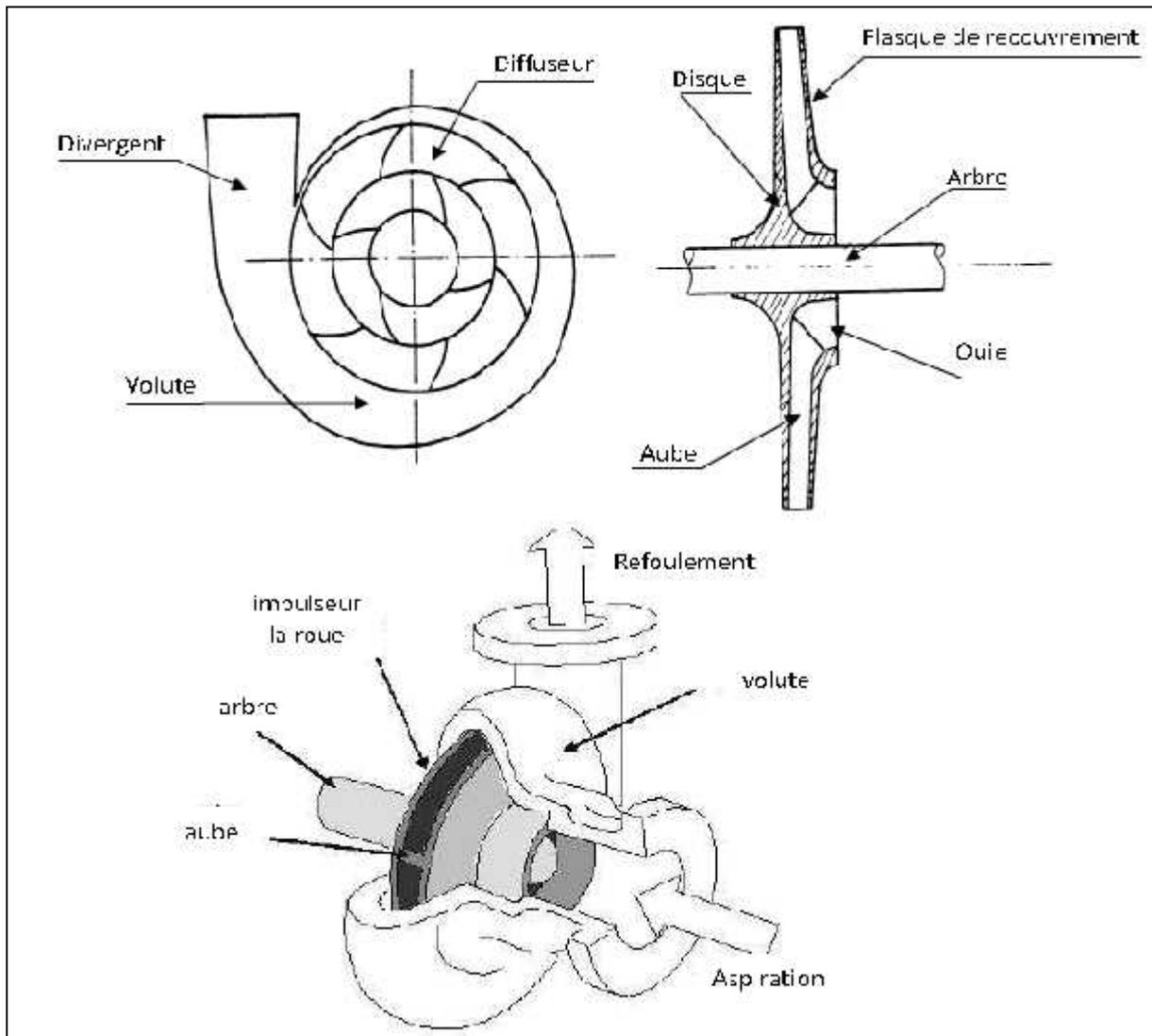


Figure II.13. Schéma d'une pompe centrifuge [5].

# CHAPITRE III

---

*Description et fonctionnement de la pompe à boue*

**BMPT-1600-ACR-7.5"x12";**

### **III.1. Introduction [6], [8]**

La puissance nécessaire pour réaliser la circulation de la boue dans un forage a considérablement augmenté avec l'utilisation généralisée des outils à jets et l'utilisation des Turbo-foreuses.

Les pompes absorbent 70 à 80% de l'énergie consommée dans un forage. Une bonne installation du pompage doit assurer :

- ✓ Une vitesse de remontée des déblais de 30 à 70 m/mn selon les phases, (pour éviter la décantation)
- ✓ Une pression de refoulement suffisante pour vaincre l'ensemble des pertes de charge du système de circulation.

Alors que les pompes de 1939 dépassaient rarement 250 ch.de nombreux constructeurs livraient en 1955 des pompes de 800 à 900 ch. En estimait le besoin de puissance hydraulique à 1000 chevaux hydraulique soit près de 1600 chevaux mécanique. Actuellement une grosse installation dispose de 2000 à 2500 chevaux en moyen de puissance de pompage.

L'augmentation des puissances des pompes a donc été particulièrement importante on y remarque :

- L'évolution rapide des puissances proposées.
- L'apparition des sextuples puis des triplex.
- L'augmentation de puissance des triplex.

En dehors de sa puissance et de son débit, une pompe doit être souple, robuste et facile à entretenir. Les pompes de forage moderne sont de type duplex à double effet et triplex à simple effet. Actuellement les pompes triplex à simple effet ont complètement remplacé les pompes duplex à double effet.

Les pompes de forage les plus utilisé dans les chantiers de site de H.M au sein de l'entreprise SONATRACH sont les pompes à piston triplex à simple effet.

Dans ce chapitre nous présentons la description et le principe de fonctionnement de la pompe triplex à simple effet BMPT-1600-ACR-7.5"x12".

### III.2. Description de la pompe à boue triplex à simple effet BMPT-1600-ACR-7.5"x12".

#### III.2.1. Description générale

C'est une pompe volumétrique alternative à piston à mécanisme bielle-manivelle, de type triplex à simple effet, pour ce type les manivelles sont décalées à  $120^\circ$ , et le nombre de clapet est de 6 (3 à l'aspiration et 3 au le refoulement).

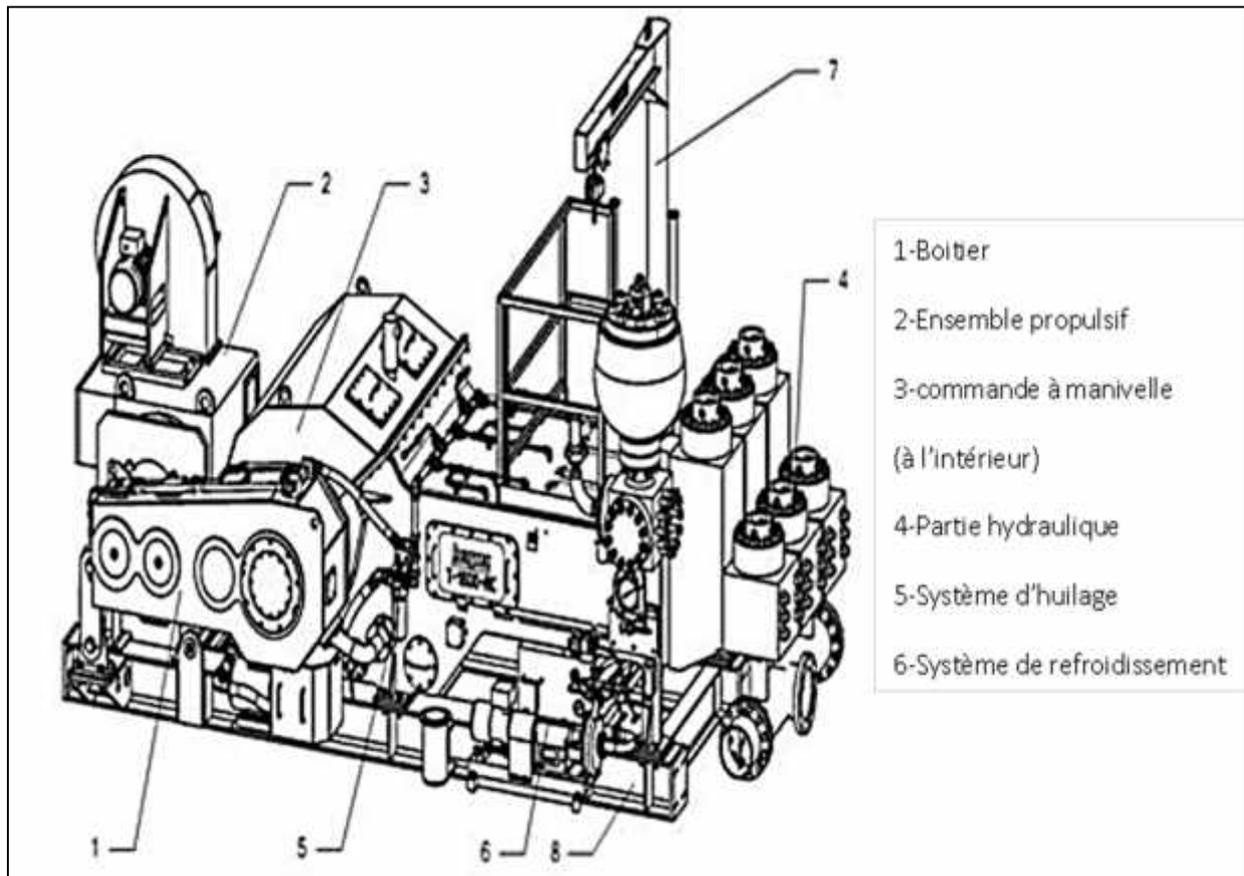


Figure III.1. Description de la pompe à boue triplex à simple [6]

## CHAPITRE III Description et fonctionnement de la pompe BMPT-1600

### III.2.2. Fiche technique de la pompe à boue triplex à simple effet BMPT-1600-ACR-7.5"x12"

- Identification de la pompe
- Spécification de la pompe

Tableau III.1. Identification de la pompe à simple effet BMPT-1600-ACR-7.5"x12". [8]

Identification de la pompe	
Désignation	Pompe à boue
Type	Pompe triplex simple effet
Modèle	F-1600L
N° de série	BZ13-087L
BMPT1600	1600 puissances en cheval
AC	courant alternative
R	Montage arrière
7.5"	Taille de piston maximale
12"	Longueur de course

Tableau III.2. Spécification de la pompe à simple effet BMPT-1600-ACR-7.5"x12". [8]

Spécification de la pompe	
Dimension de la pompe (Max. Chemise Inche Course)	7 1/2 X 12
Dimension des chemises (Inche )	7,6 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> ,6 1/2 , 6 1/4 , 6, 5 3/4 ,5 1/2
Pression maximal (Mpa )	35
puissance d'entrée nominale (Kw-HP )	1160-1600
Capacité d'huile Litre-gallon	379-100
Rapport de décharge, Cross psi	5000
Action d'un piston (Coup/min )	120
Poids net ( kg )	25892

## **CHAPITRE III Description et fonctionnement de la pompe BMPT-1600**

Longueur, Largeur, Hauteur (mm )	4876, 2413, 2038
----------------------------------	------------------

### **III.3. Construction de la pompe BMPT-1600-ACR-7.5“x12“ [6], [8]**

La pompe **BMPT-1600-ACR-7.5“x12“** est constituée de deux parties principales :

➤ **Partie mécanique :**

Pour la partie mécanique, tous les constructeurs ont choisi le principe de la pompe triplex avec excentrique, bielle, crosses et rallonge de crosse. Mais les pignons des arbres à grande vitesse et à petite vitesse sont excentrés par rapport à l'axe de la pompe et l'arbre petite vitesse est en forme de vilebrequin.

➤ **Partie hydraulique :**

Comme dans toutes les pompes triplex simple effet, elle se compose de :

- Une chemise apparente, se montant par l'arrière ou par l'avant suivant les constructeurs ;
- Une tige de piston ;
- Un piston simple effet ne comporte qu'une garniture ;
- 02 clapets (01 clapet d'aspiration, 01 clapet de refoulement) ;
- Un système d'arrosage.

➤ **Partie électrique**

La puissance qui arrive à l'arbre d'attaque de la pompe est développée par la rotation de deux moteurs électriques d'entraînement alimenté en courant continu à travers un redresseur commandé.

#### **III.3.1. Partie mécanique de la pompe BMPT-1600-ACR-7.5“x12“**

Le coté mécanique d'une pompe à boue représente la partie la plus importante de la valeur d'achat, il doit être robuste et permettre une longue période de service sans entretiens importants en dehors de la lubrification.

La partie mécanique de la pompe se compose des sous-ensembles suivants :

- L'arbre grand vitesse,

- L'arbre petite vitesse ou vilebrequin.
- Système bielle-manivelle.
- La crosse et la rallonge de crosse.
- Le bâti/carter de lubrification.
- Le système d'entraînement (chaîne + pignon + roue dentée).
- Roulement.
- Pompe à l'huile.

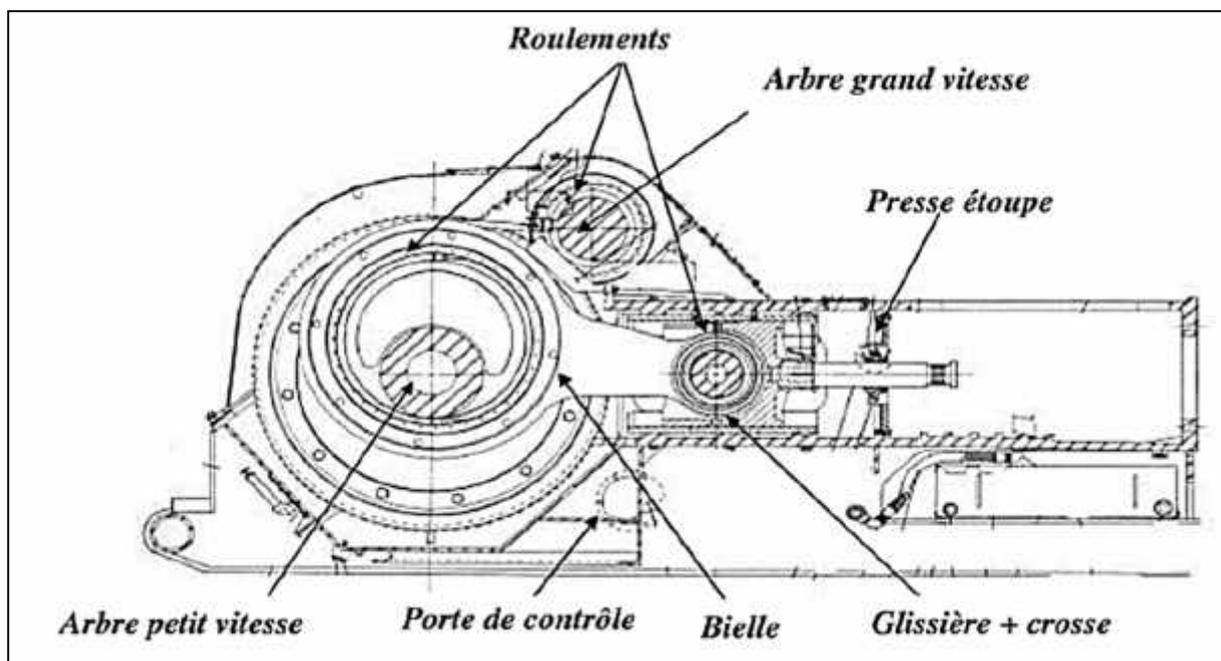
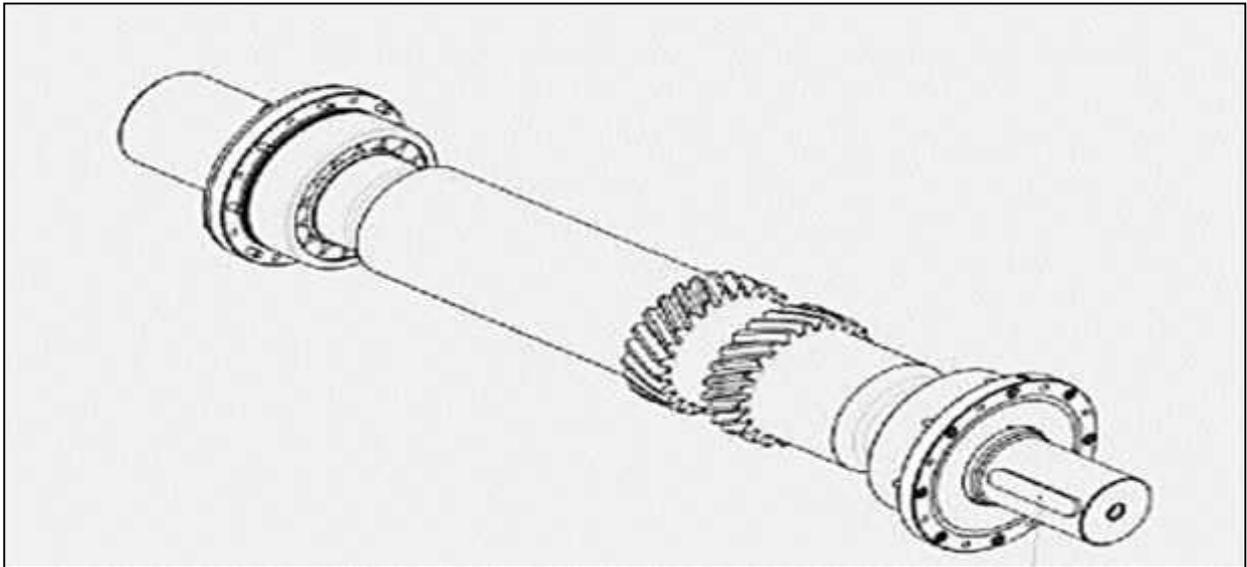


Figure III.2. Description mécanique d'une pompe BMPT-1600-ACR-7.5"x12"

### III.3.1.1. L'arbre grande vitesse (pignon shaft)

C'est l'arbre d'entraînement de la pompe, celui sur lequel sont accouplés les moteurs d'entraînement, qui peut être réalisé par moteurs électrique et transmissions ou par poulies entraînées par courroies depuis le moteur compound.

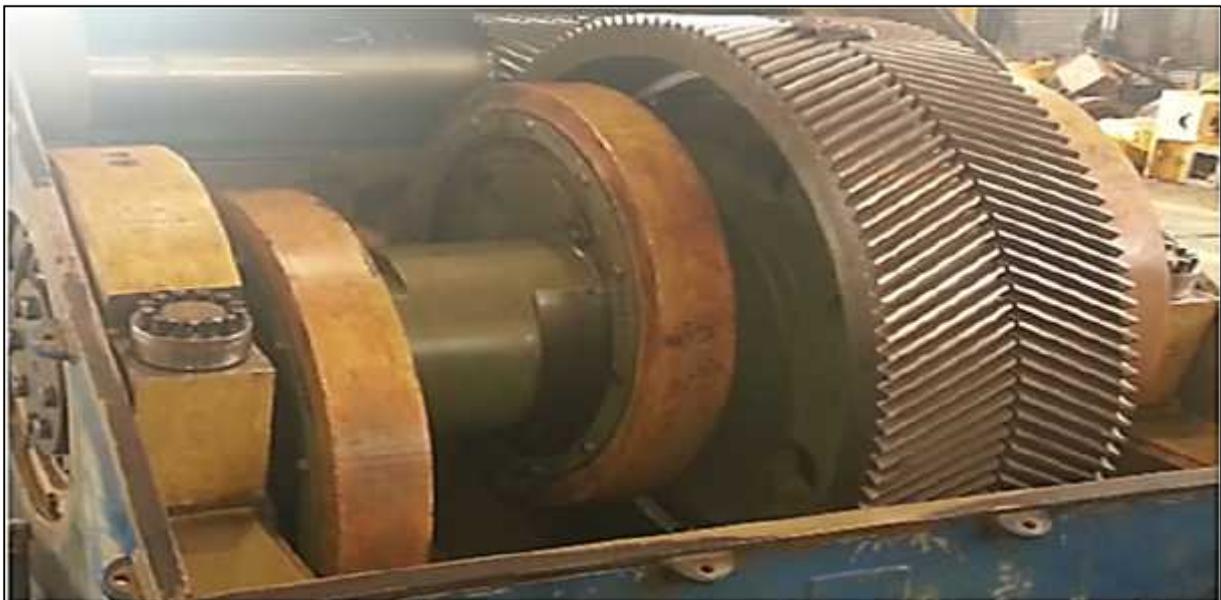
Cet arbre supporté par deux paliers à roulement ; il entraîne par l'intermédiaire du pignon à denture oblique (chevron) le pignon de l'arbre vilebrequin à petite vitesse.



**Figure III.3. Arbre grande vitesse**

### **III.3.1.2. L'arbre petite vitesse (crankshaft) ou vilebrequin**

Cet arbre a une forme coudée (excentrique) pour permettre le décalage des courses du piston dans les chemises (ce décalage est de  $120^\circ$  pour les triplex).



**Figure III.4. Arbre petite vitesse**

### III.3.1.3. Système bielle-manivelle

Sur le vilebrequin sont montées 03 bielles selon le type de pompe (triplex). Les têtes des bielles sont montées sur le vilebrequin, les pieds des bielles sur les crosses. L'articulation de ces dernières sur les crosses se fait par l'intermédiaire de roulement.

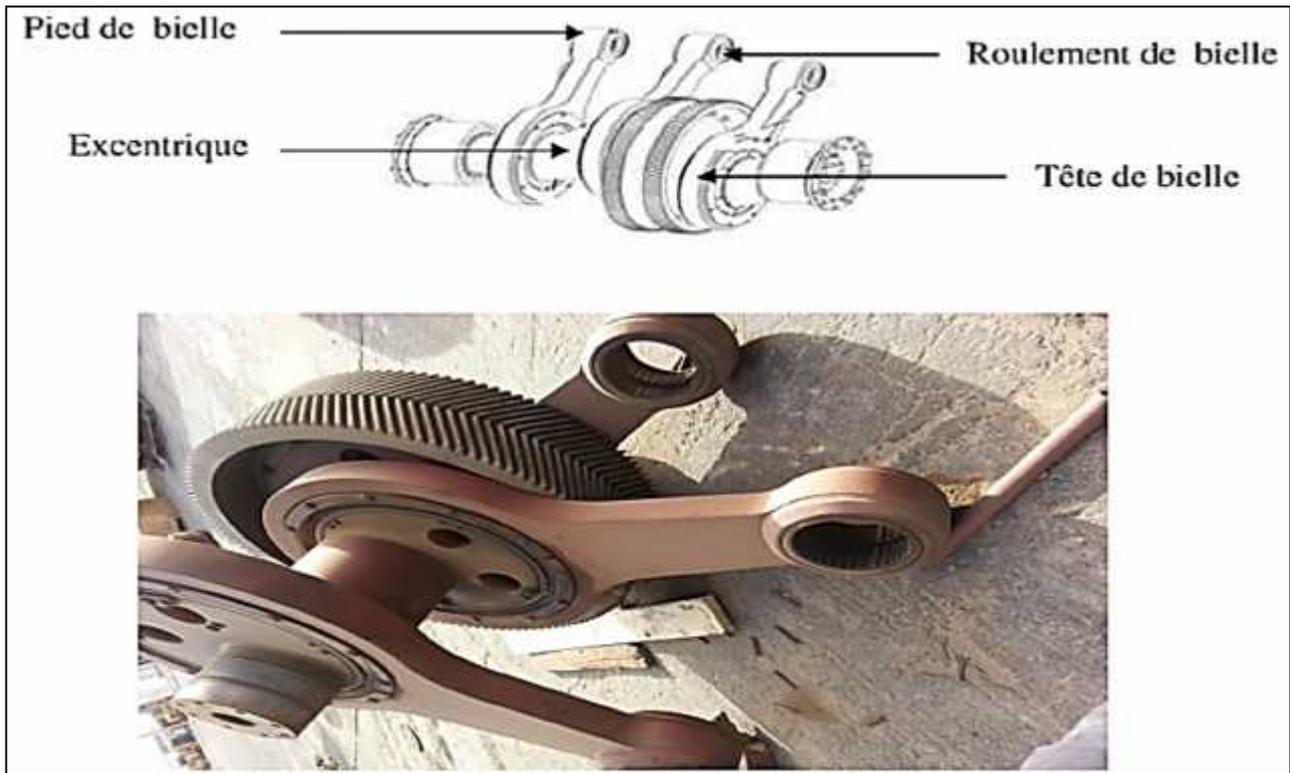
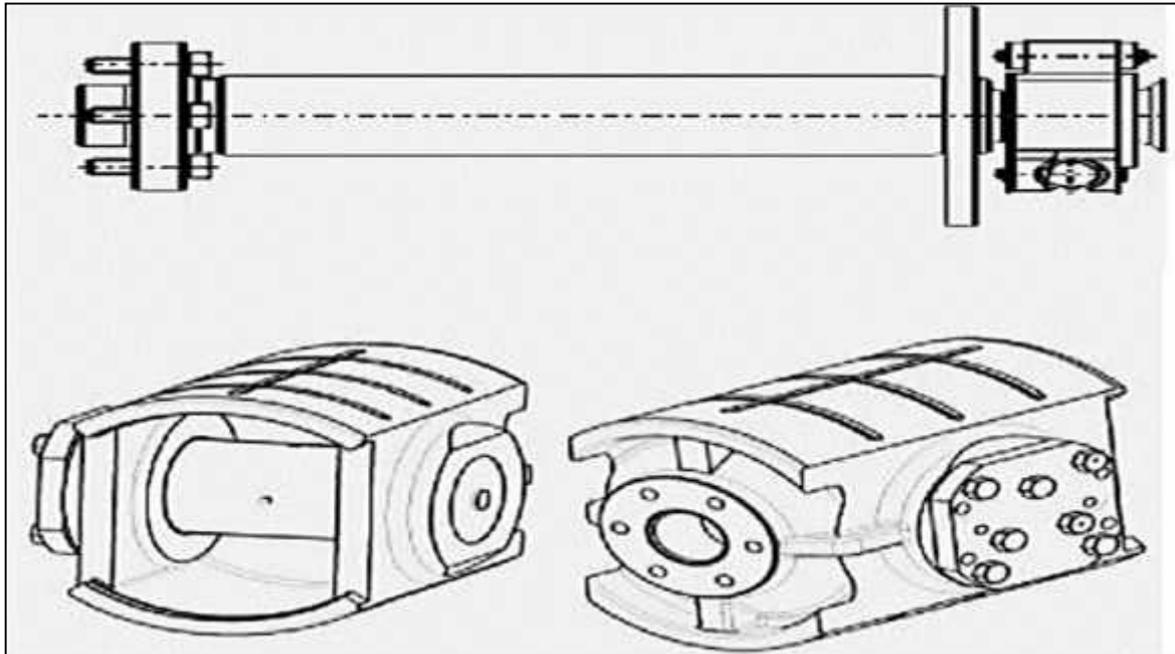


Figure III.5. Système bielle-manivelle

### III.3.1.4. La crosse et la rallonge de crosse

Montées sur les pieds des bielles par l'intermédiaire de roulement sont guidées par des tuiles. Sur les crosses viennent se visser les rallonges des crosses qui permettront la liaison avec les tiges des pistons. Cette liaison est réalisée par l'intermédiaire de clamps (colliers de serrage) pour les pompes triplex.



**Figure III.6. La crosse et la rallonge de crosse.**

### III.3.1.5. Les roulements

- **Les roulements des bielles :** Sont des roulements à rouleaux cylindriques jointifs, ils supportent des charges radiales, axiales élevées et importantes, qui possèdent les avantages suivants :
  - ✓ Fiabilité des fonctions accrue ;
  - ✓ Durée de service prolongée.



**Figure III.7. Les roulements des bielles.**

- **Les roulements des crosses** : Ils Sont des roulements à aiguilles, qui ont les avantages suivants :
  - ✓ Roulements de très faible section dotée d'une capacité de charge ;
  - ✓ Relativement élevée ;
  - ✓ Utilisation sans bagues intérieures ;
  - ✓ Assurent un montage optimal lorsqu'on peut tremper et rectifier les arbres ;
- **Les roulements de l'arbre grand vitesse** : Ils sont des roulements à rotule sur rouleaux, et possèdent les avantages suivants :
  - ✓ Fonctionnement à faible température, et à vitesse relativement élevée ;
  - ✓ Supporter des charges relativement importantes ;
  - ✓ Grande longévité.
- **Les roulements de l'arbre petit vitesse (vilebrequin)** :
  - ✓ Les Roulements à rouleaux coniques, ils ont les avantages suivants :
  - ✓ Frottement largement réduit ;
  - ✓ Capacité de charge accrue.

### **III.3.1.6. Le système d'entraînement**

La pompe est entraînée par deux moteurs électriques, Chaque moteur transmet sa puissance via un système d'entraînement à chaînes multiples sur l'arbre de commande principal. Ce dernier, complet avec pignon, se trouve via un engrenage à denture chevronnée en engagement direct au vilebrequin, La denture chevronnée permet une haute charge des dents dans le train d'engrenages entre arbre de commande et vilebrequin.



Figure III.8. Le système d'entraînement

### III.3.1.7. Le circuit de lubrification

Le système de lubrification se fait par écoulement, il se base sur la rotation de la roue dentée du vilebrequin qui prend l'huile à partir du carter, une cuvette en forme U retient l'huile et la distribue vers les roulements et les crosses. (Figure III.9).

- L'huile utilisée est de type tassilia 90
- La lubrification des chaînes se fait à l'aide d'une pompe à huile (Figure III.10).
- L'huile du carter est contrôlée périodiquement par un indicateur de niveau d'huile à l'extérieur et un reniflard pour éviter l'excès de chaleur dans le carter.

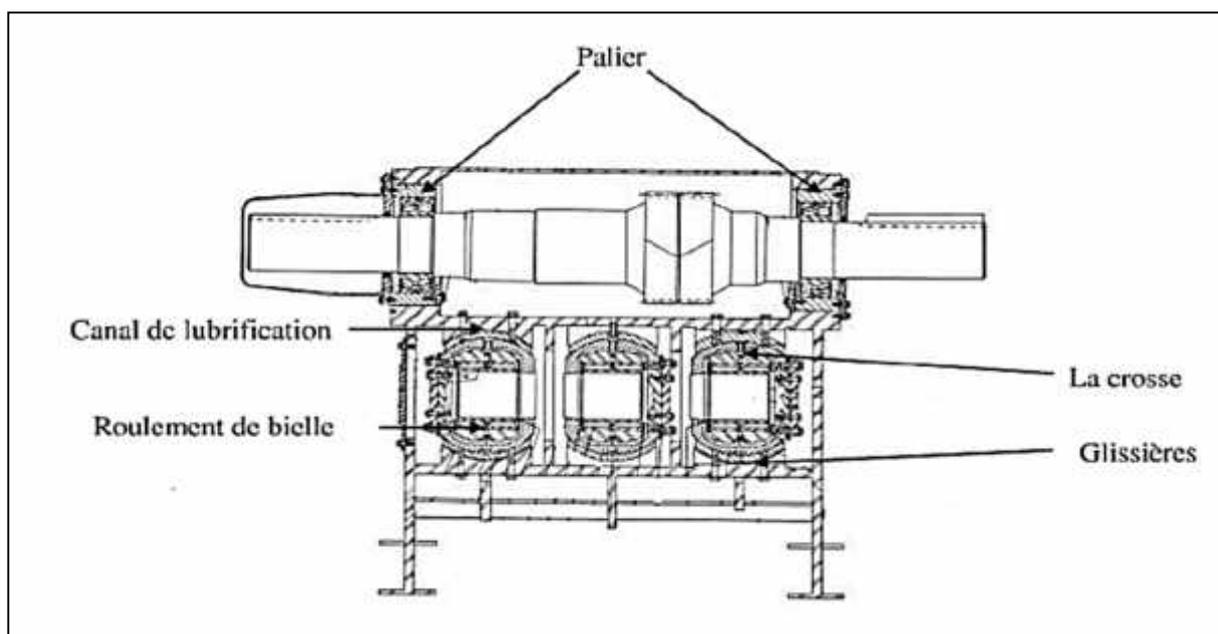


Figure III.9. Système de lubrification les roulements et les crosses

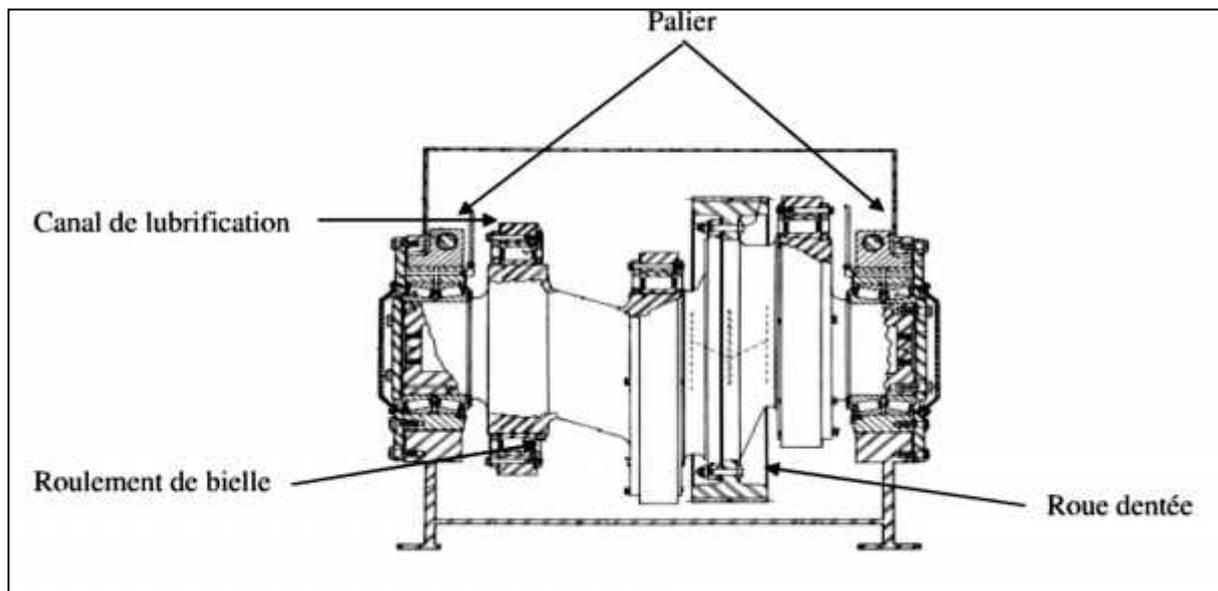


Figure III.10. La lubrification

### III.3.1.8. Transmission et le couple d'engrenage

La puissance développée sur l'arbre d'attaque de la pompe est transmise à l'arbre manivelle par un couple d'engrenage de type à chevrons ou hélicoïdal ; les deux extrémités de l'arbre sont identiques et ce qui permet d'entraînement d'un côté comme de l'autre. Le pignon est claveté ou intégré à l'arbre d'attaque en acier ou chrome molybdène forgé.

La roue est clavetée ou boulonnée sur l'arbre manivelle ; les roulements largement calculés sont de types à rouleaux conique. L'arbre principale est forgé lorsqu'il est à manivelle ou codé et coulé s'il est excentrique ou à doigts.

La rallonge de crosse passe à travers un presse-étoupe qui évite la sortie de l'huile de carter et l'entrée de boue et ou d'eau à l'intérieure du même carter. La bielle ne doit représenter aucune déformation qui entrainerait un défaut de parallélisme de l'axe de crosse avec du maneton de l'arbre manivelle par conséquent l'axe du corps de la bielle doit être rigoureusement perpendiculaire à l'axe du vilebrequin ; sans quoi une légère déviation suffisait à provoquer une usure anormale de la crosse et des roulements de maneton.

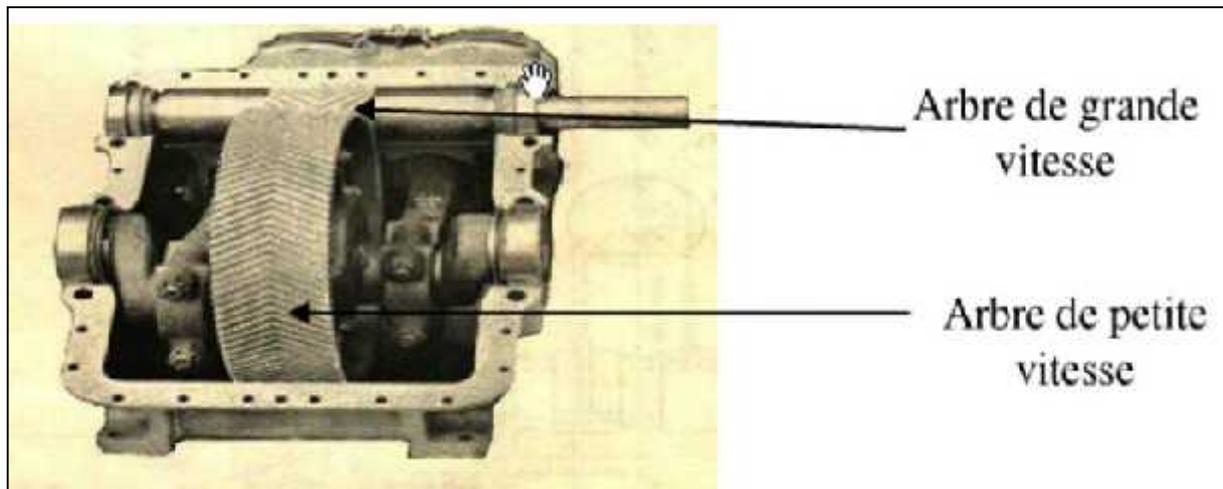


Figure III.11. Couple d'engrenage.

### III.3.1.9. Le bâti

Le bâti d'engrenages est une construction à la soudure en modules en acier de haute résistance. Le skid et le bâti sont généralement intégrés. Le bâti sert de carter pour l'huile de graissage où la lubrification est réalisée par barbotage. Il doit, donc être étanche et permettre un contrôle rapide du niveau, et une vidange facile de l'huile. L'étanchéité, côté rallonge de crosse est assurée par un boîtier de presse-étoupe et son joint.

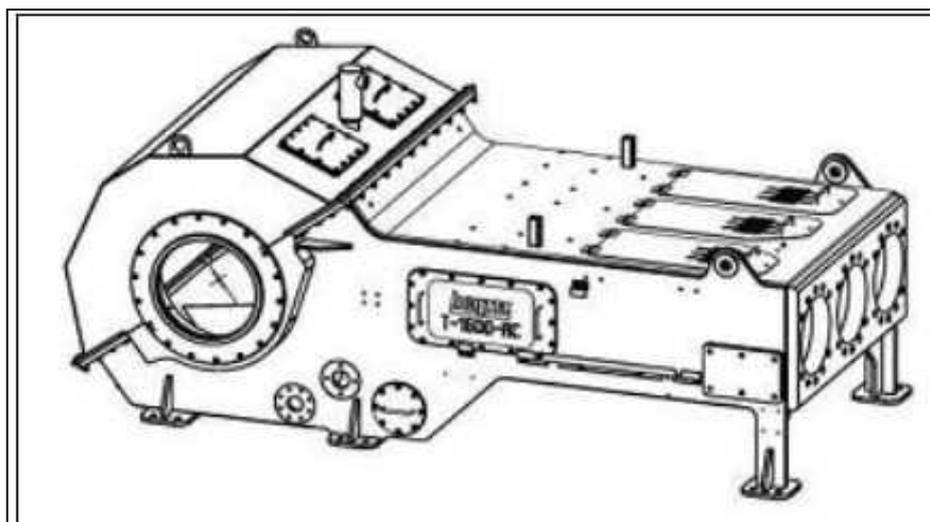


Figure III.12. Le bâti d'engrenages

### III.3.2. La partie hydraulique de la pompe

## CHAPITRE III Description et fonctionnement de la pompe BMPT-1600

Ces pompes comportent trois cylindres. Elles sont à simple effet (la boue est aspirée et refoulée par un seul côté du piston).

### III.3.2.1. Le corps hydraulique

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

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 lie 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.

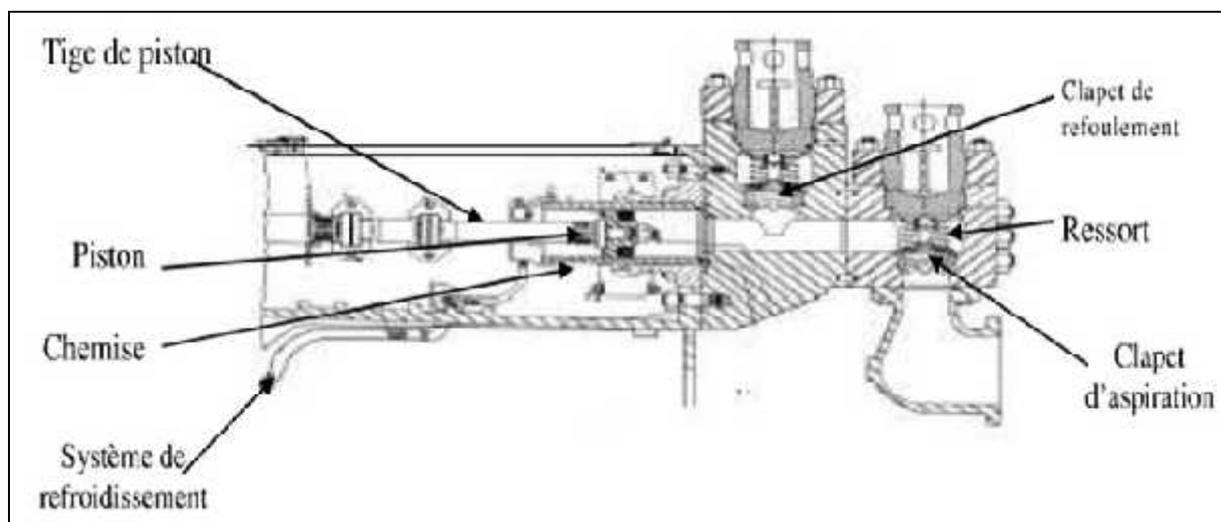
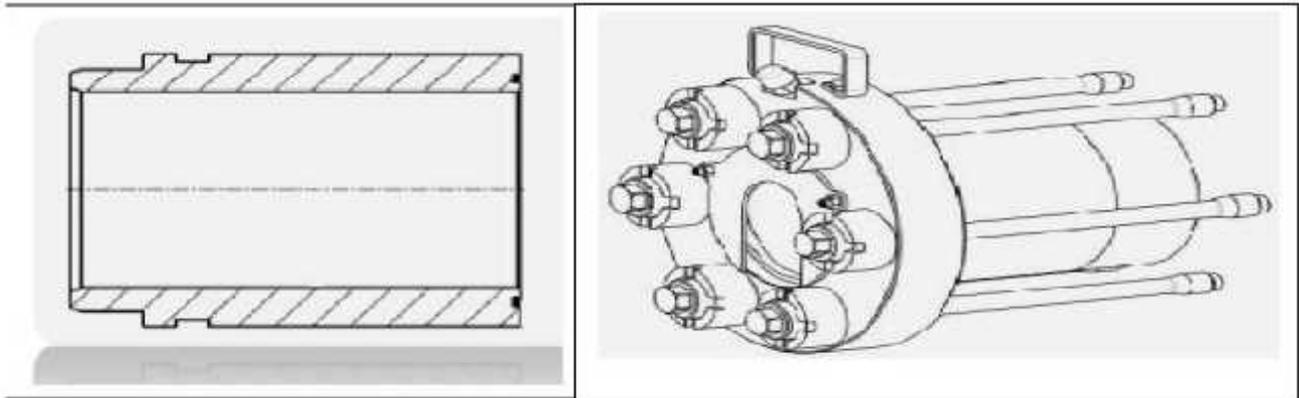


Figure III.13. Le corps hydraulique d'une pompe BMPT-1600-ACR-7.5"x12"

### III.3.2.2. Chemises

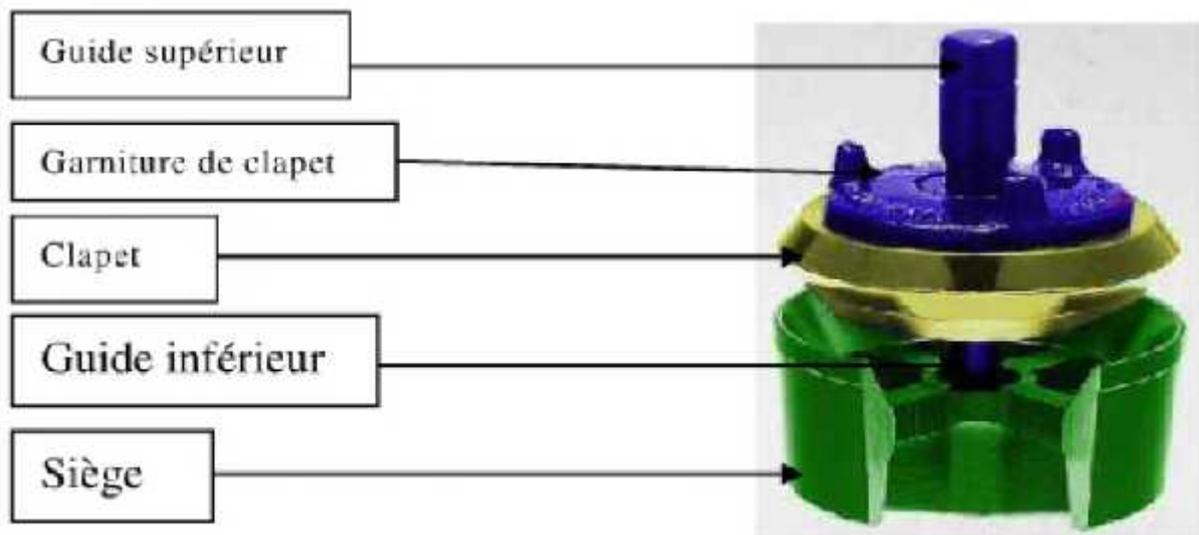
Elles permettent l'utilisation d'une grande gamme de diamètres de pistons (diamètre intérieur de la chemise) afin d'obtenir les débits, et pressions exigés par le forage. La paroi intérieure de la chemise est traitée pour lui donner une grande dureté superficielle, et la résistance à l'usure désirée. Ces chemises sont enfilées dans le corps de pompe, et maintenues en place par des dispositifs, qui diffèrent légèrement suivant des constructeurs.



**Figure III.14. Chemise de corps hydraulique d'une pompe BMPT-1600-ACR-7.5"x12"**

### III.3.2.3. Les sièges et les clapets

L'ensemble comprend le siège, et le clapet composé du corps, de la garniture, et de son système de fixation, un ressort de rappel et deux guides, l'un en haut et l'autre en bas. Le guide inférieur du clapet est à une ou plusieurs branches, ou simplement cylindrique en fonction du type de siège



**Figure III.15. Les sièges et les clapets BMPT-1600-ACR-7.5"x12"**

### III.3.2.4. Le piston et la tige du piston

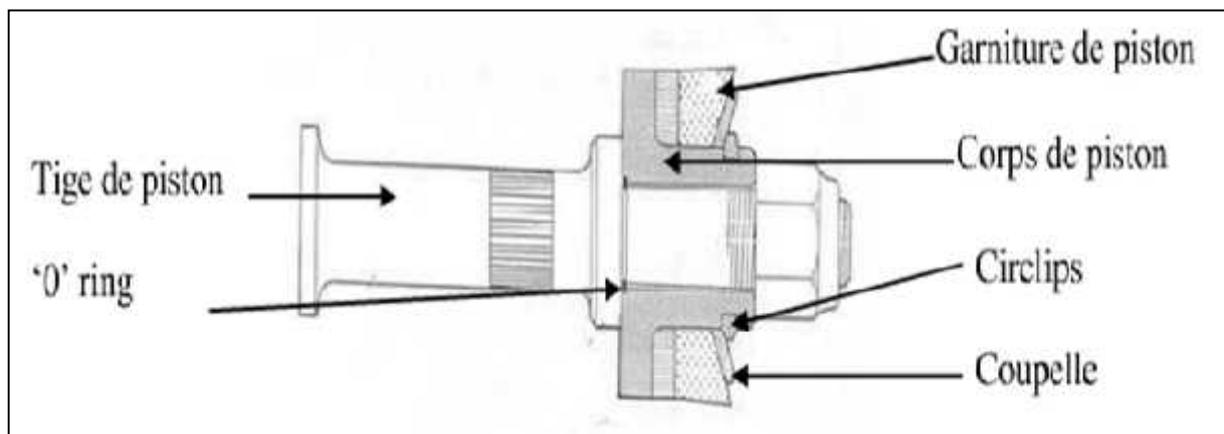
Dans les pompes triplex le piston est monté avec une seule garniture (cycle simple effet), une coupelle et un circlips en assurent la fixation sur le corps. Très simple et sans traitement,

## CHAPITRE III Description et fonctionnement de la pompe BMPT-1600

le corps du piston a un alésage cylindrique qui permet un montage et surtout un démontage aisé. (Un simple joint torique assure l'étanchéité).

La tige du piston classique est éliminée pour être remplacé 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 coté rallonge de crosse remplacée par un talon et un clamp de montage et démontage aisé,
- Les poids et les dimensions faibles,
- Une durée de vie très longue (absence de presse-étoupe),



*Figure III.16. Le piston et la tige du piston*

### III.3.3. Partie électrique de la pompe à boue

La puissance qui arrive à l'arbre d'attaque de la pompe est développée par la rotation de deux moteurs électriques d'entraînement (mcc à excitation série) alimentés en courant continu à travers un redresseur commande.

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.

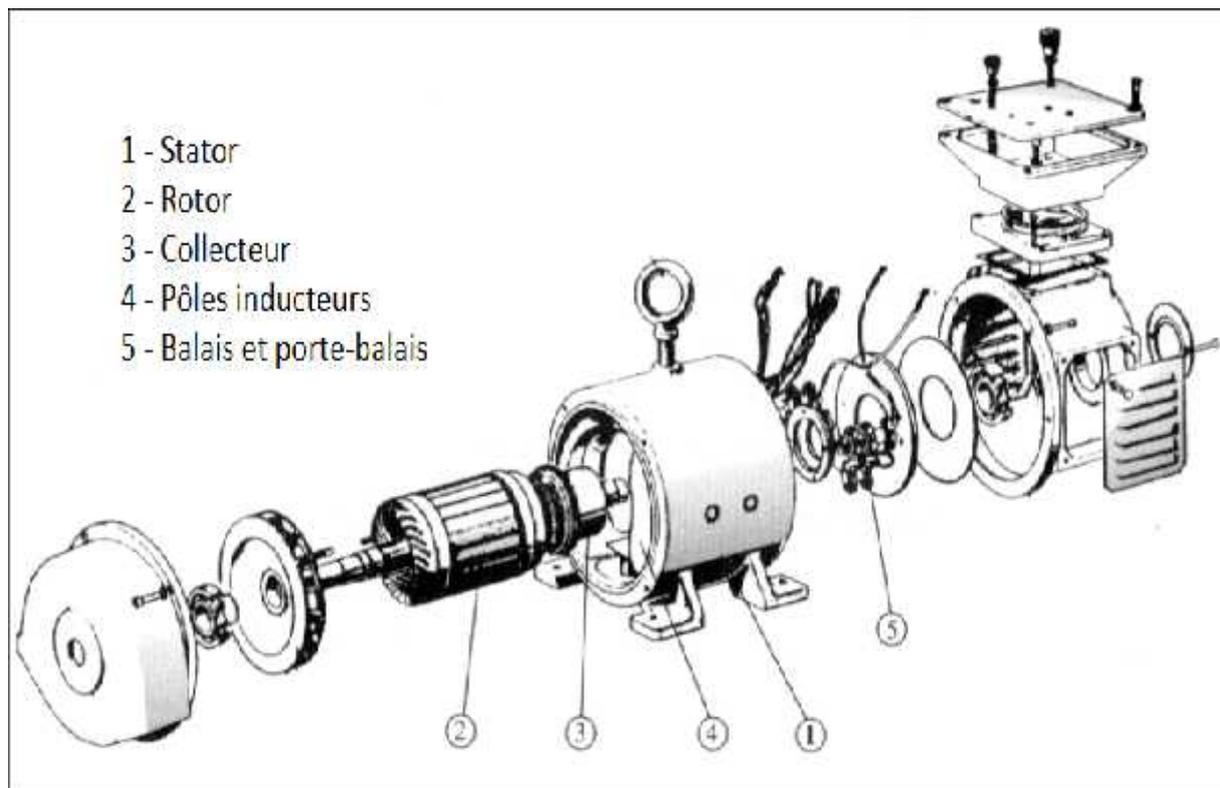


Figure III.17. Moteur à courant continu(DC).

### III.4. Principe de fonctionnement de la pompe BMPT-1600-ACR-7.5“x12“[6],[7]

Les pompes à boue de type **BMPT-1600-ACR-7.5“x12“** comportent trois cylindres dans lesquels coulisent trois pistons à simple effet, c'est-à-dire que chaque piston aspire et refoule d'un seul côté (figure III.18). Chaque cylindre comporte un clapet d'aspiration et un autre de refoulement à l'avant seulement.

Lorsque le piston se déplace vers l'arrière, 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, le clapet d'aspiration se ferme et celui de refoulement s'ouvre, et la boue est ainsi refoulée dans la conduite de refoulement.

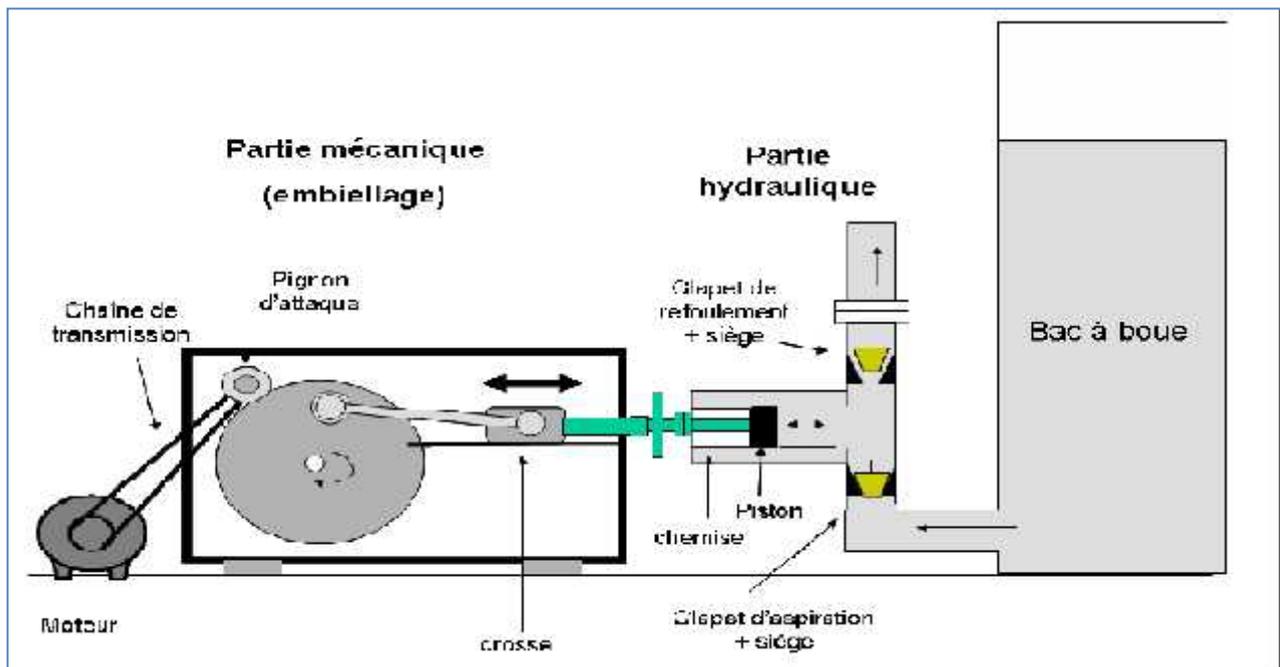


Figure III.18. Principe de fonctionnement de la pompe BMPT-1600-ACR-7.5''x12''

### III.5. Caractéristiques des pompes à boue BMPT-1600-ACR-7.5''x12'' [6],[8]

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.

#### III.5.1 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 peut être calculée par la formule suivante :

$$V = \frac{C.f.d^2}{4}$$

Où

$C$  : la course du piston (mm)

$d$  : diamètre intérieur de la chemise (mm)

### III.5.2 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.

### III.5.3 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.

#### 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 :

$$Q_{th} = \frac{3f \cdot D^2 \cdot C}{4}$$

Où :

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

$C$  : Course de piston (mm).

$D$  : Diamètre de la chemise (mm).

### III.5.4. 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

## **CHAPITRE III Description et fonctionnement de la pompe BMPT-1600**

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.

### **III.5.5. La puissance**

#### **1- 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 :

$$P_h = P_r \cdot Q_r$$

Où :

$P_h$  : la puissance hydraulique.

$P_r$  : la pression de refoulement.

$Q_r$  : le débit réel.

#### **2- Puissance mécanique :**

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

### **III.6. Les équations de perte de charge utilisées en forage [12]**

D'après le formulaire du foreur et en supposant que le fluide est un modèle de **BINGHAM**, nous nous sommes basés sur les équations suivantes :

**Les pertes de charge aux installations de surface :**

$$P = N_1 \cdot B$$

Avec

$B$  : Coefficient correspond à la boue en circulation ;

$N_1$  : Coefficient des pertes de charge ;

$d$  : Masse volumique de la boue en [kg/ l] ;

$\mu$  : Viscosité en [cp] ;

$$B = d^{0,8} \cdot \mu^{0,2}$$

➤ *Les pertes de charge dans les orifices de trépan :*

$$P = \frac{d \cdot Q^2}{2959,41 \cdot C^2 \cdot A^2}$$

Avec :

$Q$  : le débit réel mesuré en [l/min] ;

$A$  : aire totale des duses en [in<sup>2</sup>] ;

$C$  : coefficient d'orifice :

$C=0,80$  pour les outils sans jet ;

$C=0,95$  pour les outils à jet.

➤ *Les pertes de charge à l'intérieur de la garniture :*

$$P = \frac{Q^{1,8} \cdot L \cdot B}{901,63 \cdot D^{4,8}}$$

Avec :

$L$  : longueur en [m] ;

$D$  : diamètre intérieur garniture [in] ;

➤ *Les pertes de l'espace*

$$P = \frac{Q^{1,8} \cdot L \cdot B}{706,96 \cdot (D_0 + D_i)^{1,8} \cdot (D_0 - D_i)^3}$$

*charge dans annulaire :*

Avec :

$D_0$  : diamètre extérieur annulaire [in] ;

$D_i$  : diamètre intérieur annulaire (extérieur garniture) [in] ;

# CHAPITRE IV

---

## Partie Calcul

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

*Jean Dieudonné*

## IV.1. Introduction

Ce chapitre est consacré à la partie calcul et vérification. Il s'organise en deux parties :

- Etude et dimensionnement de la pompe à boue BMPT-1600-ACR-7.5"x12 pour un puits donné de **MDZ664**
- Calcul du volume de boue pour toutes les phases au niveau des **puits MDZ664**.

## V.2. Etude et dimensionnement de la pompe à boue BMPT-1600-ACR-7.5"x12 pour un puits donné

### V.2.1. Le principe de calcul

La connaissance d'une part des lois de l'écoulement des fluides de forage d'autre part des débits nécessaire à la remonter des déblais permet d'établir un calcul des puissances hydraulique pour un puits donné.

Le but de ce calcul est de déterminer à savoir :

- 1- La puissance mécanique à installer sur les pompes de forage.
- 2- La puissance nécessaire de moteurs électriques d'entraînement de la pompe.

Pour cela, Le calcul comprend :

- Calcul des pertes de charge.
- Calcul de la puissance mécanique
- Calcul de la puissance hydraulique
- Nombre de pompe dans chaque phase de forage
- Calcul du diamètre de la chemise de chaque phase.

#### Calcul des pertes de charge :

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

- Frottement interne au fluide dus à sa viscosité ;
- Frottement externe dus à la rugosité des parois de la conduite.

Cette partie d'énergie est appelée perte de charge et s'exprime par la différence de pression du fluide entre deux points de la conduite. Par exemple, la boue de forage en circulation possède au départ une énergie représentée par la pression à la sortie de la pompe.

Cette énergie est entièrement perdue dans le circuit boue puisque, au retour dans les bassins, la pression de la boue est nulle. La pression à la sortie de la pompe exprime, dans ce cas, la somme des pertes de charge dans le circuit.

Ces pertes de charge se produisent :

- ✚ Dans le circuit de surface ;
- ✚ A l'intérieur de la garniture ;
- ✚ A l'intérieur des tiges de forage ;
- ✚ A l'intérieur de masse-tige ;
- ✚ A l'intérieur de tige lourde.
- ✚ A l'intérieur de l'espace annulaire :
- ✚ Tubage / tiges ;
- ✚ Trou / tiges de forage ;
- ✚ Trou / masse-tige ;
- ✚ Trou / tige lourde.

## IV.2.2. Données de départ [21]

Le tableau ci-dessous représente les données de départ pour le calcul :

Données de départ pour le calcul et vérification					
Trou foré		Phase 26 “	Phase 16 “	phase 12 ½“	phase 8 ½“
	Diamètre ( <i>in</i> )				
	Profondeur forée ( <i>m</i> )	313	854	2540	3445
Tubage	Diamètre extérieur <i>in</i> ( )	18 5/8	13 3/8	9 5/8	7
	Poids linière ( <i>lb/ft</i> )	85,5	68,00	47,00	29,00
	Diamètre inter ( <i>in</i> )	17,755	12,415	8,681	6,184
	Longueur du tubage ( <i>m</i> )	312	852,5	2539	3421
Paramètre hydraulique de forage	Débit ( <i>l/min</i> )	3700	3300	3061	2270
	Masse volumique ( <i>kg/l</i> )	1,05	1,3	1,3	2,03
	Viscosité ( <i>cp</i> )	77	53	64	69
Tige de forage	Diamètre extérieur ( <i>in</i> )	5	5	5	5
	Diamètre inter ( <i>in</i> )	4,276	4,276	4,276	4,276
	Longueur ( <i>m</i> )	75	603	2308	3903
Tige lourde	Diamètre extérieur <i>in</i> ( )	5	5	5	5
	Diamètre inter ( <i>in</i> )	3	3	3	3
	Longueur ( <i>m</i> )	106	106	106	106
Masse tige	Diamètre extérieur <i>in</i> ( )	8	8	8	6 1/2
	Diamètre intérieur <i>in</i> ( )	2,81	2,81	2,81	2 13/16
	Longueur ( <i>m</i> )	124	143	124	244
Trépan	TFA ( <i>in<sup>2</sup></i> )	1,052	0,994	1,037	0,902

Tableau IV.1. Données de départ pour le calcul et vérification [20]

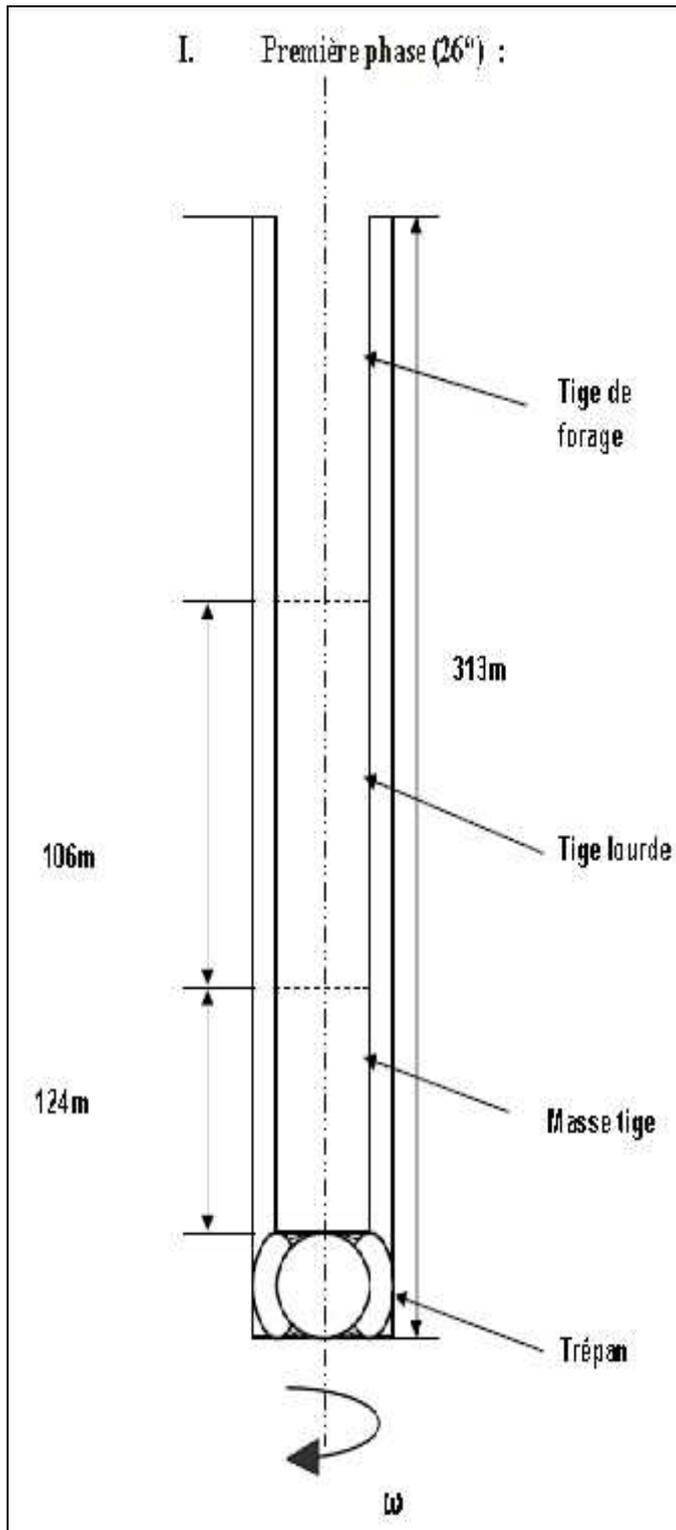


Figure IV.1. Phase 1 : 26''

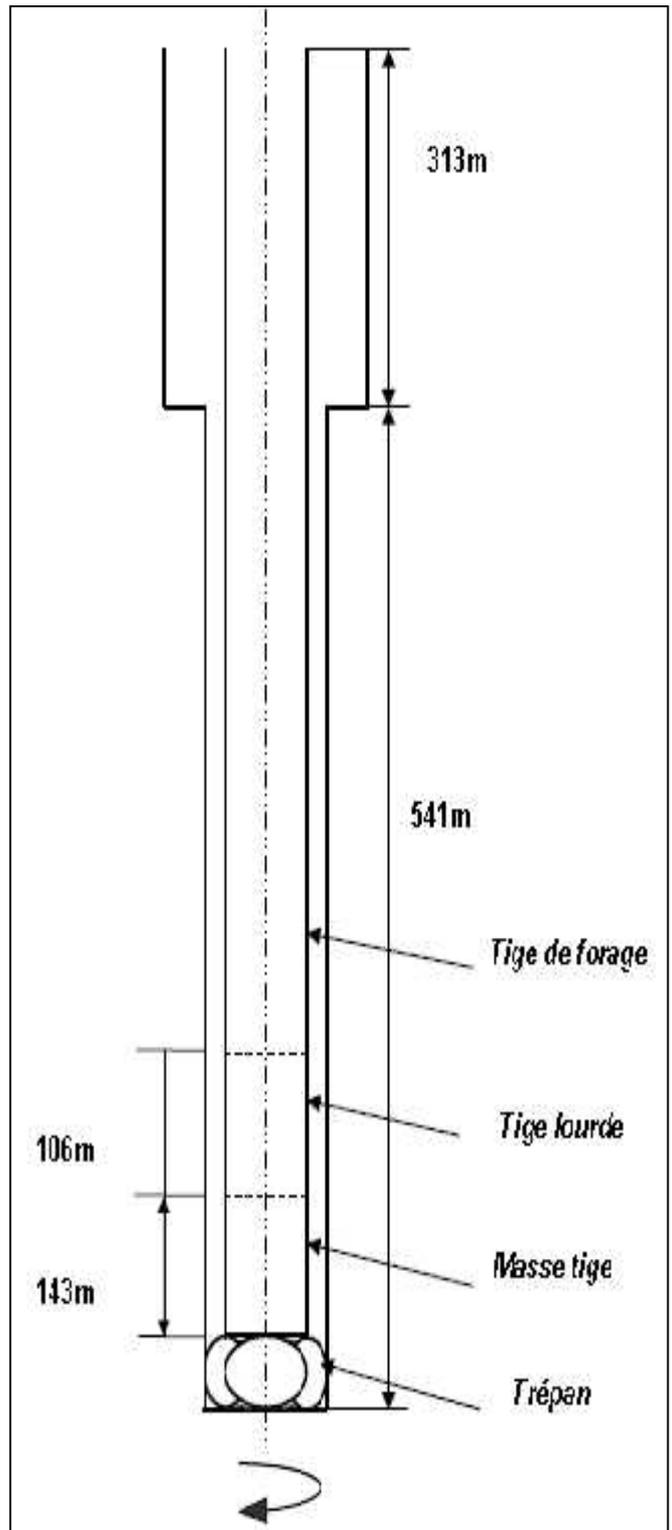


Figure IV.2. Phase 2 : 16''

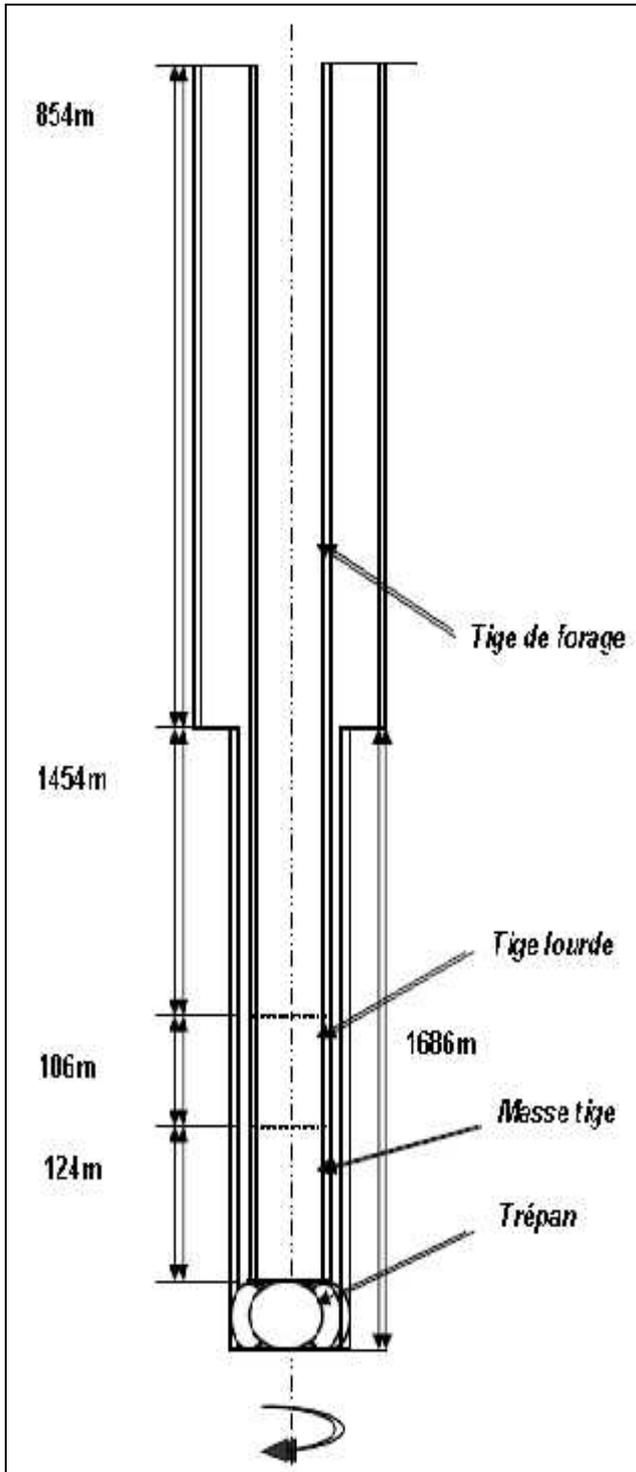


Figure IV.3. Phase 3 : 12<sup>1/4</sup>

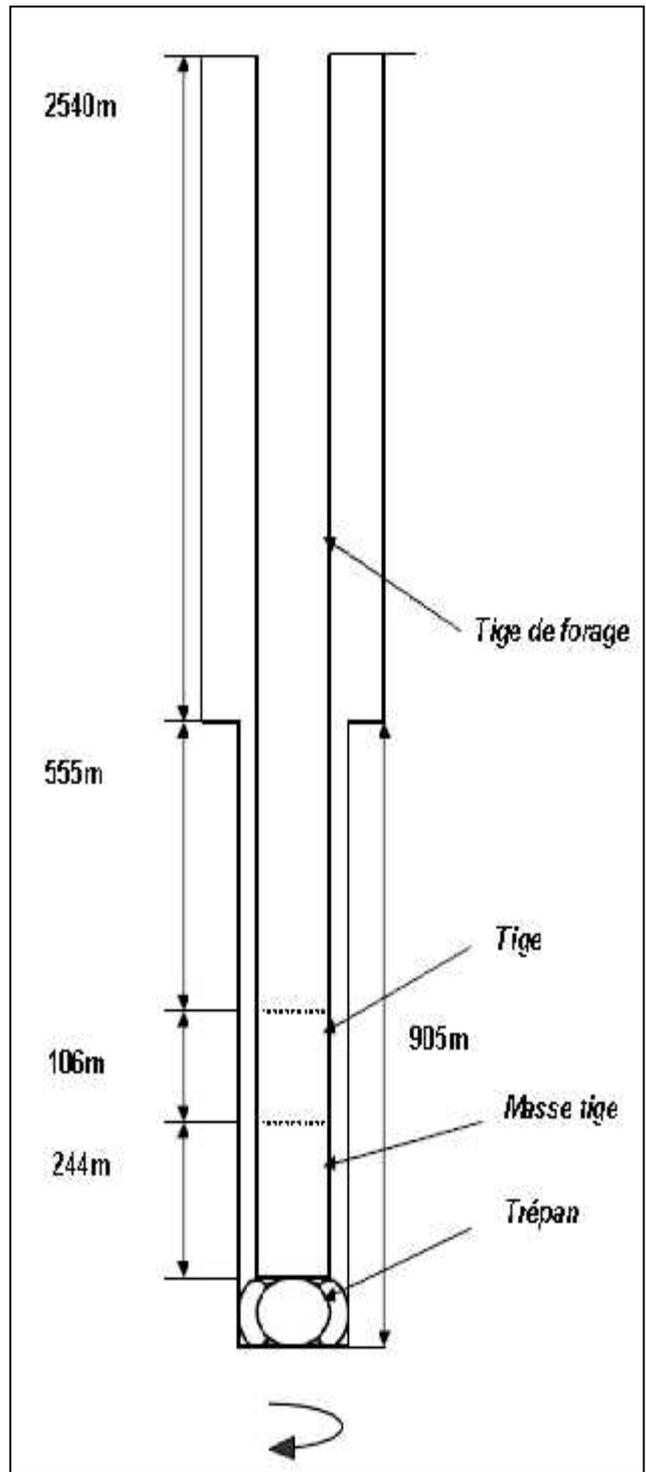


Figure IV.4. Phase 4 : 8<sup>1/2</sup>

IV.2.3. Résultats du calcul

On donne les résultats finals du calcul dans le tableau ci-dessous :

Phases	Débit [l/mn]	Puissance hydraulique [HP]	Puissance mécanique [HP]	Perte de charge [kPa]
Phase 1 : 26"	3700	1332,29	1558,23	16113,46
Phase 2 : 16"	3300	1520,28	1778,1	20615,86
Phase 3 : 12 <sup>1/4</sup>	3000	1840,6	2152,75	27455,61
Phase 3 : 8 <sup>1/2</sup>	2270	3247,04	3797,71	64011,01

Tableau IV.2. Résultats du calcul et vérification pour les 4 phases de forage

Interprétation des résultats

- On constate que la perte de charge augmente à chaque phase même que le débit réel diminue, à cause de certains facteurs traités après.
- Le choix de la pompe qui doit répondre aux paramètres exigés (puissance, débit, pression) par le forage du puits est la pompe triplex du type **BMPT-1600-ACR-7.5"x12** à simple effet .Avec l'utilisation d'un groupe des pompes on pourra assurer une continuité de la circulation sans arrêt.

IV.2.4. Nombre de pompe dans chaque phase :

Détermination de nombre de coups par minute pour chaque phase :

Dans le site H.M, la pompe travaille avec un seul chemisage (6") pour toutes les phases ; ce qui entraîne la variation de nombre de coups par minute de la pompe donnée par la formule suivante :

$$N = \frac{Q}{Q_{unitaire}}$$

<i>Phase</i>	26	16	12 <sup>1/4</sup>	8 <sup>1/2</sup>
<i>(Coups/mn)</i>	222	198	184	136

Tableau IV.3. Résultats de nombre de coups par minute pour chaque phase

On note que vitesse maximale de la pompe est 120 coups/mn; donc il faut diviser le nombre de coups de chaque phase par l'utilisation de deux pompes installées en parallèle pour assurer le débit requis.

**IV.2.5. Calcul du diamètre de la chemise de chaque phase :**

Le diamètre de la chemise est calculé d'après la formule suivante :

$$Di = \sqrt{\frac{K \times Q}{r \times C \times N}}$$

Où,

**Di** : Diamètre intérieur de la chemise [m] ;

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

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

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

**C** : Course du piston C = 0,3048 m ;

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

Les résultats de calcul du diamètre de chemise pour chaque phase sont donnés dans le tableau ci-dessous :

<b>Phase</b>	26	16	12 <sup>1/4</sup>	8 <sup>1/2</sup>
<b>Diamètre de chemise (mm)</b>	154 ,2	147,2	138,89	120,80

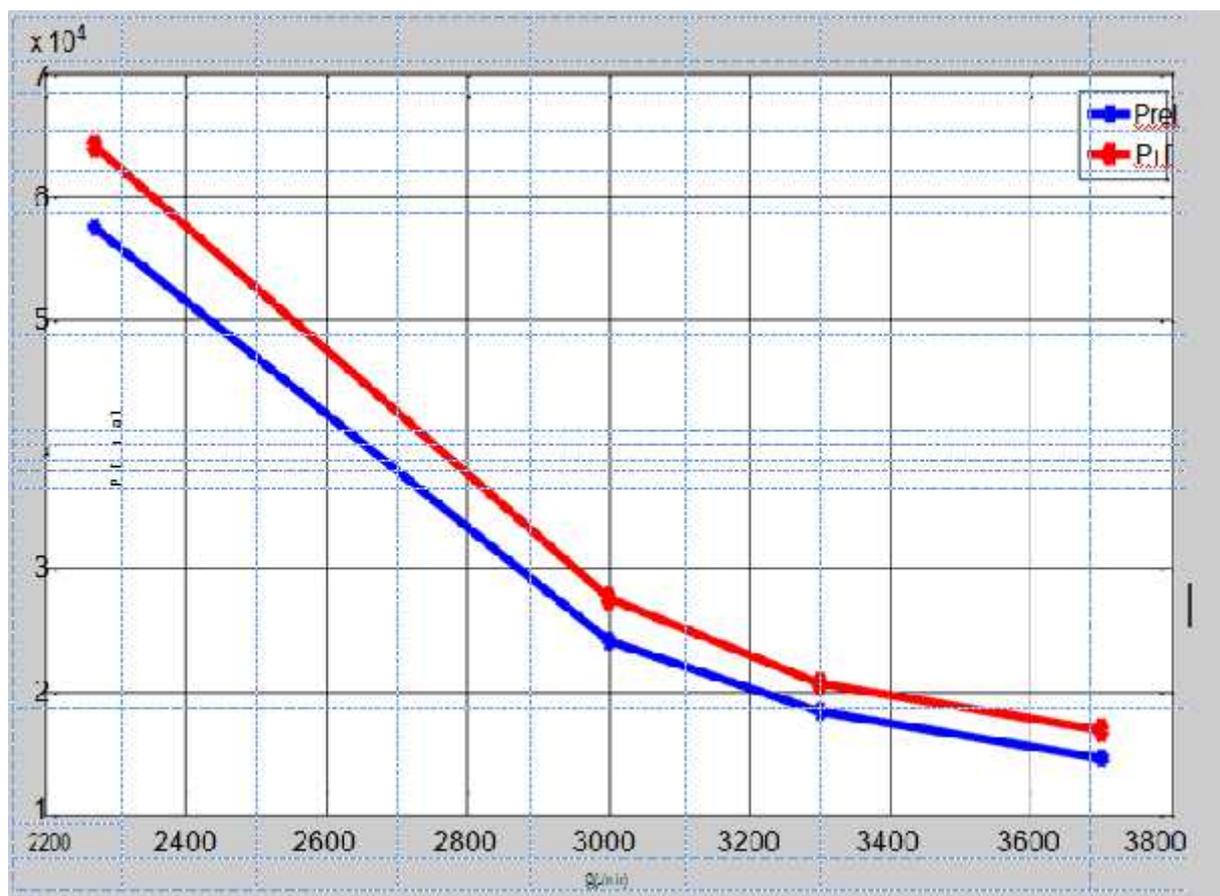
**Tableau V.4. Les résultats de calcul du diamètre de chemise pour chaque phase**

**V.2.6. Comparaison entre les pertes de charge totale théorique et les pertes de charge Réel dans chaque phase**

Le tableau ci-dessous exprime les pertes de charge théorique et réelle dans chaque phase de forage à l'aide de logiciel Matlab (Voir Annexe)

Les Phases	Les pertes de charge théorique (KPA)	Les pertes de charge réelle (KPA)
Phase 26''	16113,46	14502
Phase 16''	20615,86	18348
Phase 12'' <sup>¼</sup>	27455,61	24161
Phase 8'' <sup>½</sup>	64011,01	57610

**Tableau IV.5. Les pertes de charge théorique et réelle dans chaque phase de forage**



**Figure IV.5. Comparaison entre les pertes de charge théorique et réelle dans chaque phase.**

D'après le calcul des pertes de charges théorique dans chaque phase, on a déterminé les puissances mécanique et hydraulique de la pompe. Dans les dernières phases on cherche une grande pression pour maintenir les fluides de formation a haut pression alors le chemisage de la pompe doit être convenable pour assurer cette pression.

Dans la première phase on cherche un grand débit pour évacuer la grande quantité de déblais.

On a fait une comparaison entre les pertes de charge théoriques et réel, on a remarqué que il y a une différence de 10 a 13 % a cause de différence entre le diamètre calculer et le diamètre normaliser de la chemise et le rendement de la pompe n'est pas a 100%.

### IV.3. Calcul du volume de boue pour toutes les phases au niveau des puits MDZ664

Le calcul d'un volume de boue pour une phase d'un puits est donné par la formule suivante [19] :

***Volume de boue = Volume de trou + Volume surface + Volume de réserve.***

#### 1-Volume du trou de forage : $V_{tr}$ ( $m^3$ )

$$V_{tr} = \frac{\pi * D_{tr}^2 * H_{tr} * K}{4}$$

D : Diamètre de trou (m)

H : Profondeur de trou (m)

K : Coefficient de cavitité (trou ouvert)  $1.25 < K < 1.5$ .

#### 2-Volume de la surface ( $m^3$ ) :

C'est le volume de boue de toute l'installation de surface (flexible, colonne montante).

#### 3-Volume de réserve $V_{rés}$ ( $m^3$ ) :

Lors du calcul du volume de boue, on doit tenir compte des pertes de boue (pertes partielles ou totales).

$V_{rés} = V_{tr}$  : dans la 1ère phase à cause des pertes de boue importantes (partielles ou totales)

$V_{rés} = V_{tr} / 2$  : dans le cas où il n'y aurait pas de pertes.

**IV.3.1. Calcul du volume de boue pour la phase 26" (0 – 488 m)**

$$V_{t1} = \frac{\pi * D_{t1}^2 * H_{t1} * K}{4}$$

$$D_{t1} = 26" = 0.6604 \text{ m}$$

$$H_{t1} = 488 \text{ m}$$

$$K = 1.25$$

$$V_S = V_{déc} + V_C + V_g$$

$$V_{t1} = 208.84 \text{ m}^3$$

$$V_d : \text{Volume de décantation} = 41 \text{ m}^3$$

$$V_C : \text{Volume de circuit} = 41 \text{ m}^3$$

$$V_g : \text{Volume de la goulotte} = 4 \text{ m}^3$$

$$V_S = 91 \text{ m}^3$$

$$V_{rés} = V_{tr1} \Rightarrow \text{perte totale}$$

$$V_{T1} = V_{t1} + V_{rés} + V_S$$

$$V_{T1} = 2V_{t1} + V_S$$

$$V_T = 516 \text{ m}^3$$

**IV.3.2. Calcul du volume de boue pour la phase 16" (488 – 2391 m)**

D'après la figure IV.6. On aura :

$$V_{T2} = V_{t1} + V_{t2}$$

$$V_{t1} = \frac{\pi}{4} * D_{t1}^2$$

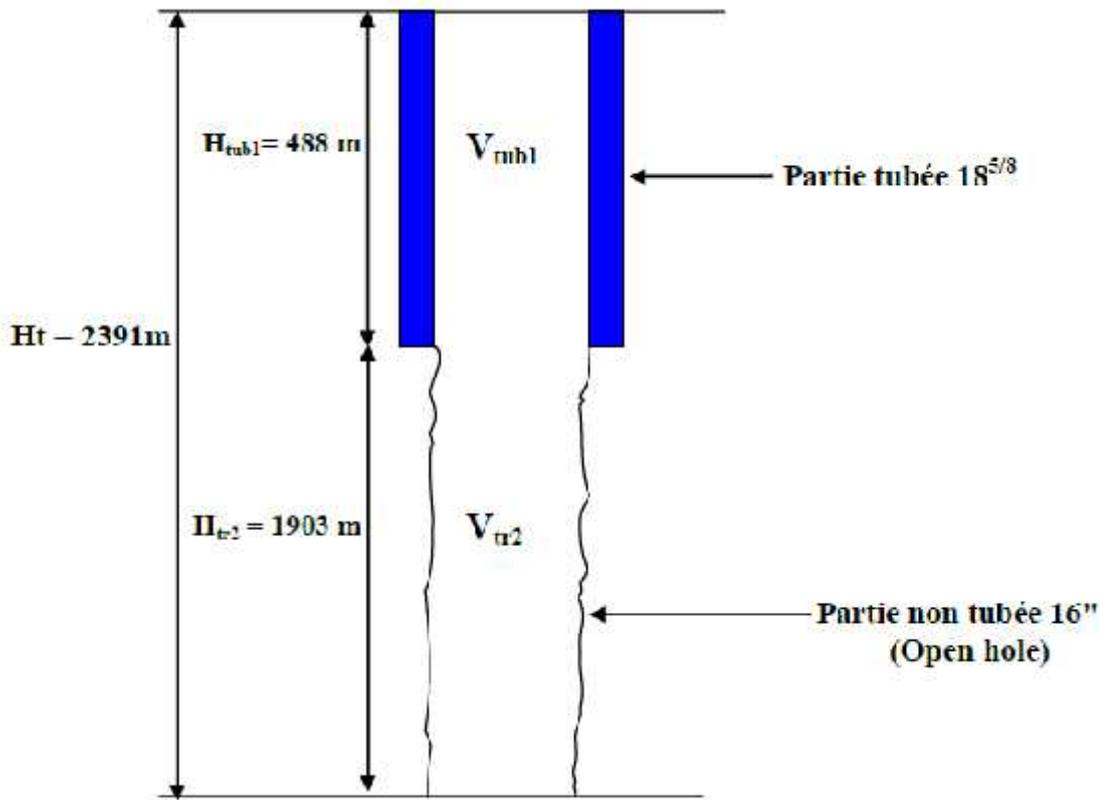


Figure IV.6. Calcul du volume de boue pour la phase 16" (488 – 2391 m)

$$V_{T2} = V_{t_1} + V_{t_2}$$

$$D_{t_1} = 18^{5/8} = 0.473\text{ m}$$

$$H_{t_1} = 488\text{ m}$$

$$V_{t_1} = 8.7\text{ m}^3$$

$$V_{t_2} = \pi/4 * D_{t_2}^2 * H_{t_2} * K$$

$$D_{t_2} = 16" = 0.4064\text{ m}$$

$$H_{t_2} = 1903\text{ m}$$

$$V_{t_1} = 3.4\text{ m}^3$$

$$V_{t_2} = 3.1\text{ m}^3$$

$$V_{rés} = \frac{1}{2} V_{t2}$$

$$V_{T2} = V_{t2} + V_{rés} + V_S$$

$$V_{T2} = 3/2 V_{t2} + V_S$$

$$V_S = 91 m^3$$

$$V_T = 6.1 m^3$$

**IV.3.3. Calcul du volume de boue pour La phase 1<sup>1/4</sup> (2391 – 3238 m)**

$$V_{t23} = V_{t2} + V_{t3}$$

$$D_{t2} = 13^{3/8} = 0.3397 \text{ m}$$

$$H_{t2} = 2391 \text{ m}$$

$$V_{t2} = 216.59 m^3$$

$$V_{t3} = \pi/4 * D_{t3}^2 * H_{t3} * K$$

$$D_{t3} = 121/4 = 0.311 \text{ m}$$

$$H_{t3} = 847 \text{ m}$$

$$V_{t3} = 80.39 m^3$$

$$V_{t23} = 296.98 m^3$$

$$V_{rés} = \frac{1}{2} V_{t23}$$

$$V_S = 91 m^3$$

$$V_{T3} = V_{t23} + V_{rés} + V_S$$

$$V_{T3} = 3/2 V_{t23} + V_S$$

$$V_T = 5.4 m^3$$

IV.3.4. Calcul du volume de boue pour La phase 8<sup>3/8"</sup> (3238 – 3376 m)

$$V_{t\ 4} = V_{t\ 3} + V_{t\ 4}$$

$$V_{t\ 3} = \frac{\pi}{4} * D_{t\ 3}^2 * H_{t\ 3}$$

$$D_{t\ 3} = 9^{5/8"} = 0.2444m$$

$$H_{t\ 3} = 3238m$$

$$V_{t\ 3} = 151.83m^3$$

$$V_{t\ 4} = \frac{\pi}{4} * D_{t\ 4}^2 * H_{t\ 4} * K$$

$$D_{t\ 4} = 8^{3/8"} = 0.2127m$$

$$H_{t\ 4} = 138m$$

$$V_{t\ 4} = 6.13 m^3$$

$$V_{rés} = \frac{1}{2} V_{t\ 4}$$

$$V_{T4} = V_{t\ T4} + V_{rés} + V_S$$

$$V_{T4} = 3/2 V_{t\ T4} + V_S$$

$$V_S = 91m^3$$

$$V_T = 3.9 m^3$$

Le calcul du volume de boue dans le forage pétrolier est une étape prépondérante pour des raisons suivantes :

### 1- Pour le chef de poste

Les niveaux de la boue dans les bassins de circulation ou de réserve sont surveillés par le foreur pour les raisons suivantes :

- La valeur absolue des niveaux renseigne le chef de poste sur la disponibilité en boue et lui permet donc de déclencher à temps les transferts de boue de réserve, d'éviter ainsi le désamorçage des pompes de forages et d'avoir en surface de quoi remplir le puits en cas de manœuvre.
- En cours de forage, une variation du niveau des bassins actifs entraîne toujours une action ou même une alerte immédiate (**c'est en effet la première preuve d'une instabilité des pressions dans le Trou**).
- En particulier, en l'absence de bac de manœuvre, le remplissage du puits peut être suivi sur un des bassins de forage.
- Les transferts entre bassins actifs et bassins de réserve ou de fabrication doivent être clairement identifiables sur les indicateurs pour ne pas déclencher d'alerte intempestive.
- En pratique, toute variation anormale du niveau des bassins doit d'abord amener à une vérification de l'installation de surface et à une recherche des anomalies éventuelles.

## 2- Pour les responsables du puits

Les responsables du puits, et en particulier le géologue, peuvent tirer des renseignements précieux des indications de niveaux.

Suivant le type de perméabilité des réservoirs (**perméabilité matricielle ou perméabilité de fissures**), il peut se manifester des pertes partielles souvent instables, dont il faudra tenir compte lors de l'interprétation ultérieure des tests et des logs électriques (**évaluation des zones envahies**).

Les modifications de circuit et les manipulations sur le volume en circulation (**ajout de boue neuve, mise en service de bassins différents, etc ...**) entraînent des variations des mesures effectuées sur la boue : température surtout, mais aussi conductivité, fond gazeux dans certains cas. Ces variations ne peuvent être expliquées que si les informations sur les différents niveaux sont claires et complètes.

Pour faciliter l'exploitation ultérieure, l'enregistrement des niveaux des bassins doit être "habillé" en notant avec le plus grand soin toutes ces modifications ou manipulations.

A noter que l'absence de variation peut être quelquefois un "faux calme", lorsque plusieurs facteurs jouent en sens inverse et annulent leurs effets.

## Conclusion générale

---

L'étude présentée nous permet d'approfondir nos connaissances dans les domaines des équipements de forage en général et sur un organe essentiel dans ce domaine qui est la pompe à boue ainsi que la boue de forage.

Particulièrement avec l'augmentation de la profondeur forée. La boue qui contient des particules de terrains découpées fait provoquer une usure par abrasion des pièces frottantes, ce qui exige le bon fonctionnement des dispositifs d'épuration à chaque remontée de boue à la surface. Les pompes de forage sont les consommateurs principaux de la puissance consommée par l'installation de forage, il fonctionne dans des conditions difficiles.

En plus des paramètres de fonctionnement (pression et débit) liés aux phases de forage, une pompe à boue doit être souple, robuste, facile à entretenir et possédant une durée de service longue. Néanmoins durant le fonctionnement, les opérations de visite et de remplacement des pièces à usure rapide est nécessaire pour augmenter la longévité et la fiabilité de la machine.

Le calcul des pertes des charges réalisées, conformément au programme de forage du puits donné, montre que le choix de la pompe triplex à simple effet **BMPT-1600-ACR-7.5"x12"** est satisfaisant, elle s'adapte convenablement aux conditions de ce forage.

Après avoir passé en revue les différents rôles de boue, il apparaît nécessaire de connaître le model d'écoulement et les caractéristiques physique de boue. C'est pourquoi nous insistons sur les mesures de la boue à l'aide des différentes appareilles de mesure. Le calcul de volume est aussi le devoir de connaître le montant à être utilisé pour le processus de forage.

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

## Bibliographie

---

### *Ouvrages et articles :*

- [1] **M, Zinsalo Joël.** Pompes et station de pompage.
- [2] **Baker Hughes INTEQ,** Fluid Facts Engineering Handbook, 1995.
- [3] **S. ABBOT et all.** *Drilling fluids.* Inc Baroid, 1997, 506p
- [4] **M. DADDOU.** *Introduction aux fluides de forages.* Module FFF: division forage, SONATRACH, 2009, 193p.
- [5] **M, Zinsalo Joël.** Pompes et station de pompage. Ecole polytechnique d'Abomey Calavi.1999
- [6] **DRIDI SAMIR et YAKOBI OMAR.** « Etude et maintenance d'une pompe à boue (1400 PT) » université Mohammad bougera Boumerdes 2005.
- [7] **Bala Abdesselam, Bezai Abdelhamid et Belfar Mohamed lamine,** *ETUDE ET DIMENSIONNEMENT DE LA POMPE A BOUE TRIPLEX, UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA ,2015*
- [8] **François MOUCHY,** *La fonction maintenance,* 2eme édition, édition MASSON, paris 1996.
- [9] **J.P. Bernhard.** *Historique et principe du forage Tom I ;* Edition, A.P.I. 1955.
- [10] **A. BLEND.** *Cours de forage équipement de forage tome 1- planches,* Édition technip.
- [11] **R. BOULASSEL, A. TAZDAIT ;** *Etude Et Analyse Statistique De La Fiabilité Dans La Maintenance Aéronautique,* P.F.E Ingéniorat RO ; DPT MATHEMATIQUE, UNI VERSITE DE BLIDA .1996.
- [12] **A. ILSKI, V. KASSIANOV, V. POROCHINE ;** *Machines mécanismes et installations de forage ;* Edition, Ecole supérieur Moscou.

## Bibliographie

---

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

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

### ***Documents de la SONATRACH :***

[15] Documentation de l'entreprise ENTP, titre catalogue technique, 2008.

[16] ENAFOR, Document sur la pompe à boue sur chantier ENF 24

[17] Division forage SONATRACH, TOM 1, 2,3,4 division forage SONATRACH

[18] Programme de forage puits WTP1 ; Manuel d'utilisation ENTP

[19] Document IFP France –Institut de pétrole

[20] Livre well control, ENTP-SONATRACH

[21] Document chantier TP127 ENTP-SONATRAH

[22] “Présentation de L'ENTP” Document de SH-ENTP, 2017.

[23] Les revues (Documents ENTP-SONATRACH) :

N 87 Février 2017

N 89 Mars 2018.

**Programme de calcul avec MTLAB :**

```

%calcul et vérification de la pompe a boue
clear all; clc
format long
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Calcul de perte de charge a l'intérieur de la garniture%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%1-Tool-joint
d=[1.05 1.3 1.3 2.03]
mu=[77 53 64 69]
Dtj=input('Dtj=')
Ldp=[75.05 603.95 2308.7 3903]
Q=[3700 3300 3061 2270]
for i=1:length(Ldp)
Ltj(i)=0.05*Ldp(i)
end
for i=1:length(Ldp)
B(i)=d(i)^0.8*mu(i)^0.2
Ptj(i)=Q(i)^1.8*Ltj(i)*B(i)/(901.63*Dtj^4.8)
end
plot(Ltj,Ptj); grid on
%2Interieur de Tige
Ddp=input('Ddp=')
for i=1:length(Ldp)
B(i)=d(i)^0.8*mu(i)^0.2
Pdp(i)=Q(i)^1.8*Ldp(i)*B(i)/(901.63*Ddp^4.8)
End
plot(Ldp,Pdp); grid on
%3Interieur Tigelourde
Dhw=input('Dhw=')
Lhw=input('Lhw=')
for i=1:length(Ldp)
B(i)=d(i)^0.8*mu(i)^0.2
Phw(i)=Q(i)^1.8*Lhw*B(i)/(901.63*Dhw^4.8)
End
%4Interieur de masse-tige
Ldc=[124.84 143.23 124.48 244.87]
Ddc=input('Ddc=')
for i=1:length(Ldc)
B(i)=d(i)^0.8*mu(i)^0.2
Pdc(i)=Q(i)^1.8*Ldc(i)*B(i)/(901.63*Ddc^4.8)
end

```



## Annexes

```
C=input('C=')
A=[1.052 0.994 1.0370 0.902]
for i=1:length(d)
Pt(i)=d(i)*Q(i)^2/(2959.41*C^2*A(i)^2)
end
%%%
%%% calcul perte de charge au niveau des équipements du surface
%%%
N1=[378 259 161 161]
for i=1:length(B)
Ps(i)=N1(i)*B(i)
end
disp('')
disp('la somme des pertes de charge')
disp('')
for i=1:length(Ptj)
Prf(i)=Ptj(i)+Pdp(i)+Phw(i)+Pdc(i)+Pedp(i)+Pehw(i)+Pedc1(i)+Pedc2(i)+Ptdp(i)+Pt(i)+Ps(i)
end
%%%
%%% puissance mécanique et hydraulique
%%%
num=input('num=')
nut=input('nut=')
for i=1:length(Prf)
Pm(i)=Prf(i)*Q(i)/(num*nut*44750)
end
for i=1:length(Pm)
Ph(i)=Pm(i)*num*nut
end
%%%
%%% Diamètre de la chemise
%%%
k=input('k=')
a=input('a=')
c=input('c=')
N=input('N=')
Qi=[0.03 0.0275 0.025 0.0189]
for i=1:length(Qi)
D(i)=sqrt(k*Qi(i)/(a*c*N))
end
Prel=[14502 18348 24161 57610]
plot(Q,Prel,Q,Prf,'r'), grid on
```