

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

**Faculté des Hydrocarbures, des Energies Renouvelables, des Sciences de la Terre et de
l'Univers**

Département de Forage et mécaniques des chantiers pétroliers



**Mémoire
MASTER PROFESSIONNEL**

**Domaine : Hydrocarbures
Filière : Hydrocarbures
Spécialité : Forage**

Présenté par :

- Amara Adlane
- Lemita Oussama
- Haouam housseem eddine

Thème

***Etude et dimensionnement
d'une pompe à boue***

**Soutenu publiquement
le : 2 /05/2016**

Devant le jury :

M. REZAGUIA ISSAM	Président	UKM Ouargla
M. MEBROUK RIDHA	Encadreur	UKM Ouargla
Mme. REZAGUIA YAMINA	Examineur	UKM Ouargla

Année Universitaire : 2015 /2016

REMERCIEMENTS

En premier lieu, je tiens à remercier notre DIEU, notre Créateur pour nous avoir donné la force pour accomplir ce travail.

Nous tenons à remercier aussi très chaleureusement notre encadreur, le Docteur MEBROUK Ridha pour avoir accepté de diriger notre travail, pour son esprit d'ouverture et sa disponibilité, pour son aide et ses prodigieux conseils pour développer le présent mémoire avec succès.

Merci Professeur pour votre volonté, votre conscience professionnelle et votre sérieux.

Nous remercions toutes les personnes qui nous ont aidées de près ou de loin à la finalisation de ce travail, nous tenons à leur exprimer notre vive gratitude.

Enfin, nos remerciements à l'ensemble des Enseignants du Département de Forage et Mécaniques des Chantiers Pétroliers.

DEDICACE

Je tiens à dédier ce mémoire :

A ma très chère **Mère** et à mon cher **Père**, en témoignage et en gratitude de leurs dévouement, de leurs soutien permanent durant toutes mes années d'études, leurs sacrifices illimités, leurs réconfort moral, eux qui ont consenti tant d'effort pour mon éducation, mon instruction et pour me voir atteindre ce but, pour tout cela et pour ce qui ne peut être dit, mes affectations sans limite.

A ceux qui sont la source de mon inspiration et mon courage, à qui je dois de l'amour et de la reconnaissance :

A mes chers Frères : mostefa ayoub,elmouaatassem billah, mes Chères Sœurs .

A toute ma famille.

A mes chers Amis et mes frères Lies pour tous les moments de joies et de peines qu'on a passé ensemble :Omar,Djemia.

A mes Voisins et à mes Amis (es) surtout ceux qui ont supporté mes sauts d'humeur.

A ceux qui ont cru en moi,

A ceux qui croient en moi,

Et à ceux qui croiront toujours en moi.

A vous tous un grand merci.

Oussama

Dédicaces

Je tiens à dédier ce mémoire :

A ma très chère **Mère** et à mon cher **Père**, en témoignage et en gratitude de leurs dévouement, de leurs soutien permanent durant toutes mes années d'études, leurs sacrifices illimités, leurs réconfort moral, eux qui ont consenti tant d'effort pour mon éducation, mon instruction et pour me voir atteindre ce but, pour tout cela et pour ce qui ne peut être dit, mes affectations sans limite.

A ceux qui sont la source de mon inspiration et mon courage, à qui je dois de l'amour et de la reconnaissance :

A mon cher Frère **Qoteyba** :, ma Chère Sœur **Rihem**,

A toute ma famille.

A mes Voisins et à mes Amis (es) surtout ceux qui ont supporté mes sauts d'humeur.

A ceux qui ont cru en moi,

A ceux qui croient en moi,

Et à ceux qui croiront toujours en moi.

A vous tous un grand merci.

Houssam eddine

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

A ma très chère Mère et mon très cher Père

Et à ma chère sœur.

A mes grands-parents, à tous mes oncles, à toutes mes tantes, à tous mes cousins et mes cousines.

A toute la famille AMARA et FARES.

A ceux qui m'ont toujours encouragé pour que je réussisse dans mes études.

A ceux qui ont veillé pour mon bien-être.

A ceux qui m'ont soutenu dans les moments les plus difficiles de ma vie.

A ceux que j'aime et je respecte infiniment.

Le jour est venu pour leur dire Merci...

A tous mes amis qui ont toujours été présents et qui n'ont ménagé aucun effort pour me faire bénéficier de leur aide et de leurs suggestions.

AMARA Adlane

Liste des abréviations

<i>dimension</i>	<i>unité</i>	<i>signification</i>
<i>A</i>	<i>in²</i>	Surface totale des duses d'outil.
<i>d</i>	<i>kg/ℓ</i>	Masse volumique du fluide.
<i>D</i>	<i>In</i>	Diamètre intérieur garniture.
<i>D₀</i>	<i>in</i>	Diamètre extérieur annulaire.
<i>D_i</i>	<i>in</i>	Diamètre intérieur annulaire (extérieur garniture).
<i>L</i>	<i>m</i>	Longueur.
<i>P</i>	<i>kPa</i>	Pertes de charges, pression.
<i>Q</i>	<i>ℓ/mn</i>	Débit de fluide.
<i>μ</i>	<i>cP</i>	Viscosité de fluide.
<i>B</i>		Coefficient correspond à la boue en circulation
<i>NI</i>		: Coefficient des pertes de charge
<i>P_{TJ}</i>	<i>KPA</i>	Les pertes de charge a l'intérieur de Tool-joint
<i>L_{TJ}</i>	<i>m</i>	La longueur de Tool-joint
<i>D_{TJ}</i>	<i>in</i>	Diamètre intérieur de Tool-joint
<i>P_{DP}</i>	<i>KPA</i>	Les pertes de charge a l'intérieur des tiges
<i>L_{DP}</i>	<i>m</i>	La longueur des tiges

D_{DP}	<i>in</i>	Le diamètre intérieur des tiges
P_{HW}	KPA	Les pertes de charge a l'intérieur des tiges lourdes
L_{HW}	<i>m</i>	La longueur des tiges lourdes
D_{HW}	<i>in</i>	Diamètre intérieur des tiges lourdes
P_{DC}	KPA	Les pertes de charges a l'intérieur des masses tiges
L_{DC}	<i>m</i>	La longueur des masses tiges
D_{DC}	<i>in</i>	Diamètre intérieur des masses tiges
P_t	KPA	Les pertes de charge dans le trépan
P_s	KPA	Les pertes de charge aux équipements de surface
P_{tot}	KPA	Les pertes de charge total
P_m	HP	La puissance mécanique
P_{hr}	HP	La puissance hydraulique
N	<i>coup/mn</i>	Nombre de coups
<i>Pref</i>	KPA	La pression de refoulement
$Q_{unitaire}$	<i>Coup/min</i>	Le débit unitaire
η_m		Rendement mécanique
η_t		Rendement de transmission

Liste des Figures

Fig 1 : Appareil de puits profonds sur terre (on shore).....	4
Fig 2 : Système de circulation de la boue	9
Fig 3 : Pompe à boue en coupe	12
Fig 4 : Partie mécanique.....	13
Fig 5 : L'arbre grande vitesse.....	14
Fig 6 : L'arbre petite vitesse	15
Fig 7 : Système bielle-manivelle	15
Fig 8 : Roulement de Bielle	16
Fig 9 : partie hydraulique.....	18
Fig 10 : Le piston et la tige de piston.....	19
Fig 11 : La chemise.....	19
Fig 12 : Sièges et clapets.....	20
Fig 13 : Système refroidissement de la partie mécanique.....	21
Fig 14 : L'amortisseur de pulsations.....	22
Fig 15 : Principe de fonctionnement des pompes triplex.....	23
Fig 16 : Débit instantané de la pompe triplex à simple effet.....	24
Fig 17 : Phase 1 ^{ère} de forage.....	35
Fig 18 : Phase 2 ^{ème} de forage.....	39
Fig 19 : Phase 3 ^{ème} de forage.....	44
Fig 20 : Phase 4 ^{ème} de forage.....	49
Fig 21 : Comparaison entre les pertes de charge totale théorique et les pertes de charges réelles.....	60

Liste des tableaux

Tableau 1 : Représentation des données de programme.....	34
Tableau 2 : Résultat de calcul.....	56
Tableau 3 : Nombre de coup dans chaque phase.....	57
Tableau 4 : Comparaison entre les pertes de charge totale théorique et les pertes de charge pratique dans chaque phase	59

Sommaire

CHAPITRE I : LE FORAGE ET SYSTEME DE CIRCULATION DE LA BOUE

I.1-Rôle du forage dans l'exploitation pétrolière	2
I.2-Procèdes de forage.....	2
a-Le forage par percussion.....	2
b-Le forage par rotation.....	2
I.3- Principe de forage rotary.....	3
I.4- Installation de forage	3
I.4.1-Le matériel de fond	3
I.4.2- Le matériel de surface	4
a. Les équipements de levage	4
b. Les équipements de rotation	5
c. Les équipements de pompage et de circulation	5
d. Les équipements de sécurité	6
e. Les équipements mécaniques	6
I.5-Description d'un appareil de forage	6
I.6-Classement et puissance des appareils de forage.....	7
I.7-Principaux travaux dans les opérations de forage.....	7
I.8-Système de circulation dans une installation de forage.....	8
I.8.1.Destination et organisation.....	8
I.9-Circuit a basse pression.....	10
I.10-Circuit de haute pression	10

CHAPITRE II :ETUDE DE LA POMPE A BOUE OIL-WELL 12P160

II.1. Destination et exigences générales	11
II.2. Description de la pompe triplex à simple effet « national Oil- Well 12P160 » dans l'appareil de forage TP194.....	12
II.2.1. Construction de la pompe à boue triplex à simple effet.....	12
A. La partie mécanique	13
a. L'arbre grande vitesse	14
b. L'arbre petite vitesse ou vilebrequin	14
c. Système bielle- manivelle	15
d. La crosse et la rallonge de crosse	16
e. Le bâti et le carter	16
f. Les Roulements	16
1. Les roulements des bielles	16
2. Les roulements des crosses	17
3. Les roulements de l'arbre grand vitesse	17
4. Les roulements de l'arbre petite vitesse (vilebrequin).....	17
g. Le système d'entraînement	17
1. Entraînement par moteurs électriques	17
2. Entraînement par poulies et courroies	18
B. La partie hydraulique de la pompe 12P160	18
a. Le corps hydraulique	18
b. Le piston et la tige de piston	18

c. Les chemises	19
d. Les sièges et les clapets	20
II.2.2. Refroidissement de la pompe à boue 12P160	21
II.3. Annexes de la pompe à boue	22
II.3.1. Amortisseur de pulsations type "HYDRIL"	22
A. Principe de fonctionnement	22
II.3.2 Soupape de décharge ou de sécurité	22
II.4. Principe de fonctionnement et débit instantané	23
II.4.1 Principe de fonctionnement	23
II.4.2 Débit instantané	24
A. Débit instantané par cylindre	24
B. Débit instantané de la pompe	24
II.5. Particularités	24
II.5.1- Les pompes de suralimentation	25
II.6. Caractéristiques des pompes à boue	25
II.6.1 La cylindrée	25
II.6.2 La vitesse	25
II.6.3 Le débit	25
A. Le débit théorique	26
II.6.4 Rendements	26
A. Rendement volumétrique	26
B. Rendement mécanique	27
II.6.5. Pression	27

II.6.6. La puissance	27
A. Puissance hydraulique	27
B. Puissance mécanique	27
II.7 Les avantages et les inconvénients de la pompe triplex simple effet	27
II.7.1 Les avantage	27
II.7.2 Les inconvénients	27

CHAPITRE III : Calcul de la pompe OIL WELL 12P160.

III .1. Calcul hydraulique.....	28
III .1.1. Introduction	28
A. Introduction	28
B. Les équations de perte de charge utilisées en forage	29
a. Les pertes de charge aux installations de surface	29
b. Les pertes de charge dans les orifices de trépan	29
c. Les pertes de charge à l'intérieur de la garniture	29
d. Les pertes de charge dans l'espace annulaire	30
C. Calcul des pertes de charge pour chaque phase de forage	31
III .1.2. Calcul de la puissance mécanique	50
III.1.3. Calcul de la puissance hydraulique pour chaque phase	51
III .1.4. Nombre de pompe dans chaque phase	52
III.1.5. Calcul du diamètre de la chemise de chaque phase	54
III .1.6 – Comparaison entre les pertes de charge totale théorique et les pertes de charge Réel dans chaque phase	55
III.2. Programme MATLAB.....	56
III .3. Conclusion	59

INTRODUCTION GENERALE :

Le pétrole et le gaz jouent un rôle fondamental dans l'économie nationale, ils constituent la source la plus importante d'énergie qui a une valeur inestimable.

Pour exploiter ces richesses souterraines, on procède au forage qui est une opération très délicate et la plus coûteuse du processus d'exploitation de cette énergie.

L'objectif prioritaire des foreurs est la réalisation d'un trou, conformément au programme qui leur a été fourni, au meilleur coût possible dans les meilleures conditions techniques.

La répartition des coûts pour un forage à terre, généralement peut se répartir de la façon suivante :

1. Emplacement (génie civil...) : 8 à 12 %
2. Coûts fixes (déménagement, tubages, compagnies de service,...) : 23 à 27 %
3. Coûts proportionnels au temps passé au forage : 55 à 65 %
4. Complétion : 4 à 6 %

La technologie de forage des puits de pétrole et de gaz demande l'emploi d'un matériel complexe de surface et du fond et des outils modernes, ainsi que d'une grande quantité de matériaux.

Dans l'installation de forage on trouve le système de circulation d'un liquide qui est généralement la boue de différentes natures afin d'absorber la chaleur dégagée lors du frottement de l'outil de forage avec les roches et de faire monter les déblais des roches vers la surface par circulation en recyclage. Cette circulation nécessite l'utilisation d'un équipement qui est la pompe volumétrique appelée pompe à boue qui assure un débit important et avec une grande pression.

Le but de notre mémoire est l'étude de système de circulation de fluide de forage, les équipements de pompage, plus particulièrement l'étude de la pompe à boue et un calcul de vérification sera réalisé.

I.1- Rôle du forage dans l'exploitation pétrolière :

Le forage joue un rôle capital dans l'exploitation pétrolière, ce rôle est d'autant plus important que le forage représente dans toute prospection, l'opération la plus onéreuse.

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.

A l'heure actuelle, le rôle de forage augmente toujours si l'on peut admettre que les gisements faciles sont maintenant reconnus on peut aussi avancer en recherchant qu'il reste encore beaucoup de pétrole à découvrir.

Les indices qualitatifs et quantitatifs du forage sont assurés essentiellement par un emploi habile et rationnel de l'équipement et des outils nécessaires.

Le forage est le seul moyen de prouver la présence ou l'absence des hydrocarbures dans une structure donnée.

L'effort de recherche coûte très cher et le forage constitue la phase finale absorbée 60% des dépenses totales dans la recherche des hydrocarbures.

I.2- Procédés de forage :

Il existe deux procédés de forage :

a- Le forage par percussion (battage).

b- Le forage par rotation.

Dans chacun de ces procédés, l'opération peut se faire à sec ou avec injection d'eau ou de boue.

- **Les forages rotary :** est le procédé le plus utilisé de nos jours dans la recherche du pétrole, car il permet d'obtenir les meilleures vitesses d'avancement et surtout, d'atteindre des profondeurs extrêmement élevées (le record actuel est de l'ordre de 7000 mètres).
- **Le forage au battage :** trouve quelques rares applications dans le cas de sondages à faibles profondeurs dans des couches à très faibles pressions.

I.3- Principe de forage rotary :

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

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

- Poids sur l'outil ;
- Rotation de L'outil ;
- Injection d'un Fluide.

Ce sont les masse tiges qui sont vissées au dessus de l'outil, appuient sur celui-ci, ces masse tiges, prolongées jusqu'en surface par des tiges, constituent la garniture de forage. Elle est mise en rotation dans son ensemble grâce à la table de rotation et par l'intermédiaire de la tige d'entraînement (ou Kelly). La totalité de la garniture de forage est percée en son centre afin de canaliser le fluide de forage vers l'outil. Un joint rotatif étanche (tête d'injection) doit couronner la tige d'entraînement et permettre la liaison entre la conduite de refoulement des pompes de forage et l'intérieur de la garniture.

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

L'appareil de forage est complété d'une installation nécessaire aux traitements du fluide de retour en surface

I.4- Installation de forage :

L'installation de forage ou plus généralement le chantier de forage peut être décrit sous forme de deux catégories de matériel (Fig.I.1).

I.4.1- Le matériel de fond :

Cette partie regroupe l'ensemble de la garniture de forage (Drill stem)

- Outil de forage (rock bit) ;
- Tiges de forage (Drill. Pipe) ;
- Masse tiges (Drill collars) ;
- Equipements auxiliaires ;
- Raccords divers

I.4.2- Le matériel de surface ;

Cette catégorie est répartie en plusieurs groupes mettant en œuvre l'outil de forage et assurent la sécurité du puits.

a. Les équipements de levage :

Ils permettent :

- Le contrôle du poids sur l'outil (**OWP**) ;
- Les changements d'outils (**manœuvres de garniture**) ;
- La descente des colonnes de casing (**tubage**) ;
- Les levées et descentes du mât (**DTM**).

Ils sont principalement composés de :

- La structure de mât ;
- Le treuil de forage (**DRAW WORKS**) ;
- Le crochet de levage (**HOCK**) ;
- Câble de forage (**DRILING LINE**) ;
- Le poste de commande et de contrôle.

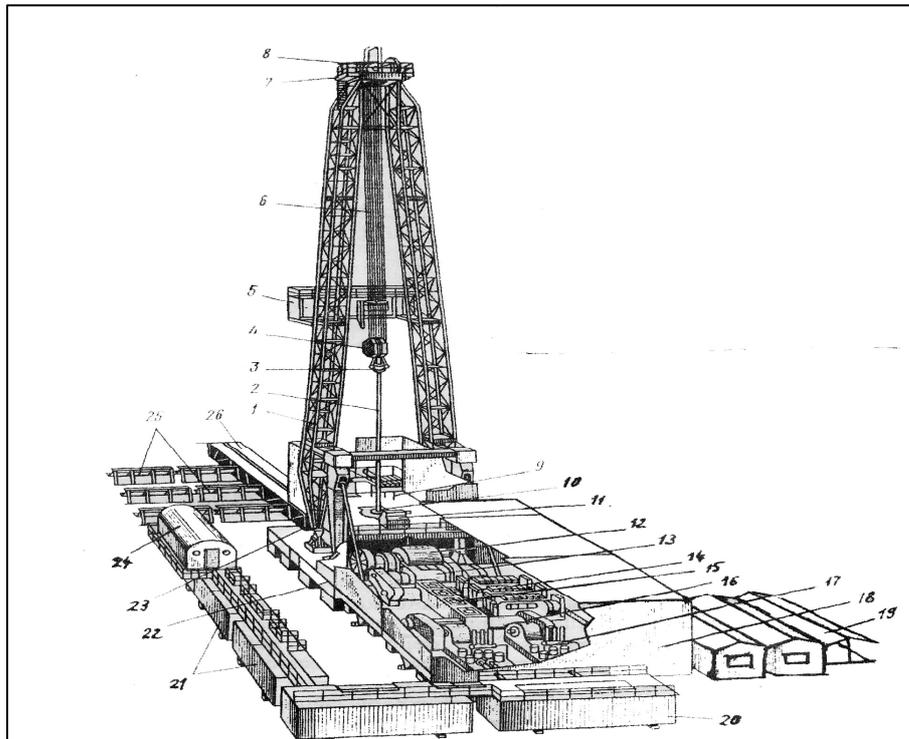


Fig.1 Appareil de puits profonds sur terre (on shore)

1-pied du mat, 2-train de sonde, 3- élévateur, 4- moufle mobile, 5- passerelle d'accrochage, 6- câble de forage, 7- plate-forme, 8- moufle fixe, 9- plancher de gerbage, 10- table de rotation, 11- treuil auxiliaire (cabestan), 12- treuil principal, 13- boîte de vitesses, 14- moteurs (groupe de force), 15-transmission de force (sortie des moteurs), 16- transmission des pompes de forage, 17- pompes de forage, 18- cache des du groupe de force, 19- constructions d'habitation, 20 et 21- bacs a boue de forage, 22 et 23- plancher du groupe de force et de la table de rotation, 24- bloc de décantation de la boue, 25- tréteaux pour tiges de forage, 26- pont.

b. Les équipements de rotation :

Ils sont principalement composés de :

- La table de rotation (**ROTARY TABLE**) ;
- Le carré d'entraînement (**KELLY DRIVE BUSHING**) ;
- La tige d'entraînement ;
- Le raccord d'usure de la Kelly (**KELLY SAVER SUB**) ;
- La tête d'injection (**SUIVEL**).

Ils assurent la rotation de l'outil de forage par l'intermédiaire du train de sonde.

c. Les équipements de pompage et de circulation :

Ils sont principalement composés de :

- Bacs à boue (**MUD TANKS**) ;
- Mixeurs ;
- Agitateurs ;
- Mitrailleuses de fond et de surface ;
- Tamis vibrants ;
- Déssableurs ;
- Déssilteurs ;
- Centrifugeuses ;
- Dégazeurs ;
- Les Clay – jectors ;
- Les pompes à boue ;
- Les conduites d'aspiration et vannes ;
- Les conduites de refoulement ;
- Le flexible d'injection.

Ces équipements assurent la fabrication, le pompage et la circulation ainsi que le traitement mécanique des fluides de forage.

d. Les équipements de sécurité :

Les équipements de sécurité sont constitués de :

- L'accumulateur de pression.
- Le manifold de duses.

Ils assurent la sécurité de puits.

e. Les équipements mécaniques

On distingue-les :

- Moteur de groupe de force.
- Moteur de groupe électrogène.
- Compresseurs.

Ils fournissent l'énergie nécessaire au fonctionnement de sonde.

I.5- Description d'un appareil de forage :

Le trépan est donc entraîné dans son mouvement de rotation au fond de trou par une colonne de tiges creuses vissées les unes aux autres.

A l'extrémité supérieure de ce train de tige et à hauteur du plancher de la tour du sondage se trouve la tige d'entraînement qui est creusée également, mais de section extérieure carrée ou hexagonale et passe en travers de la table de rotation par laquelle elle est entraînée.

La table de rotation est elle-même entraînée par son propre moteur électrique, l'ensemble du train de sonde, est suspendue au crochet de levage par l'intermédiaire de la tête d'injection qui joue le rôle de palier de rotation pour l'ensemble du train de sonde, elle comprend une partie mobile solidaire du train de sonde et une partie fixe solidaire au crochet.

Ce crochet de levage peut être manœuvré de haut en bas du mât grâce à un système de mouflage composé d'un moufle mobile auquel est suspendu le crochet et d'un moufle fixe en haut du mât.

Le brin libre de câble va s'enrouler sur le tambour du treuil de forage lequel est entraîné par deux moteurs électriques par l'intermédiaire d'un jeu de transmission et d'embrayages.

Une injection continue de boue dans le trou est assurée pendant toute la durée du forage des pompes qui aspirent la boue à partir bacs et la refoule par l'intermédiaire de la colonne montante au flexible d'injection dans l'intérieur du train de sonde. La boue descend ainsi jusqu'au fond du trou, sort par les événements de trépan et remonte par l'espace annulaire compris entre les tiges et le trou foré.

Cette boue qui remonte du fond du trou est chargée de déblais de forage aussi dès son arrivée à la surface, passe sur les équipements d'épuration et de la préparation jusqu'au bac d'aspiration.

Aux deux tiers environs du mât se trouvent la passerelle d'accrochage qui sert au gerbage et de gerbage des tiges et masses tiges lors de la manœuvre et l'ajout des tiges.

I.6- Classement et puissance des appareils de forage :

On classe en générale les appareils de forage rotary on quatre catégories qui sont définies par les profondeurs limitées qu'ils peuvent atteindre.

- **Les appareils légers :**

Pour des profondeurs inférieurs à 1200 m : Ces appareils sont le plus souvent portables ou semi - portables.

- **Les appareils moyens :**

Pour des profondeurs comprises entre 1200 et 2500 m.

- **Les appareils lourds :**

Pour les appareils comprises entre 2500 et 4000 m.

- **Les appareils ultra – lourds :**

Pour des profondeurs supérieures à 4000 m.

Ces performances de profondeur se traduisent par un poids au crochet de levage compte tenu des poids des garnitures. On peut évaluer la puissance maximale qui devra développer le treuil de forage, c'est pour cela que dans la profession lorsque l'on veut déterminer un appareil de forage on ne s'intéresse qu'à la puissance de treuil.

I.7- Principaux travaux dans les opérations de forage :

Au cours du forage d'un puits, on effectue les travaux suivants :

- Transport de l'équipement de forage et son montage sur le lieu de travail.
- La réalisation du forage propre ou la réalisation de la procédure de destruction des roches.
- L'injection du liquide de forage pour le balayage du fond du puits et la remontée de déblais forés jusqu'à la surface.
- La descente, le rallongement et la remontée de la garniture de forage.
- Opération de mesure.
- Le montage et démontage des treuils de sonde.
- Le remplacement de câble de forage.
- La réparation et le graissage du matériel.

- La réalisation des pannes et l'élimination des défauts qui ont lieu lors du forage.
- L'essai et le complément de forage du puits.
- Le démontage de l'installation de forage et de tous les équipements pour les transporter sur un autre lieu.

I.8- Système de circulation dans une installation de forage :

I.8.1. 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 en 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. (**fig.2**).

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 renvoyer le liquide de la tête de puits dans les réservoirs de recueil des pompes, à 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.

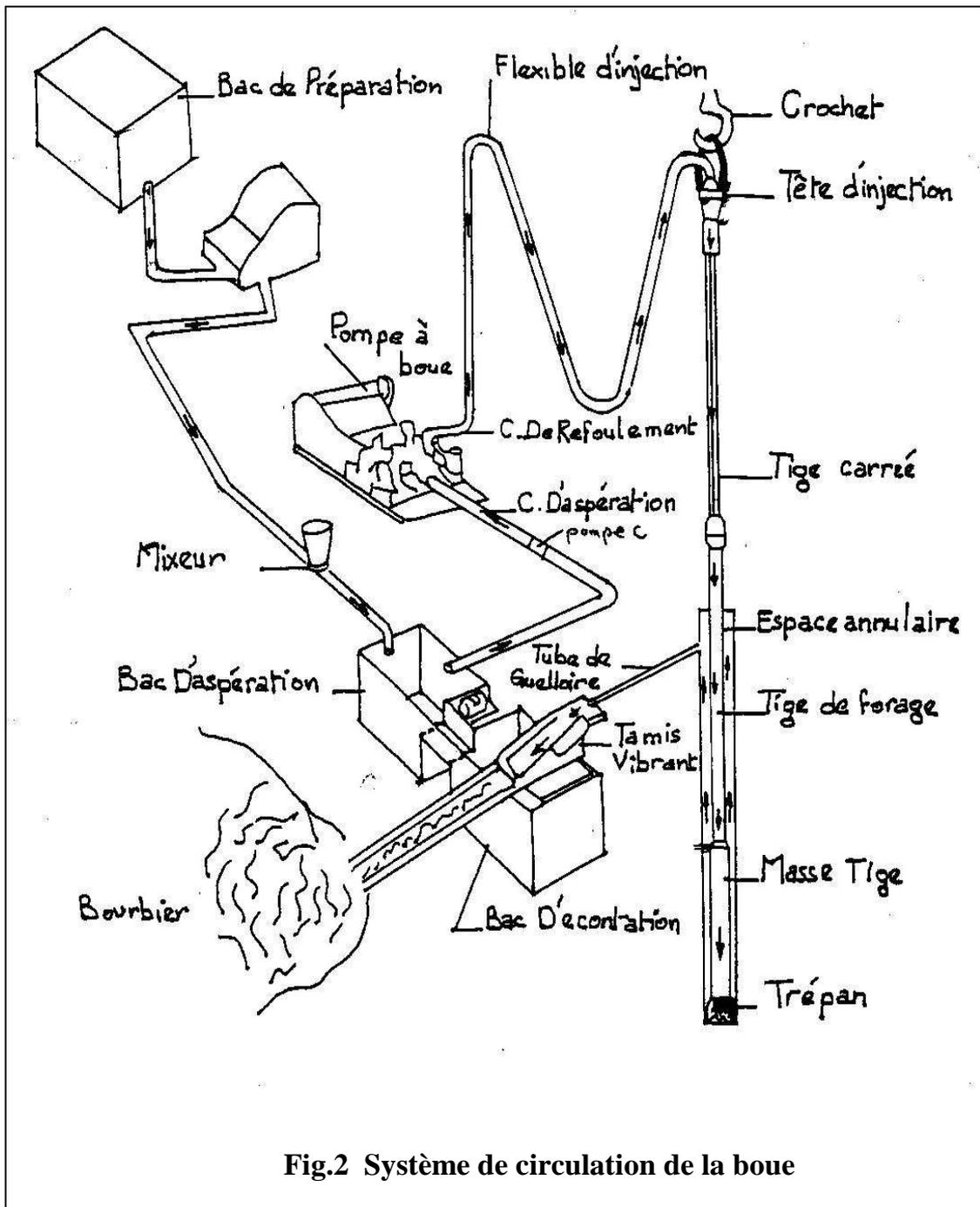


Fig.2 Système de circulation de la boue

I.9- Circuit a basse pression :

Commence de la gueule de puits jusqu'à la conduite d'aspiration des pompes de forage.

- Les goulottes ;
- Dispositifs de dessalage de la boue ;
- Tamis vibrant ;
- Tamis convoyeur ;
- Hydro cyclones ;
- Séparateur ;
- Dégazeur ;
- Les centrifugeuses ;
- Les mixers (mélangeurs hydrauliques) ;
- Les agitateurs à hélices ;
- Les bacs de circulations ;
- Les bacs de réserve ;
- Les bacs de décantation ;
- Les bacs de traitement ;

I.10- Circuit de haute pression :

Ce circuit commence de la conduit de refoulement des pompes de forage jusqu'au raccorde fileté de la tige d'entraînement.

Ce circuit comprend le matériel suivant :

- amortisseur de pulsation ;
- Soupape de décharge ;
- La ligne de refoulement. ;
- Les flexibles ;
- Les vannes ;
- La colonne montante ;
- Tête d'injection.

II.1. Destination et exigences générales :

Les pompes de forage sont les consommateurs principaux de la puissance consommée par l'installation de forage. A l'heure actuelle, le forage d'un puits profond s'effectue à une pression de 25 à 30 MN/m² développée à la sortie des pompes de forage et au débit des pompes au début du forage de 50 à 80 l/mn. Pour le forage réalisé dans des constructions pareilles on utilise les pompes dont la puissance est égale à 500-800 kW. Il y a des pompes dont les puissances atteignent 1000 à 1500 KW, elles peuvent créer une pression de 35 MN/m².

Le poids de toute l'installation de forage est déterminé à un fort degré par le poids du groupe de pompage. Le rendement et les qualités économiques d'une installation de forage dépendent considérablement de la construction de son groupe de pompage.

Les pompes de forage fonctionnent dans des conditions défavorables. La boue de forage contient des particules de terrain qui ont une dureté proche de celle des pièces en acier trempée de la pompe. Ces particules provoquent une usure par abrasion des pièces frottantes. Cette usure intense à de grandes vitesses de passage de la boue, qui se crée dans les dispositifs d'étanchéité.

La boue de forage contient de différents réactifs (chaux, soude caustique, acide) et le pétrole, qui attaquent fortement les pièces, surtout les pièces en caoutchouc. L'action augmente grâce à une température élevée.

Jusqu'à présent, les pompes à piston répondent le mieux à toutes les exigences exposées au par avant. Les pompes à palettes, centrifuge et axiale sont faciles en poids et assurent une amenée régulière de liquide de forage, mais leurs caractéristiques, résistance à l'usure, etc. sont inférieur à ceux des pompes à piston.

II.2. Description de la pompe triplex à simple effet « national Oil- Well 12P160 » dans l'appareil de forage TP194:

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

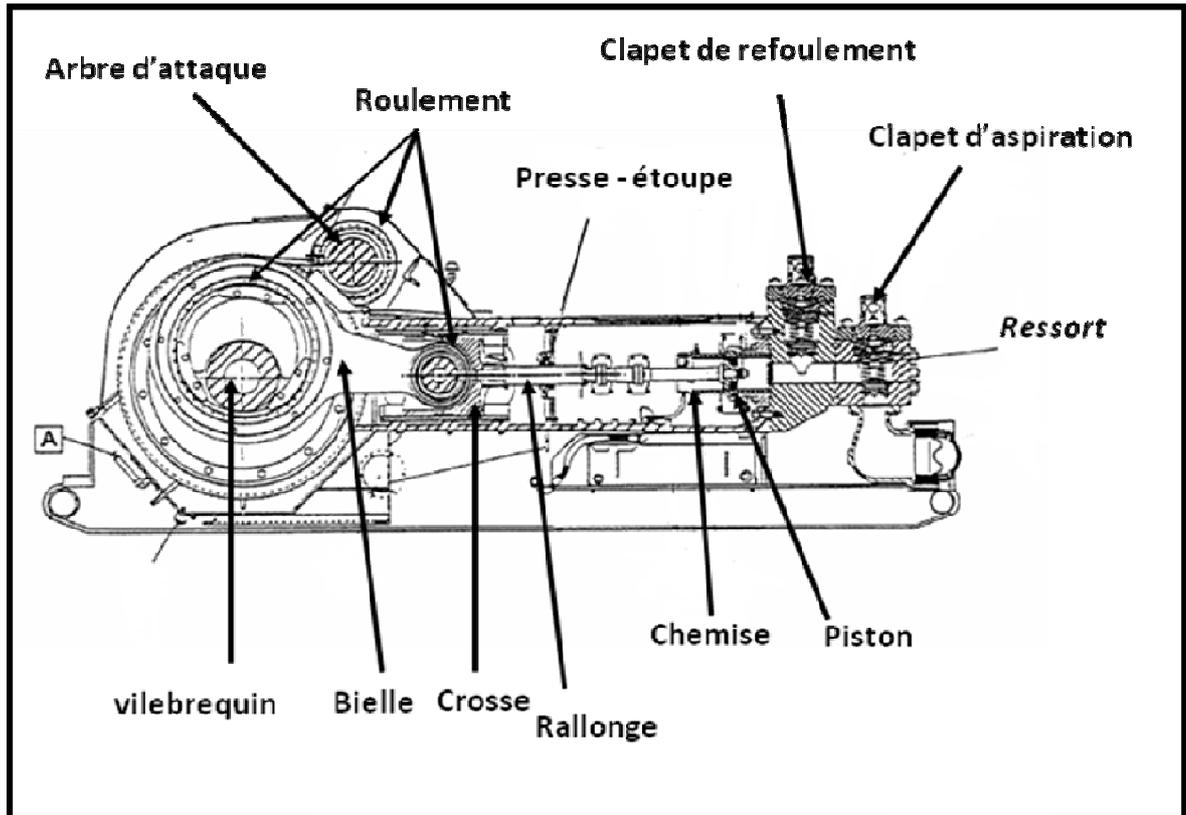


Fig. 3 Pompe à boue en coupe

II.2.1. Construction de la pompe à boue triplex à simple effet :

Comme toutes les pompes à piston triplex à simple effet, la pompe OIL-WELL 12P160 est construite de :

- ↻ La partie mécanique qui sert à transformer le mouvement de rotation au mouvement de translation alternatif communiqué au piston ;
- ↻ La partie hydraulique est l'ensemble de tous les éléments qui permettent la circulation du fluide de forage.

A. La partie mécanique :

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

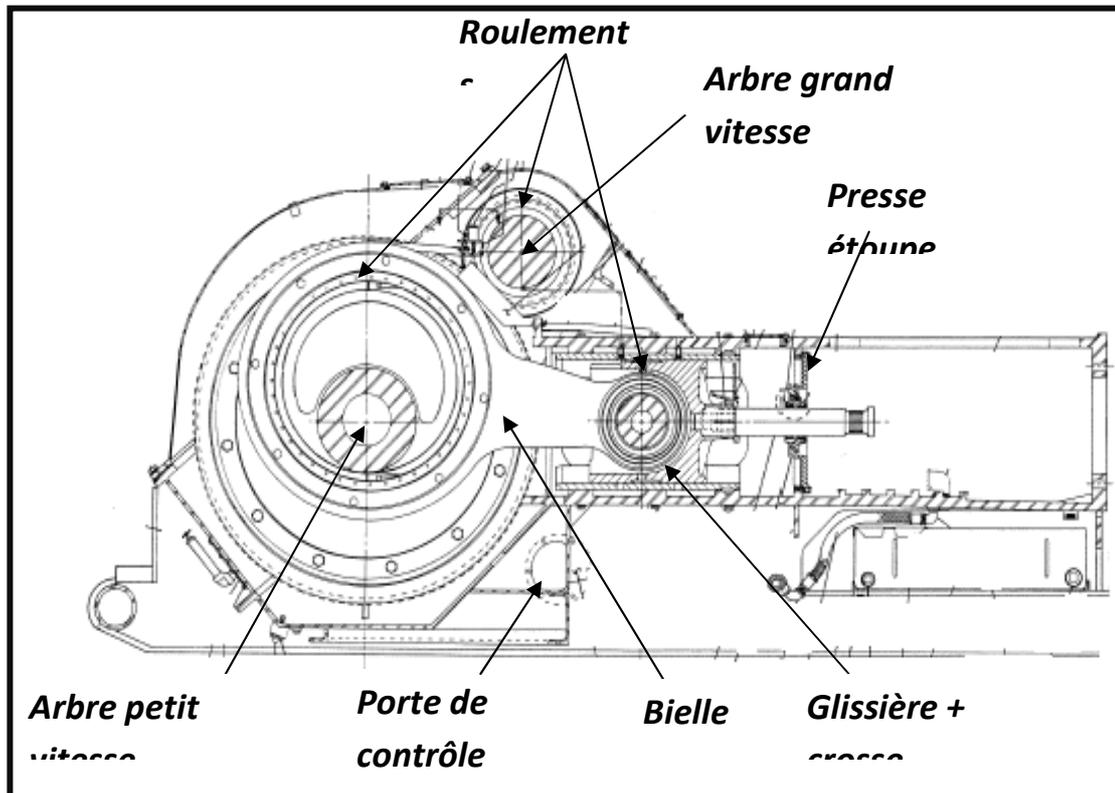


Fig. 4 : Partie mécanique

a. L'arbre grande vitesse :

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

Cet arbre est 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.

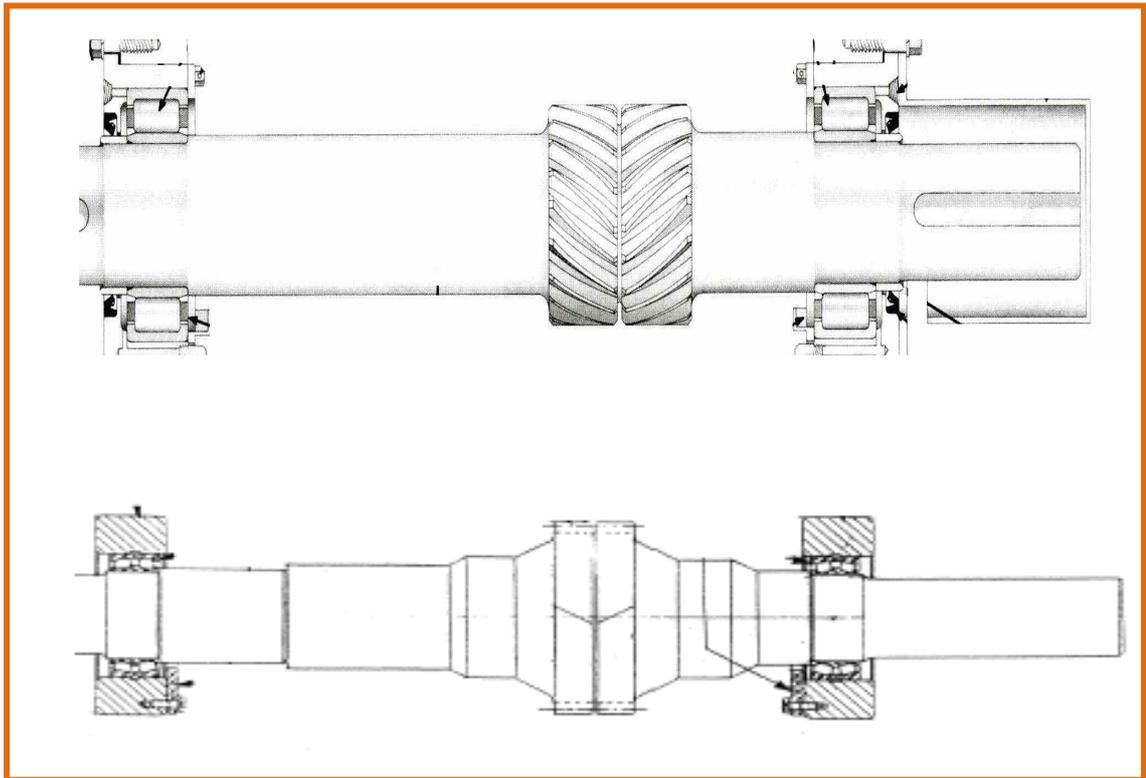


Fig. 5 : L'arbre grande vitesse

b. L'arbre petite vitesse ou vilebrequin :

Cet arbre à une forme coudée (excentrique) pour permettre le décalage des courses du piston dans les chemises (ce décalage est de 120° pour les triplex).

Il existe un rapport entre les petites vitesses et les grandes vitesses. Ce rapport (3 et 5) dépend du type de pompe et de sa marque et il est donné par le constructeur. Un rapport de 3.44 par exemple pour une pompe National 12P160 signifie que pour 96 coups/mn au piston l'arbre grande vitesse et le pignon d'entraînement tournent à $96 \times 3.44 = 330$ tours/minute.

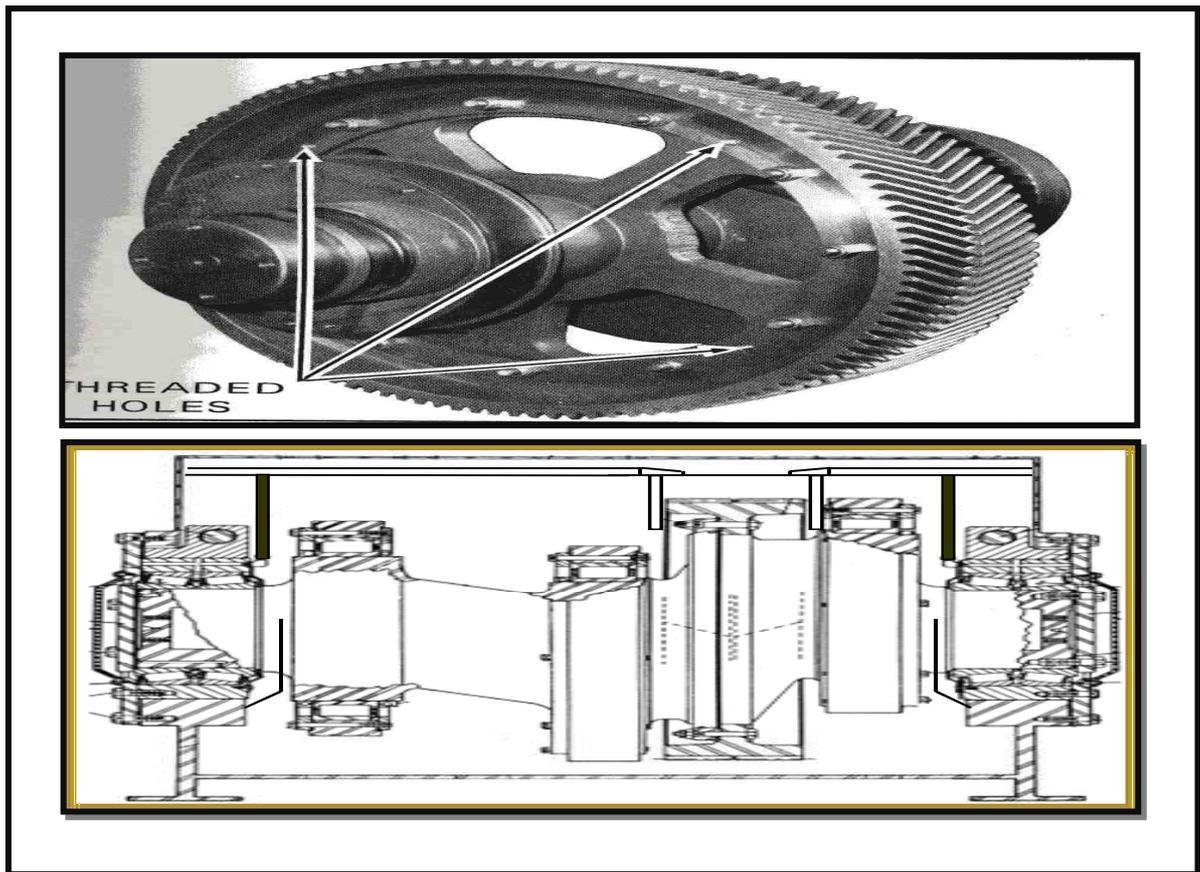


Fig. 6 : L'arbre petite vitesse

c. Système bielle- manivelle :

Sur le vilebrequin sont montées 02 ou 03 bielles selon le type de pompe (duplex ou 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 roulements.

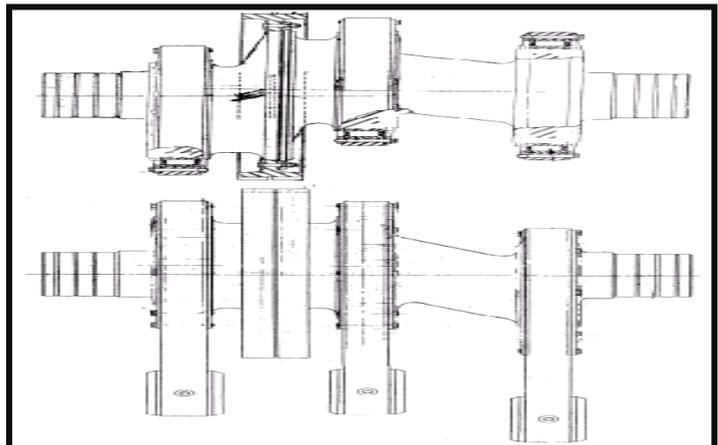


Fig. 7 Système bielle- manivelle

d. La crosse et la rallonge de crosse :

Les crosses montées sur les pieds des bielles par l'intermédiaire de roulements sont guidées par des tuiles. Sur les crosses viennent se visser les rallonges des crosses qui permettront la liaison avec les tiges de pistons.

Cette liaison est réalisée par l'intermédiaire de clamps (colliers de serrage) pour les pompes triplex.

e. Le bâti et le carter :

Il est en acier moulé ou en tôle d'acier assemblé par mécano- soudure. Dans ce dernier cas le ski et le bâti son généralement intégrés. Le bâti sert de carter pour l'huile de graissage, il doit donc être étanche et permettre un contrôle rapide du niveau et une vidange facile de l'huile.

La lubrification est en général réalisée par barbotage. Deux augets de réserve d'huile permettent pendant la mise en service d'une pompe, le graissage immédiat des pignons et de tuiles.

L'étanchéité, côté rallonge de crosse, est assurée par un boîtier de presse-étoupe et son joint.

Un couvercle supérieur et des portes de visite latérales permettent d'effectuer rapidement et facilement l'inspection ou les réglages nécessaires, afin de prévenir des troubles futurs.

f. Les Roulements :

1. Les roulements des bielles :

Sont des roulements à rouleaux cylindriques jointifs, ils supportent des charges radiales et axiales élevées et importantes.

- ❖ Fiabilité des fonctions accrue.
- ❖ Durée de service prolongée.



Fig. 8 : Roulement de Bielle

2. Les roulements des crosses :

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 ;
- Ils sont peu encombrants radialement ;
- Ils supportent uniquement de la charge radiale ;

3. Les roulements de l'arbre grand vitesse :

Roulement à rotule sur rouleaux (voir figure n° III.3), ils ont les avantages suivants :

- Fonctionnement à faible température et à vitesse relativement élevée ;
- Supporter des charges relativement importantes ;
- Grande longévité ;

4. Les roulements de l'arbre petite vitesse (vilebrequin) :

Roulement à rouleaux coniques, ils ont les avantages suivants :

- Frottement largement réduit ;
- Capacité de charge accrue.

g. Le système d'entraînement :

Il en existe deux types :

- ❖ Soit par moteurs électriques,
- ❖ Soit par poulies et courroies (ou chaînes).

1. Entraînement par moteurs électriques :

Deux moteurs sont montés sur le ski de la pompe et entraînent par l'intermédiaire de pignons et de chaînes, l'arbre grand vitesse de la pompe.

Les pignons et leurs chaînes sont enfermés dans des carters étanches, un système de lubrification par pompe entraînée par moteur électrique assure le graissage par arrosage de l'ensemble.

2. Entraînement par poulies et courroies :

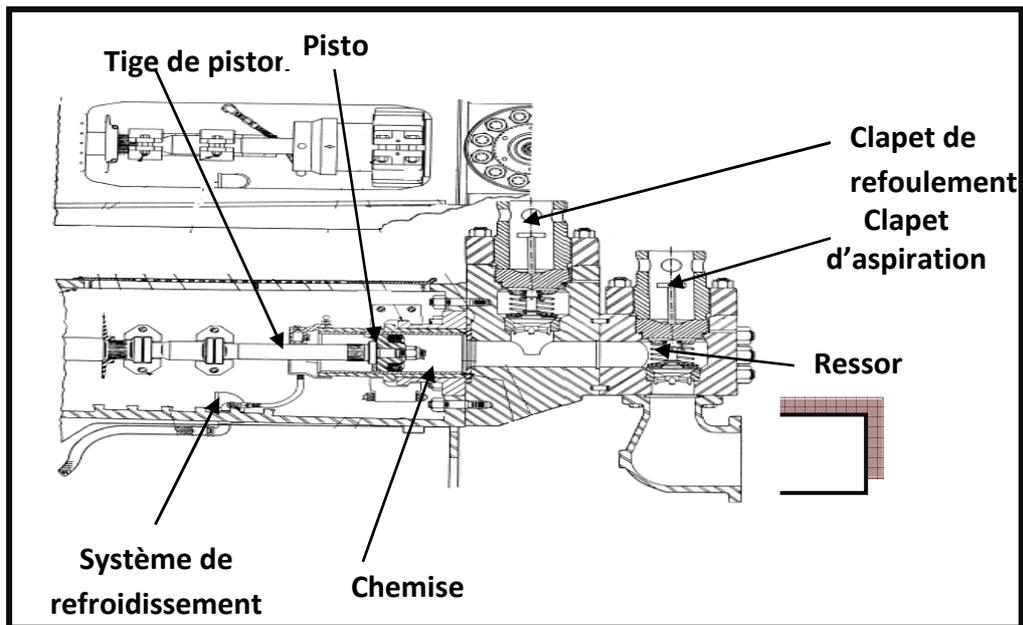
Sur l'arbre grande vitesse, une poulie à gorge pour courroie trapézoïdale est clavetée, elle est entraînée par une poulie de même type, plus petite pour respecter un rapport de vitesse donné, située sur la compound. C'est le système d'entraînement utilisé sur les appareils mécaniques ou sur les unités de pompage indépendantes.

B. La partie hydraulique de la pompe 12P160 :

a. Le corps hydraulique :

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

Le corps est obturé par des couvercles filetés et des portes des couvercles boulonnés à la partie supérieure où l'on trouve un collecteur de refoulement qui 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.



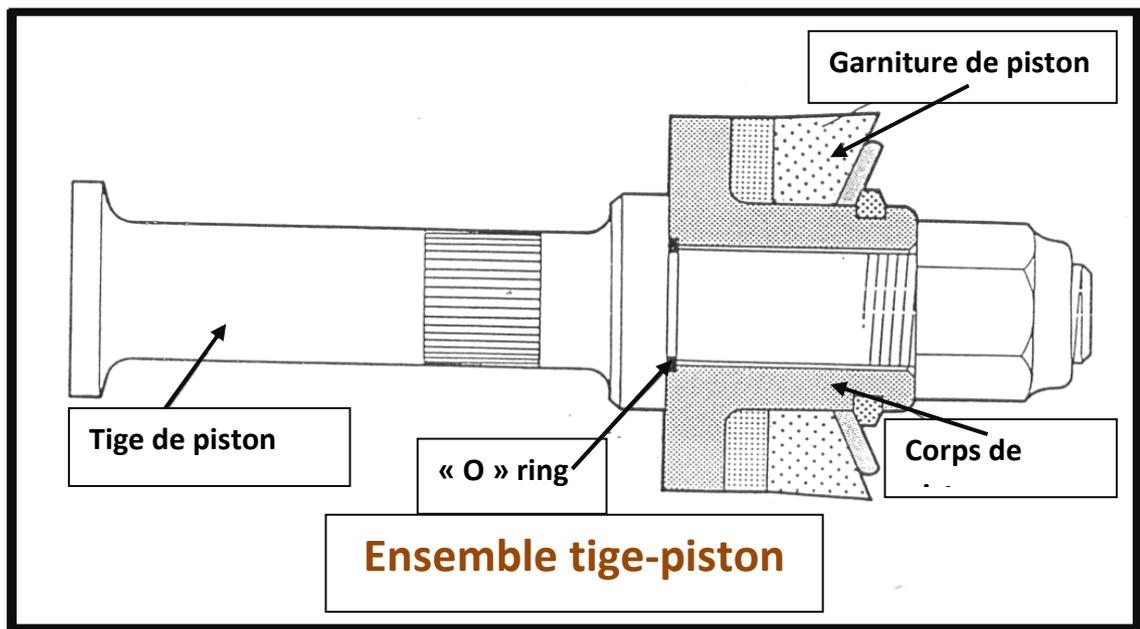
b. Le piston et la tige de piston :

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

Très simple et sans traitement, 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 de piston classique est éliminée pour être remplacée par une tige courte et légère dont les caractéristiques principales sont :

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



c. Les chemises :

Les chemises des pompes sont des pièces usinées avec grande précision.

La paroi intérieure est traitée pour lui donner une grande dureté superficielle et la

résistance à l'usure désirée.

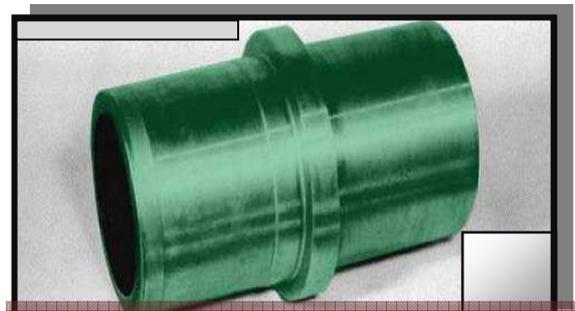


Fig. 11 : La chemise

Ces chemises sont enfilées dans le corps de la pompe et maintenues en place par des dispositifs qui diffèrent légèrement suivant les constructeurs

d. Les sièges et les clapets :

Chaque clapet est constitué d'un corps, d'une garniture, et d'un système de fixation de la garniture.

Leur principe avantage est d'être le diamètre plus faible donc :

- Plus résistant pour des pressions identiques.
- Moins lourds donc moins sujets au choc.
- Plus aisés à extraire.
- Moins coûteux à l'achat.

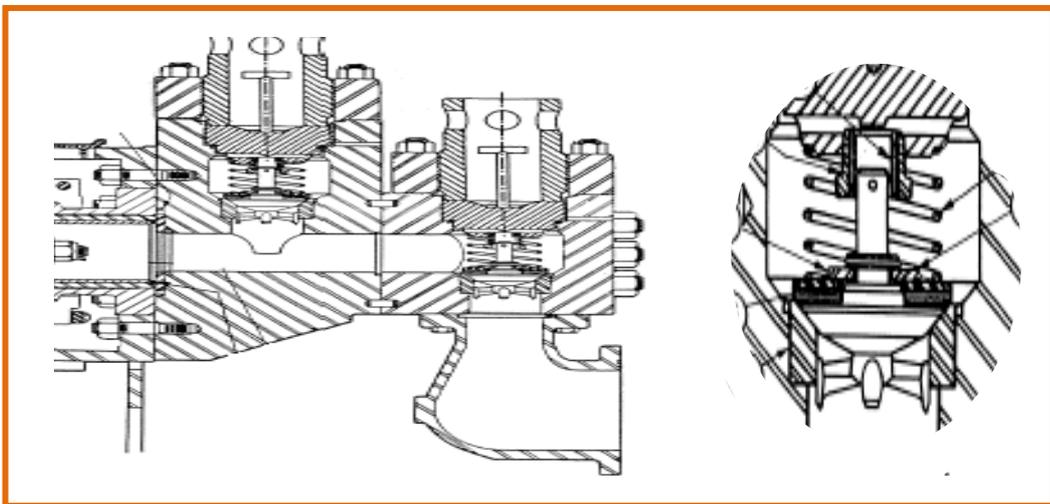
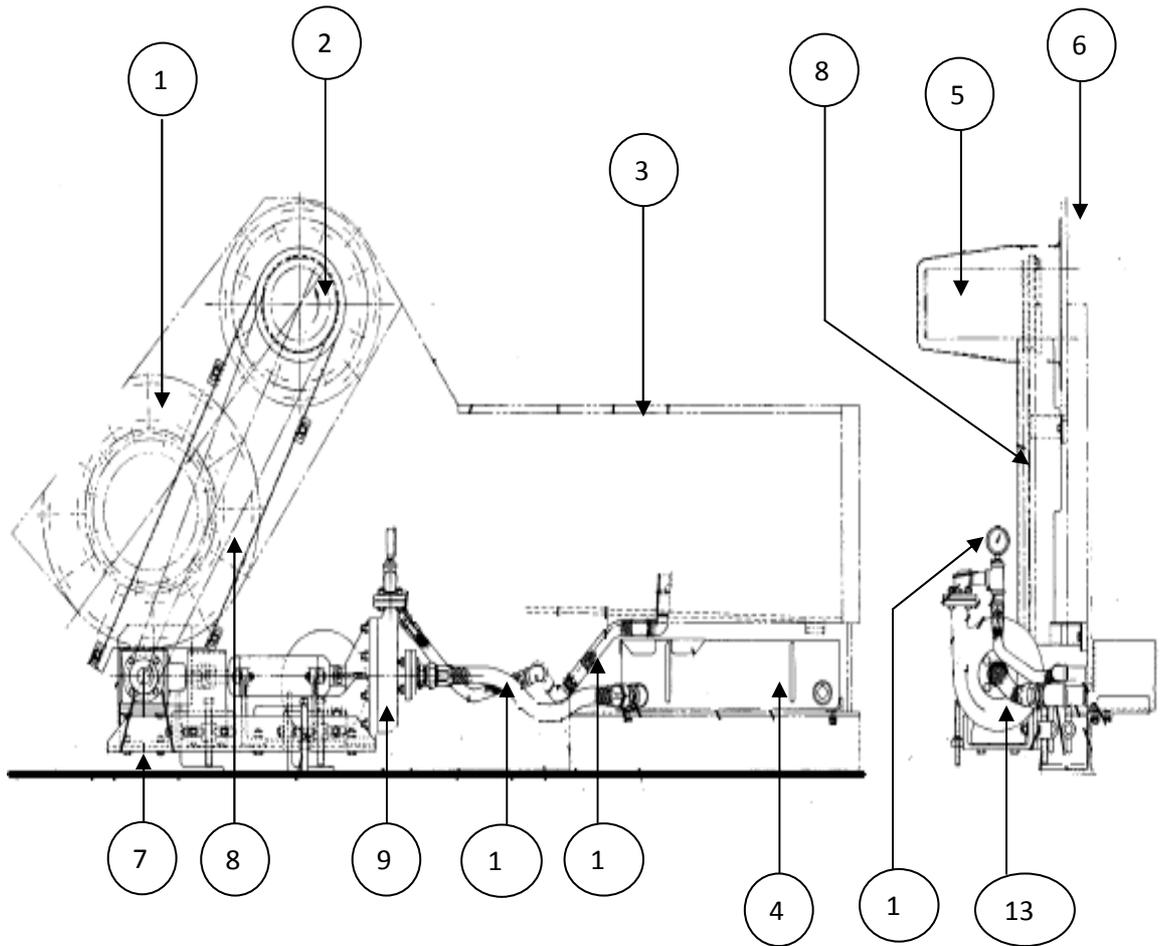


Fig. 12 : Sièges et clapets

II.2.2. Refroidissement de la pompe à boue 12P160 :

La partie hydraulique (les couples chemise-piston) nécessite un refroidissement intense suite au frottement et à la chaleur dissipée, pour cela la pompe à boue est muni d'une pompe centrifuge à eau, cette pompe aspire l'eau à partir des bacs d'eau et la refoule sous forme des jets contenus de la partie hydraulique.

L'entraînement de la pompe centrifuge se fait à l'aide d'un moteur électrique d'entraînement asynchrone.



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

Fig.13 : Système refroidissement de la partie mécanique

II.3. Annexes de la pompe à boue :

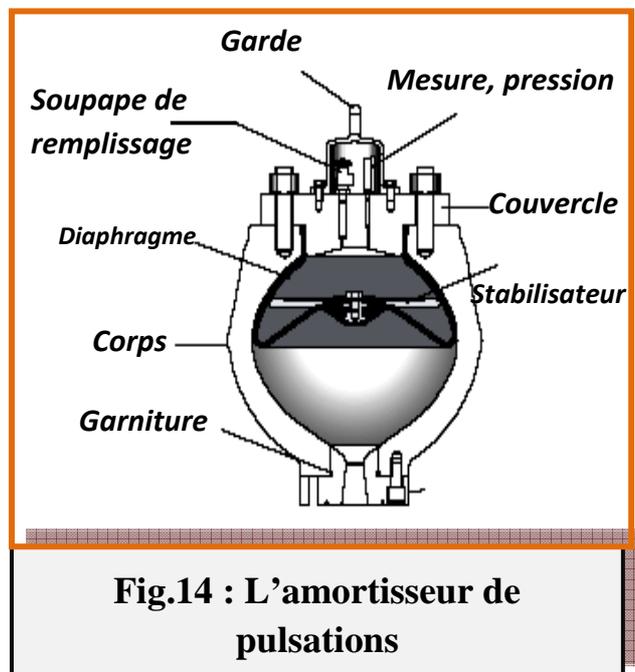
Les pompes de forage comportent les équipements auxiliaires suivants :

- ❖ A l'aspiration, un amortisseur de pulsation et un autre amortisseur de pulsation au refoulement,
- ❖ Une soupape de sécurité pour protéger le circuit contre les fluctuations et les augmentations brusques de pression.

II.3.1. Amortisseur de pulsations type "HYDRIL" :

A. Principe de fonctionnement :

Lorsque la pompe est en marche, la boue pénètre dans la chambre, sous le diaphragme et comprime le volume de chambre d'azote diminue lorsque la pression de boue diminue, régularisant ainsi le débit et, par suite, les fluctuations de pression.



II.3.2 Soupape de décharge ou de sécurité :

Afin d'éviter les surcharges de pression de la pompe, la pompe doit être équipée d'une soupape de décharge, tarée selon le chemisage de la pompe.

II.4. Principe de fonctionnement et débit instantané :

II.4.1 Principe de fonctionnement :

Le fonctionnement de chaque cylindre pour un aller retour du piston est le suivant :

- Lorsque le piston se déplace vers la droite, le clapet d'aspiration est ouvert, le clapet de refoulement est fermé, le cylindre se remplit.
- Lorsque le piston arrive en bout de course et revient vers la gauche, le clapet d'aspiration se ferme, le clapet de refoulement s'ouvre, la pompe refoule.

Ce fonctionnement de principe beaucoup plus simple que celui des pompes duplex, donne un avantage certain aux pompes triplex (diminution d'encombrement, facilité d'entretien et de surveillance).

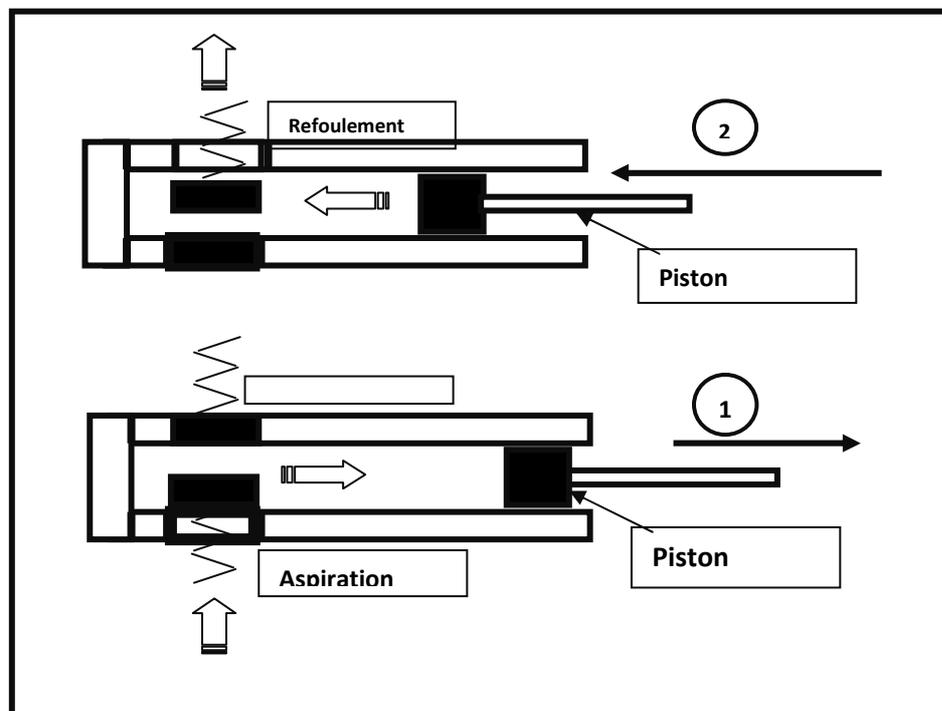


Fig.15 : Principe de fonctionnement des pompes triplex

II.4.2 Débit instantané :

A. Débit instantané par cylindre :

La vitesse instantanée du piston suit une évolution qui a été étudiée pour les pompes triplex. Les pompes triplex sont des pompes à simple effet, donc le débit instantané par cylindre évolue comme la vitesse sur le trajet aller du piston, il est nul au retour.

B. Débit instantané de la pompe :

Le débit instantané d'une pompe triplex est la somme des débits instantanés de chacun des cylindres, il dépend du mode de calage du piston les uns par rapport aux autres.

Sur les pompes triplex, les pistons sont calés à 120° , c'est-à-dire $2/3$ de course sépare chaque piston l'un de l'autre (lorsque le piston n°1 arrive en fin de course, le piston n°2 est au $1/3$ de sa course et le piston n°3 n'a pas encore terminé sa course retour, il en est en $2/3$).

Le principe simple effet et le calage régulier des pistons (3 fois 120°) entraînent des fluctuations de débit relativement régulières. L'amplitude de ces variations est par ailleurs faible. Elle impose malgré tout l'utilisation d'amortisseur de pulsation sur le refoulement.

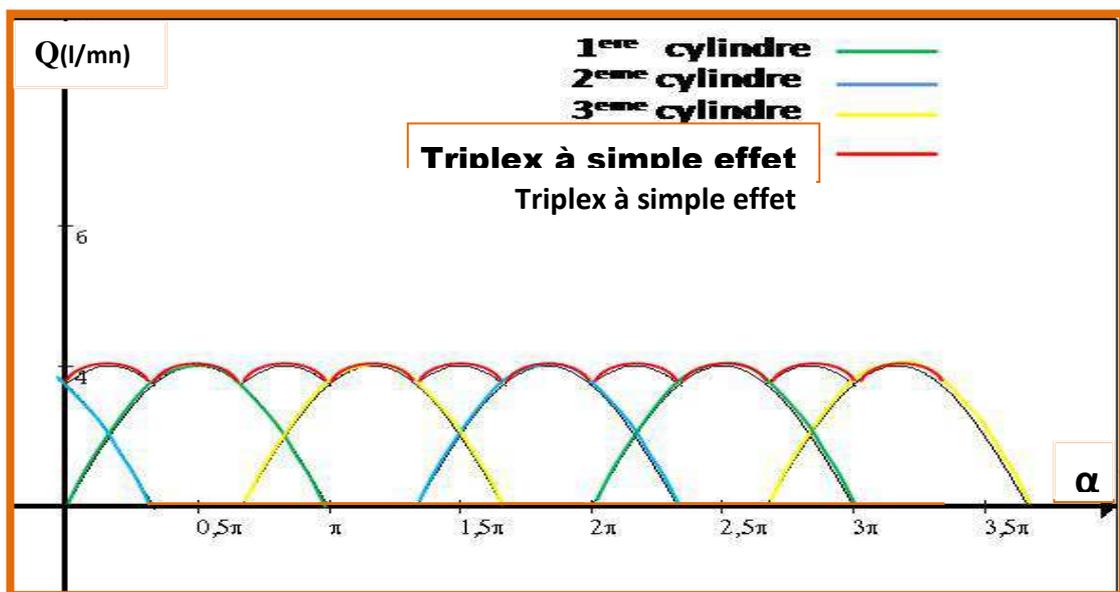


Fig.16 : Débit instantané de la pompe triplex à simple effet

II.5. Particularités :

Pour éviter les inconvénients on utilise de plus en plus à l'heure actuelle, la suralimentation des pompes à boue ; Les pompes ne sont pas alimentées par aspiration directe dans les bacs, mais par l'intermédiaire d'une autre pompe (centrifuge à basse pression). Dans ces conditions on obtient un remplissage presque parfait des cylindres et on supprime les cognements hydrauliques, le rendement se rapproche du rendement théorique, le débit obtenu est plus grand.

II.5.1- Les pompes de suralimentation :

Actuellement, toutes les pompes triplex sont systématiquement équipées de pompes centrifuges de suralimentation.

La suralimentation des pompes à boue est obligatoire afin d'assurer un fonctionnement mécanique plus doux et parfait des pompes à boue, comme elle permet également d'obtenir la pleine utilisation des puissances hydrauliques.

II.6. Caractéristiques des pompes à boue :

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

II.6.1 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

Le cylindrée d'un piston est égale à :

Où :

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

C : la course du piston.

d : diamètre intérieur de la chemise.

II.6.2 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.

II.6.3 Le débit :

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

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

A. Le débit théorique :

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

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

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

Où :

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

C : Course de piston (mm).

D : Diamètre de la chemise (mm).

II.6.4 Rendements :

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

A. Rendement volumétrique :

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

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

Où :

Q_p : débit réel.

Q_{th} : débit théorique

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

B. Rendement mécanique :

Le rendement mécanique est dû à la perte de puissance due aux frottements dans la partie mécanique de la pompe (engrenages, roulements, glissements des crosses dans les coulisseaux). Se rendement est de l'ordre de 0.85 dans les pompes triplex à simple effet.

II.6.5. Pression :

La valeur de cette pression qui représente en effet l'ensemble des pertes de charge (perte de pression) dans le circuit de refoulement en surface mais aussi dans les puits dépend donc essentiellement pour un débit donné de la profondeur du puits et de la nature des opérations entreprise. La pression de refoulement agissant sur le piston se traduit par une force qui se communique à la tige de piston, à la rallonge de crosse et ensuite à la partie mécanique.

II.6.6. La puissance :

A. Puissance hydraulique :

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

$$P_h = p_r \times Q_r$$

Où : P_h : la puissance hydraulique.

P_r : la pression de refoulement.

Q_r : le débit réel.

B. Puissance mécanique :

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

II.7 Les avantages et les inconvénients de la pompe triplex simple effet :

II.7.1 Les avantage :

- Facilité d'entretien et de surveillance. Les chemises sont apparentes, toute fuite aux pistons est vite décelée.
- Souplesse dans l'utilisation qui permet :
 - ↪ des débits importants à des pressions non négligeables.
 - ↪ des débits faibles ou moyens à des pressions élevées.

II.7.2 Les inconvénients :

- Suralimentation nécessaire a cause de par le mauvais remplissage. Il est donc indispensable d'avoir une bonne pompe centrifuge de suralimentation.
- Refroidissement et lubrification de la chemise et de l'arrière des pistons, indispensable pour toutes les pompes simples effet.

Le calcul de la pompe comprend un calcul hydraulique réalisé par le logiciel MATLAB.

III .1. Calcul hydraulique :

III .1.1. Introduction :

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 un puits de 3445 m.

Calcul des pertes de charge.

A. Introduction :

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 :

- ❖ A l'intérieur des duses de l'outil;
- ❖ 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.

On prend en considération la perte de charge à l'intérieur de tool-joint des tiges de forage, tel que la somme des longueurs des tool-joint correspond 5% la somme des longueurs des tiges, ainsi que le diamètre intérieur du tool-joint égale à (3" ¼).

On néglige la différence du diamètre entre les tool-joint et les tiges de forage dans le cas du calcul des pertes à l'intérieur de l'espace annulaire, c.-à-d. ont le même diamètre extérieur.

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 :

B. Les équations de perte de charge utilisées en forage :

a. 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 ;

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

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

μ : Viscosité en [cp] ;

b. 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^2] ;

C : coefficient d'orifice :

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

$C=0.95$ pour les outils à jet.

c. 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] ;

d. Les pertes de charge dans l'espace annulaire :

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

Avec :

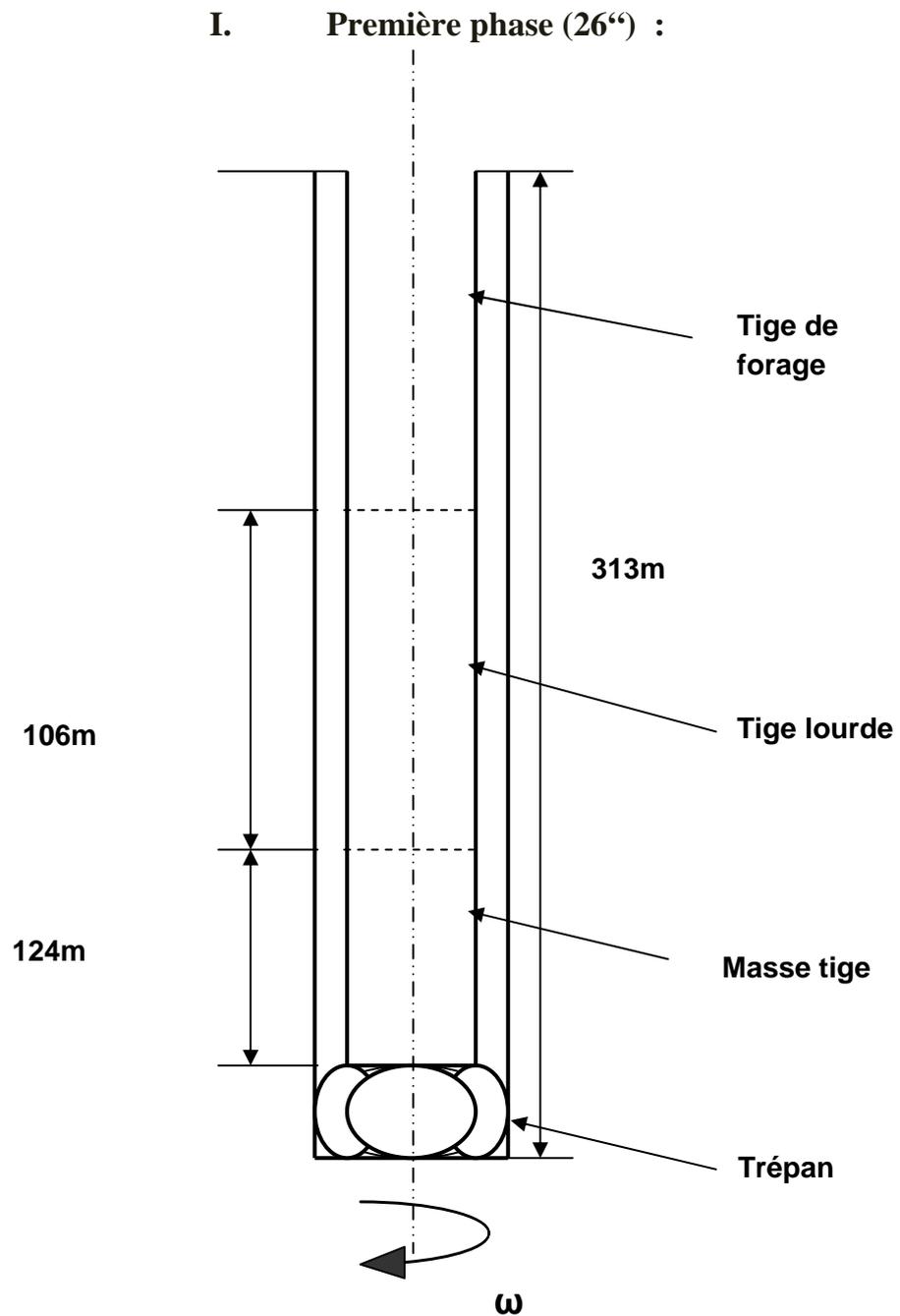
D_0 : diamètre extérieur annulaire [in] ;

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

✓Données de départ :

Trou foré	Diamètre (in)	Phase 26 "	phase 16 "	Phase 12 ¼"	phase 8 ½"
	Profondeur forée (m)	313	854	2540	3445
Tubage	Diamètre extérieur (in)	18 ^{5/8}	13 ^{3/8}	9 ^{5/8}	7
	Poids linière (lb/ft)	85,5	68,00	47,00	29,00
	Diamètre inter (in)	17,755	12,415	8,681	6,184
	Longueur du tubage (m)	312	852,5	2539	3421
Paramètre hydraulique de forage	Débit (l /min)	3700	3300	3061	2270
	Masse volumique (kg/ l)	1,05	1,3	1,3	2,03
	Viscosité (cp)	77	53	64	69
Tige de forage	Diamètre extérieur (in)	5	5	5	5
	Diamètre inter (in)	4,276	4,276	4,276	4,276
	Longueur (m)	75	603	2308	3903
Tige lourde	Diamètre extérieur (in)	5	5	5	5
	Diamètre inter (in)	3	3	3	3
	Longueur (m)	106	106	106	106
Masse tige	Diamètre extérieur (in)	8	8	8	6 ^{1/2}
	Diamètre intérieur (in)	2,81	2,81	2,81	2 ^{13/16}
	Longueur (m)	124	143	124	244
Trépan	TFA (in ²)	1,052	0,994	1,037	0,902

C. Calcul des pertes de charge pour chaque phase de forage :

Fig. 17 : Phase 1^{ère} de forage

a. Intérieur de la garniture :**1. Tool-joint :**

$$P_{TJ} = \frac{Q^{1,8} \cdot L_{TJ} \cdot B}{901,63 \cdot D_{TJ}^{4,8}}$$

La longueur totale de tous les tool-joint égale à 5% de la longueur totale des tiges de forage pour chaque phase :

$$L_{TJ} = 0,05 \cdot 75 = 3,75 \text{ m et } D_{TJ} = 3" \frac{1}{4} = 3,25"$$

$$P_{TJ} = \frac{3,75 \times 1,05^{0,8} \times 3700^{1,8} \times 77^{0,2}}{901,63 \times 3,25^{4,8}}$$

$$P_{TJ} = 95,32 \text{ kPa}$$

2. Tige de forage :

$$P_{DP} = \frac{Q^{1,8} \cdot L_{DP} \cdot B}{901,63 \cdot D_{DP}^{4,8}}$$

$$P_{DP} = \frac{75 \times 1,05^{0,8} \times 3700^{1,8} \times 77^{0,2}}{901,63 \times 4,276^{4,8}}$$

$$P_{DP} = 510,82 \text{ kPa}$$

3. Tige lourde :

$$P_{HW} = \frac{Q^{1,8} \cdot L_{HW} \cdot B}{901,63 \cdot D_{HW}^{4,8}}$$

$$P_{HW} = \frac{106 \times 1,05^{0,8} \times 3700^{1,8} \times 77^{0,2}}{901,63 \times 3^{4,8}}$$

$$P_{HW} = 3965,49 \text{ kPa}$$

4. Masse tige :

$$P_{DC} = \frac{Q^{1,8} \cdot L_{DC} \cdot B}{901,63 \cdot D_{DC}^{4,8}}$$

$$P_{DC} = \frac{124 \times 1,05^{0,8} \times 3700^{1,8} \times 77^{0,2}}{901,63 \times 2,8125^{4,8}} \quad P_{DC} = 6309,05 \text{ kPa}$$

b. Espace annulaire :**1. Trou / tige de forage :**

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

$$P_{DP} = \frac{75 \times 1,05^{0,8} \times 3700^{1,8} \times 77^{0,2}}{706,96 \times (26 + 5)^{1,8} \times (26 - 5)^3} \quad P_{DP} = 0,16 \text{ kPa}$$

2. Trou / tige lourde :

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

$$P_{HW} = \frac{106 \times 1,05^{0,8} \times 3700^{1,8} \times 77^{0,2}}{706,96 \times (26 + 5)^{1,8} \times (26 - 5)^3} \quad P_{HW} = 0,22 \text{ kPa}$$

3. Trou / masse tige :

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

$$P_{DC} = \frac{124 \times 1,05^{0,8} \times 3700^{1,8} \times 77^{0,2}}{706,96 \times (26 + 8)^{1,8} \times (26 - 8)^3} \quad P_{DC} = 0,35 \text{ kPa}$$

c. Trépan :

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

$$P_t = \frac{1,06 \times 3700^2}{2959,41 (0,95)^2 (1,052)^2} \quad P_t = 4863,05 \text{ kPa}$$

d. Equipement de surface :

$$P_s = N_1 \times B$$

$N_I=378$ (cas n°04) est déduite en fonction des équipements de surface dans le chantier qui correspond au cas n°04 d'après le formulaire du foreur.

$$P_s = 378 \times 1,05^{0,8} \times 77^{0,2}$$

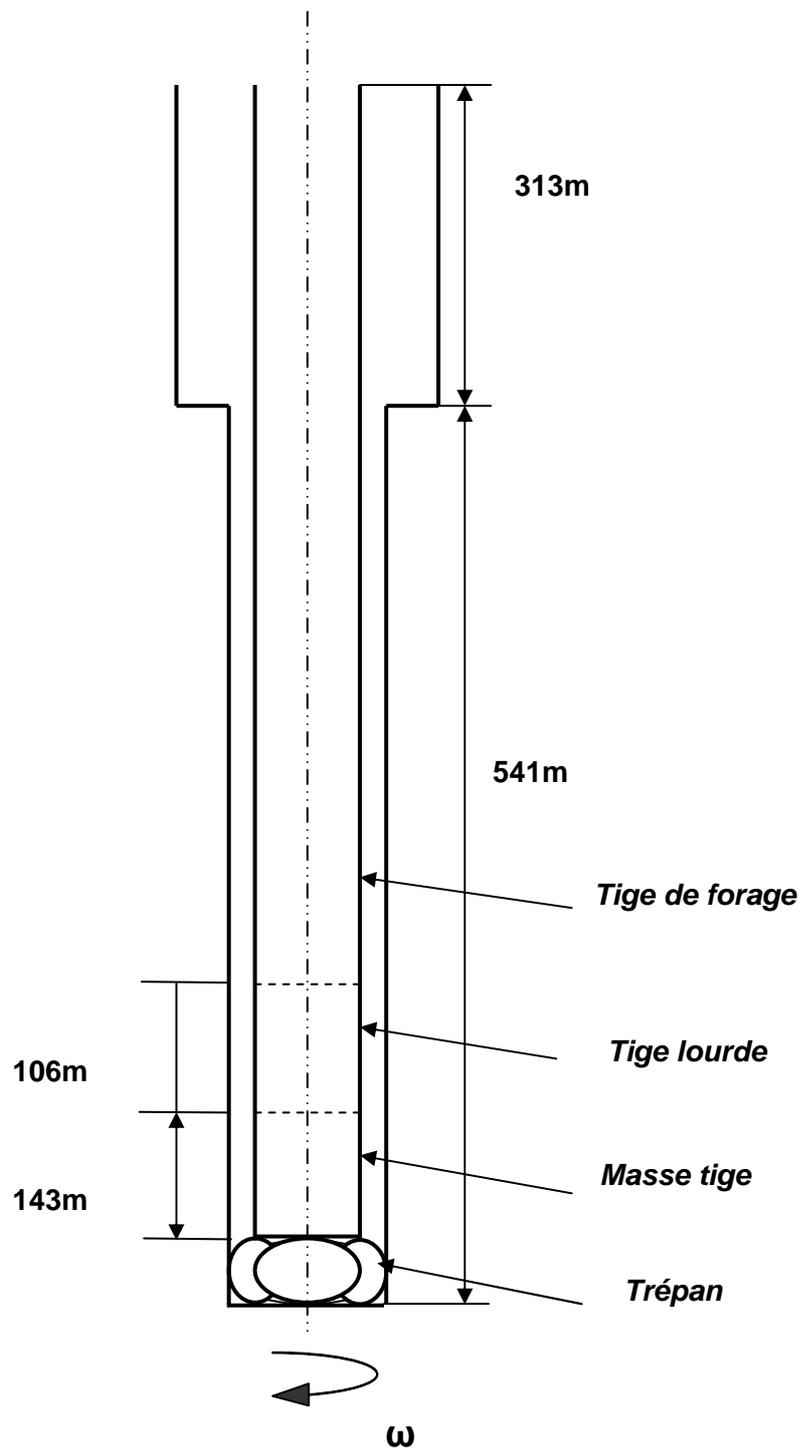
$$P_s = 937,44 \text{ kPa}$$

↳ *La perte de charge totale :*

$$P_{\text{tot}} = 95,32 + 510,82 + 3956,49 + 6309,05 \\ + 0,16 + 0,22 + 0,35 + 4863,05 + 937,44$$

$$P_{\text{tot}} = 16113,46 \text{ kPa}$$

II. Deuxième phase (16''):

Fig. 18 : Phase 2^{ème} de forage

a. Intérieur de la garniture :**1. Tool-joint :**

$$P_{TJ} = \frac{Q^{1,8} \cdot L_{TJ} \cdot B}{901,63 \cdot D_{TJ}^{4,8}}$$

$$L_{TJ} = 0,05 \cdot 604 = 30 \text{ m} \text{ et } D_{TJ} = 3 \frac{1}{4}'' = 3,25''.$$

$$P_{TJ} = \frac{30 \times 1,3^{0,8} \times 3300^{1,8} \times 53^{0,2}}{901,63 \times 3,25^{4,8}} \quad P_{TJ} = 683,19 \text{ kPa}$$

2. Tige de forage :

$$P_{DP} = \frac{Q^{1,8} \cdot L_{DP} \cdot B}{901,63 \cdot D_{DP}^{4,8}}$$

$$P_{DP} = \frac{603,95 \times 1,3^{0,8} \times 3300^{1,8} \times 53^{0,2}}{901,63 \times 4,276^{4,8}}$$

$$P_{DP} = 3710,34 \text{ kPa}$$

3. Tige lourde :

$$P_{HW} = \frac{Q^{1,8} \cdot L_{HW} \cdot B}{901,63 \cdot D_{HW}^{4,8}}$$

$$P_{HW} = \frac{106 \times 1,3^{0,8} \times 3300^{1,8} \times 53^{0,2}}{901,63 \times 3^{4,8}}$$

$$P_{HW} = 3572,15 \text{ kPa}$$

4. Masse tige :

$$P_{DC} = \frac{Q^{1,8} \cdot L_{DC} \cdot B}{901,63 \cdot D_{DC}^{4,8}}$$

$$P_{DC} = \frac{143 \times 1,3^{0,8} \times 3300^{1,8} \times 53^{0,2}}{901,63 \times 2,81^{4,8}}$$

$$P_{DC} = 6556,97 \text{ kPa}$$

b. Espace annulaire :**1. Tubage / tige de forage :**

$$P_{DP} = \frac{Q^{1,8} \cdot L_{tubl} \cdot B}{706,96 \cdot (D_{tubl} + D_i)^{1,8} \cdot (D_{tubl} - D_i)^3}$$

$$P_{DP} = \frac{313 \times 1,3^{0,8} \times 3300^{1,8} \times 53^{0,2}}{706,96 (18,625 + 5)^{1,8} (18,625 - 5)^3}$$

$$P_{DP} = 3,47 \text{ kPa}$$

2. Trou / tige de forage :

$$P_{DP} = \frac{Q^{1,8} \cdot L_{HW} \cdot B}{706,96 \cdot (D_0 + D_i)^{1,8} \cdot (D_0 - D_i)^3}$$

$$P_{DP} = \frac{291 \times 1,3^{0,8} \times 3300^{1,8} \times 53^{0,2}}{706,96 (16 + 5)^{1,8} (16 - 5)^3}$$

$$P_{DP} = 7,58 \text{ kPa}$$

3. Trou / tige lourde:

$$P_{HW} = \frac{Q^{1,8} \cdot L_{DC} \cdot B}{70696 \cdot (D_0 + D_i)^{1,8} \cdot (D_0 - D_i)^3}$$

$$P_{HW} = \frac{106 \times 1,3^{0,8} \times 3300^{1,8} \times 53^{0,2}}{706,96(16 + 5)^{1,8}(16 - 5)^3}$$

$$P_{HW} = 2,78 \text{ kPa}$$

4. Trou / masse tige :

$$P_{DC} = \frac{Q^{1,8} \cdot L_{DC} \cdot B}{70696 \cdot (D_0 + D_i)^{1,8} \cdot (D_0 - D_i)^3}$$

$$P_{DC} = \frac{143 \times 1,3^{0,8} \times 3300^{1,8} \times 53^{0,2}}{706,96(16 + 8)^{1,8}(16 - 8)^3}$$

$$P_{DC} = 7,63 \text{ kPa}$$

c. Trépan :

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

$$P_t = \frac{1,3 \times 3300^2}{2959,41(0,95)^2(0,994)^2}$$

$$P_t = 5364,71 \text{ kPa}$$

d. Equipement de surface :

$$P_s = N_1 \times B$$

$N_I=259$ (cas n°04) d'après le formulaire du foreur.

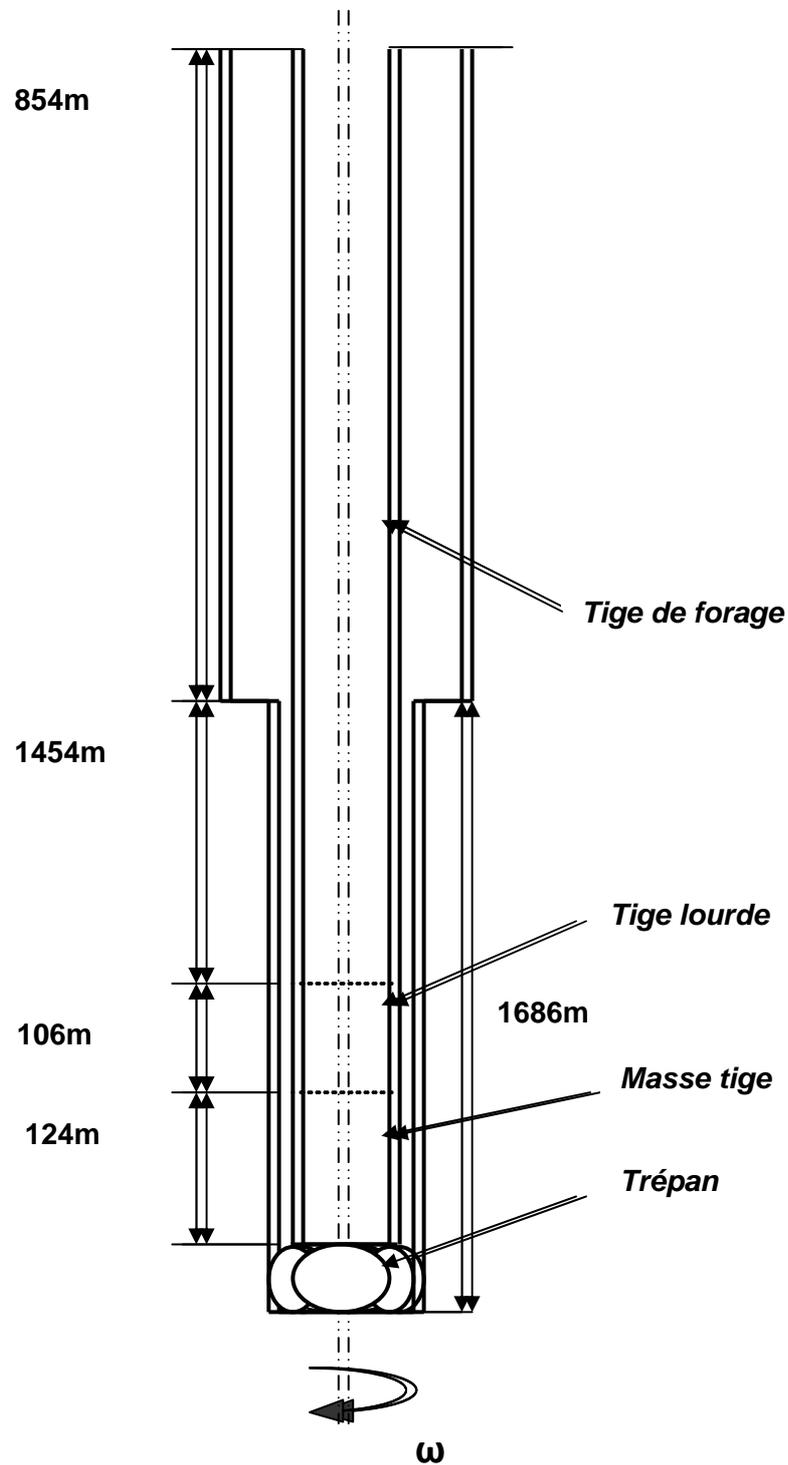
$$P_s = 259 \times 1,3^{0,8} \times 53^{0,2}$$

$$P_s = 707,07 \text{ kPa}$$

↪ La perte de charge totale :

$$P_{tot} = 683,19 + 3710,34 + 3572,15 + 6556,97 + 3,47 \\ + 7,58 + 2,78 + 7,63 + 5364,71 + 707,07$$

$$P_{tot} = 20615,89 \text{ kPa}$$

III. Troisième phase (12 $\frac{1}{4}$ " :Fig. 19 : Phase 3^{ème} de forage

a. Intérieur de la garniture :**1. Tool-joint :**

$$P_{TJ} = \frac{Q^{1,8} \cdot L_{TJ} \cdot B}{901,63 \cdot D_{TJ}^{4,8}}$$

$L_{TJ} = 0,05 \cdot 2308 = 115 \text{ m}$ et $D_{TJ} = 3 \frac{1}{4}'' = 3,25''$.

$$P_{TJ} = \frac{115 \times 1,3^{0,8} \times 3000^{1,8} \times 64^{0,2}}{901,63 \times 3,25^{4,8}}$$

$$P_{TJ} = 2286,83 \text{ kPa}$$

2. Tige de forage :

$$P_{DP} = \frac{Q^{1,8} \cdot L_{DP} \cdot B}{901,63 \cdot D_{DP}^{4,8}}$$

$$P_{DP} = \frac{2308 \times 1,3^{0,8} \times 3000^{1,8} \times 64^{0,2}}{901,63 \times 4,276^{4,8}}$$

$$P_{DP} = 12297,91 \text{ kPa}$$

3. Tige lourde :

$$P_{HW} = \frac{Q^{1,8} \cdot L_{HW} \cdot B}{901,63 \cdot D_{HW}^{4,8}}$$

$$P_{HW} = \frac{106 \times 1,3^{0,8} \times 3000^{1,8} \times 64^{0,2}}{901,63 \times 3^{4,8}}$$

$$P_{HW} = 3095,28 \text{ kPa}$$

4. Masse tige :

$$P_{DC} = \frac{Q^{1,8} \cdot L_{DC} \cdot B}{901,63 \cdot D_{DC}^{4,8}}$$

$$P_{DC} = \frac{124 \times 1,3^{0,8} \times 3000^{1,8} \times 64^{0,2}}{901,63 \times 2,81^{4,8}}$$

$$P_{DC} = 4956,87 \text{ kPa}$$

b. Espace annulaire :**1. Tubage / tige de forage :**

$$P_{DP} = \frac{Q^{1,8} \cdot L_{tub2} \cdot B}{706,96 \cdot (D_{tub2} + D_i)^{1,8} \cdot (D_{tub2} - D_i)^3}$$

$$P_{DP} = \frac{854 \times 1,3^{0,8} \times 3000^{1,8} \times 64^{0,2}}{706,96 (13,375 + 5)^{1,8} (13,375 - 5)^3}$$

$$P_{DP} = 55,99 \text{ kPa}$$

2. Trou / tige de forage :

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

$$P_{DP} = \frac{1454 \times 1,3^{0,8} \times 3000^{1,8} \times 64^{0,2}}{706,96 (12,25 + 5)^{1,8} (12,25 - 5)^3}$$

$$P_{DP} = 164,64 \text{ kPa}$$

3. Trou / tige lourde:

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

$$P_{HW} = \frac{106 \times 1,3^{0,8} \times 3000^{1,8} \times 64^{0,2}}{706,96(12,25 + 8)^{1,8}(12,25 - 8)^3} \quad P_{HW} = 44,65 \text{ kPa}$$

4. Trou / masse tige :

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

$$P_{DC} = \frac{124 \times 1,3^{0,8} \times 3000^{1,8} \times 64^{0,2}}{706,96(12,25 + 6,5)^{1,8}(12,25 - 6,5)^3} \quad P_{DC} = 24,23 \text{ kPa}$$

c. Trépan :

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

$$P_t = \frac{1,3 \times 3000^2}{2959,41(0,95)^2(1,037)^2} \quad P_t = 4073,58 \text{ kPa}$$

d. Equipement de surface :

$$P_s = N_1 \times B$$

$N_I = 161$ (cas n°04) d'après le formulaire du foreur.

$$P_s = 161 \times 1,3^{0,8} \times 64^{0,2}$$

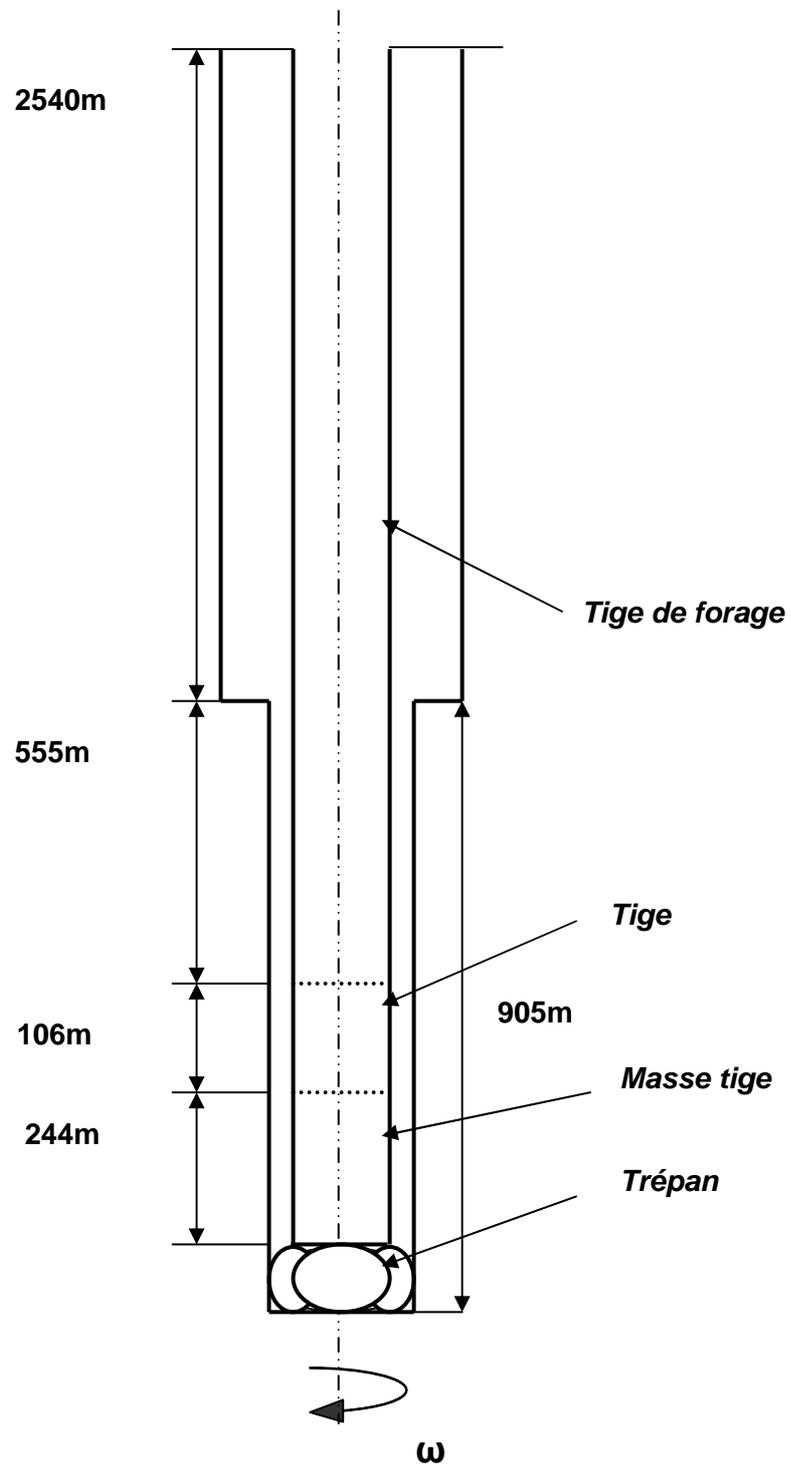
$$P_s = 455,63 \text{ kPa}$$

↪ Les pertes de charge totale :

$$P_{\text{tot}} = 2286,83 + 12297,91 + 3095,28 + 4956,87 + 55,99 \\ + 164,64 + 44,65 + 24,23 + 4073,58 + 455,63$$

$$P_{\text{tot}} = 27455,61 \text{ kPa}$$

IV. Quatrième phase (8½") :

Fig. 20 : Phase 4^{ème} de forage

a. Intérieur de la garniture :**1. Tool-joint :**

$$P_{TJ} = \frac{Q^{1,8} \cdot L_{TJ} \cdot B}{901,63 \cdot D_{TJ}^{4,8}}$$

$L_{TJ} = 0,05 \cdot 3903 = 195 \text{ m}$ et $D_{TJ} = 3 \frac{1}{4}'' = 3,25''$.

$$P_{TJ} = \frac{195 \times 2,03^{0,8} \times 2270^{1,8} \times 69^{0,2}}{901,63 \times 3,25^{4,8}} \quad P_{TJ} = 3409,22 \text{ kPa}$$

2. Tige de forage :

$$P_{DP} = \frac{Q^{1,8} \cdot L_{DP} \cdot B}{901,63 \cdot D_{DP}^{4,8}}$$

$$P_{DP} = \frac{3903 \times 2,03^{0,8} \times 2270^{1,8} \times 69^{0,2}}{901,63 \times 4,276^{4,8}} \quad P_{DP} = 18284,27 \text{ kPa}$$

3. Tige lourde :

$$P_{HW} = \frac{Q^{1,8} \cdot L_{HW} \cdot B}{901,63 \cdot D_{HW}^{4,8}}$$

$$P_{HW} = \frac{106 \times 2,03^{0,8} \times 2270^{1,8} \times 69^{0,2}}{901,63 \times 3^{4,8}} \quad P_{HW} = 2721,35 \text{ kPa}$$

4. Masse tige :

$$P_{DC} = \frac{Q^{1,8} \cdot L_{DC} \cdot B}{901,63 \cdot D_{DC}^{4,8}}$$

$$P_{DC} = \frac{244 \times 2,03^{0,8} \times 2270^{1,8} \times 69^{0,2}}{901,63 \times 2,81^{4,8}}$$

$$P_{DC} = 8575,5 \text{ kPa}$$

b. Espace annulaire :**1. Tubage / tige de forage :**

$$P_{DP} = \frac{Q^{1,8} \cdot L_{tub2} \cdot B}{706,96 \cdot (D_{tub2} + D_i)^{1,8} \cdot (D_{tub2} - D_i)^3}$$

$$P_{DP} = \frac{2540 \times 2,03^{0,8} \times 2270^{1,8} \times 69^{0,2}}{706,96(7 + 5)^{1,8} (7 - 5)^3}$$

$$P_{DP} = 23147,87 \text{ kPa}$$

2. Trou / tige de forage :

$$P_{DP} = \frac{Q^{1,8} \cdot L_{HW} \cdot B}{706,96 \cdot (D_0 + D_i)^{1,8} \cdot (D_0 - D_i)^3}$$

$$P_{DP} = \frac{555 \times 2,03^{0,8} \times 2270^{1,8} \times 69^{0,2}}{706,96(8,5 + 5)^{1,8} (8,5 - 5)^3}$$

$$P_{DP} = 763,45 \text{ kPa}$$

3. Trou / tige lourde:

$$P_{HW} = \frac{Q^{1,8} \cdot L_{DC} \cdot B}{706,96 \cdot (D_0 + D_i)^{1,8} \cdot (D_0 - D_i)^3}$$

$$P_{HW} = \frac{106 \times 2,03^{0,8} \times 2270^{1,8} \times 69^{0,2}}{706,96(8,5 + 5)^{1,8} (8,5 - 5)^3}$$

$$P_{HW} = 145,81 \text{ kPa}$$

4. Trou / masse tige :

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

$$P_{DC} = \frac{244 \times 2,03^{0,8} \times 2270^{1,8} \times 69^{0,2}}{706,96(8,5 + 6,5)^{1,8} (8,5 - 6,5)^3}$$

$$P_{DC} = 1488,09 \text{ kPa}$$

c. Trépan :

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

$$P_t = \frac{2,03 \times 2270^2}{2959,41(0,95)^2 (0,902)^2}$$

$$P_t = 4813,74 \text{ kPa}$$

d. Equipement de surface :

$$P_s = N_1 \times B$$

$N_I = 161$ (cas n°04) d'après le formulaire du foreur.

$$P_s = 161 \times 2,03^{0,8} \times 69^{0,2}$$

$$P_s = 661,71 \text{ kPa}$$

↳ **Les pertes de charge totale :**

$$P_{\text{tot}} = 3409,22 + 18284,27 + 2721,35 + 8575,5 + 23147,87 \\ + 763,45 + 145,81 + 1488,09 + 4813,74 + 661,71$$

$$P_{\text{tot}} = 64011,01 \text{ kPa}$$

Nous citons les pertes de charge dans chaque phase de forage :

↳ 1^{ère} phase: $P_{\text{tot}} = 16113,46 \text{ kPa}$;

↳ 2^{ème} phase: $P_{\text{tot}} = 20615,89 \text{ kPa}$;

↳ 3^{ème} phase : $P_{\text{tot}} = 27455,61 \text{ kPa}$.

↳ 4^{ème} phase : $P_{\text{tot}} = 64011,01 \text{ kPa}$

Ce qui nous fait apparaître que la perte de charge augmente à chaque phase même que le débit réel diminue, à cause de certains facteurs traités après.

D'après ces résultats nous calculons la puissance mécanique pour chaque phase en adoptant le rendement interne et le rendement de la transmission (des chaînes) respectivement égale à 0,9 et 0,95.

III .1.2. Calcul de la puissance mécanique :

A. Première phase :

$$P_{m1} = \frac{P_{ref1} \cdot Q_{r1}}{\eta_m \cdot \eta_t \cdot 44750}$$

$$P_{m1} = \frac{16113,46 \times 3700}{0,9 \times 0,95 \times 44750}$$

$$P_{m1} = 1558,23 \text{ HP}$$

HP : Hors Power (puissance en chevaux) ;

1HP=1.013 chevaux vapeurs.

B. Deuxième phase :

$$P_{m2} = \frac{P_{ref2} \cdot Q_{r2}}{\eta_m \cdot \eta_t \cdot 44750}$$

$$P_{m2} = \frac{20615,89 \times 3300}{0,9 \times 0,95 \times 44750}$$

$$P_{m2} = 1778,10 \text{ HP}$$

C. Troisième phase :

$$P_{m3} = \frac{27455,61 \times 3000}{0,9 \times 0,95 \times 44750}$$

$$P_{m3} = \frac{P_{ref3} \cdot Q_3}{\eta_m \cdot \eta_t \cdot 44750}$$

$$P_{m3} = 2152,75 \text{ HP}$$

D. Quatrième phase :

$$P_{m4} = \frac{64011,01 \times 2270}{0,9 \times 0,95 \times 44750}$$

$$P_4 = \frac{P_{ref\ 3} \cdot Q_3}{\eta_m \cdot \eta_t \cdot 44750}$$

$$P_{m4} = 3797,71 \text{ HP}$$

III.1.3. Calcul de la puissance hydraulique pour chaque phase :

$$P_{hr} = \frac{P_{ref} \cdot Q_r}{44750} = P_m \cdot \eta_m \cdot \eta_t$$

A. Première phase :

$$P_{hr1} = 1332,29 \text{ HP}$$

B. Deuxième phase :

$$P_{hr2} = 1520,28 \text{ HP}$$

C. Troisième phase :

$$P_{hr3} = 1840,6 \text{ HP}$$

D. Quatrième phase :

$$P_{hr4} = 3247,04 \text{ HP}$$

On désigne le tableau des résultats de calcul :

Phase	débit	Puissance hydraulique	Puissance mécanique	Pression
	[l/mn]	[HP]	[HP]	[kPa]
26"	3700	1332,29	1558,23	16113,46
16"	3300	1520,28	1778,1	20615,86
12 ^{1/4} "	3000	1840,6	2152,75	27455,61
8 ^{1/2} "	2270	3247,04	3797,71	64011,01

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 NATIONAL OIL WEL 12P160 à simple effet .Avec l'utilisation d'un groupe des pompes on pourra assurer une continuité de la circulation sans arrêt.

III .1.4. Nombre de pompe dans chaque phase :

A. Détermination de nombre de coups par minute pour chaque phase :

Dans le chantier (TP 194), 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.

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

a. Première phase :1 coup  16,68 l (volume/course)

$$N_1 = \frac{Q_1}{Q_{unitaire}} = \frac{3700}{16,68}$$

$$N_1 \approx 222 \text{ coup/mn}$$

b. Deuxième phase :

$$N_2 = \frac{Q_2}{Q_{unitaire}} = \frac{3300}{16,68}$$

$$N_2 \approx 198 \text{ coup/mn}$$

c. Troisième phase :

$$N_3 = \frac{Q_3}{Q_{unitaire}} = \frac{3061}{16,68}$$

$$N_3 \approx 184 \text{ coup/mn}$$

d. Quatrième phase :

$$N_4 = \frac{Q_4}{Q_{unitaire}} = \frac{2270}{16,68}$$

$$N_4 \approx 136 \text{ coup/mn}$$

B. Résultats de nombre de coups par minute pour chaque phase :

Phase	26"	16"	12 ^{n/4}	8 ^{n/2}
(Coups/mn)	222	198	184	136

Mais la 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.

III.1.5. Calcul du diamètre de la chemise de chaque phase :

Où :

D_i : Diamètre intérieur de la chemise [m] ;

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

Q_i : Débit de la boue de chaque phase (m^3/s) ;

N : Nombre des coups par minute, $n=120$ coups/mn. (Nombre des coups Maximal de la pompe) ;

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

α : Coefficient du débit de la pompe, $\alpha = 0,90$

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

A. Première phase :

$$Q_1 = \frac{3700}{2} = 1850 \text{ } \ell / \text{mn} \quad (\text{Débit de la boue pour une seule pompe})$$

$$D_1 = \sqrt{\frac{25,4 \times 1850 / 60 \times 1000}{0,9 \times 0,3048 \times 120}} = 0,154 \text{ m}$$

$$D_1 = 154,2 \text{ mm}$$

B. Deuxième phase :

$$Q_2 = \frac{3300}{2} = 1650 \text{ } \ell / \text{min} \quad (\text{Débit de la boue pour une seule pompe})$$

$$D_2 = \sqrt{\frac{25,4 \times 1650 / 60 \times 1000}{0,9 \times 0,3048 \times 120}} = 0,1457 \text{ m}$$

$$D_2 = 145,7 \text{ mm}$$

C. Troisième phase :

$$Q_3 = \frac{3061}{2} = 1500 \text{ } \ell / \text{min} \quad (\text{Débit de la boue pour une seule pompe})$$

$$D_3 = \sqrt{\frac{25,4 \times 1500 / 60 \times 1000}{0,9 \times 0,3048 \times 120}} = 0,13889 \text{ m}$$

$$D_3 = 138,89 \text{ mm}$$

D. Quatrième phase :

$$Q_4 = \frac{2270}{2} = 1135 \ell / \text{min}$$

(Débit de la boue pour une seule pompe)

$$D_4 = \sqrt{\frac{25,4 \times 1135 / 60 \times 1000}{0,9 \times 0,3048 \times 120}} = 0,14029 \text{ m}$$

$$D_4 = 120,8 \text{ mm}$$

D'après la plage des diamètres normalisés, on choisit les chemises suivantes :

$$D_1 = 154,2 \text{ mm} \quad \longrightarrow \quad D_1 = 6''^{1/4}$$

$$D_2 = 145,7 \text{ mm} \quad \longrightarrow \quad D_1 = 5''^{1/2}$$

$$D_3 = 138,89 \text{ mm} \quad \longrightarrow \quad D_3 = 5''^{1/2}$$

$$D_{4=} 120,8 \text{ mm} \quad \longrightarrow \quad D_3 = 5''^{1/2}$$

III .1.6. Comparaison entre les pertes de charge totale théorique et les pertes de charge Réel dans chaque phase :

Les Phases \ P tot	Les pertes de charge totale théorique (KPA)	Les pertes de charge totale réel (KPA)
Phase 26''	16113,46	14502
Phase 16''	20615,86	18348
Phase 12'' ^{1/4}	27455,61	24161
Phase 8'' ^{1/2}	64011,01	57610

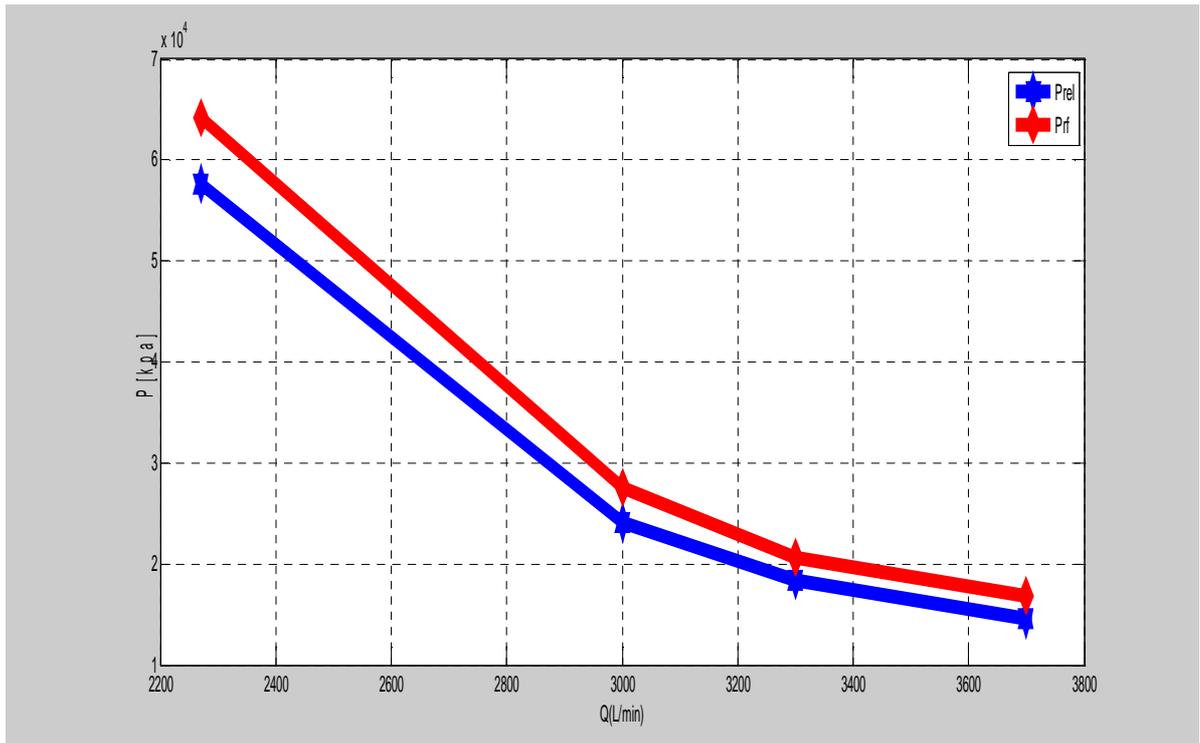


Fig 21 : Comparaison entre les pertes de charge totale théorique et les pertes de charge Réel.

III.2. Programme MATLAB.

%calcul de la pompe a boue

clear all; clc

format long

%%%

% perte de charge a l'interieur 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 3000 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
plot(Ldc,Pdc); grid on

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% perte de charge dans l'espace annulaire%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% ltrou-tige
D0=[26 16 12.25 8.5]
Di=input('Di=')
Ldp=[75.05 291 1454 555]
for i=1:length(Ldp)
    B(i)=d(i)^0.8*mu(i)^0.2
    Pedp(i)=Q(i)^1.8*Ldp(i)*B(i)/((706.96*(D0(i)+Di)^1.8)*((D0(i)-Di)^3))
end
%trou-tigelourde
D0=[26 16 12.25 8.5]
Di=input('Di=')
Lhw=input('Lhw=')
for i=1:length(D0)
    B(i)=d(i)^0.8*mu(i)^0.2
    Pehw(i)=Q(i)^1.8*Lhw*B(i)/((706.96*(D0(i)+Di)^1.8)*((D0(i)-Di)^3))
end
%tou-masse tige
D0=[26 16 12.25 8.5]
Di1=input('Di1=')
Ldc=[124.84 143.23 124.48 244.87]

for i=1:2
    B(i)=d(i)^0.8*mu(i)^0.2
    Pedc1(i)=Q(i)^1.8*Ldc(i)*B(i)/((706.96*(D0(i)+Di1)^1.8)*((D0(i)-Di1)^3))
end
Pedc1=[Pedc1 0 0]
Di2=input('Di2=')
for i=3:4
    B(i)=d(i)^0.8*mu(i)^0.2
    Pedc2(i)=Q(i)^1.8*Ldc(i)*B(i)/((706.96*(D0(i)+Di2)^1.8)*((D0(i)-Di2)^3))
end
end

```

```

% Tige-tubage
Di=input('Di=')
Ltdp=[0 313 854 2540]
Dt=[0 18.625 13.375 7]
for i=2:length(Ltdp)
    B(i)=d(i)^0.8*mu(i)^0.2
    Ptdp(i)=Q(i)^1.8*Ltdp(i)*B(i)/((706.96*(Dt(i)+Di)^1.8)*((Dt(i)-Di)^3))
End

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%% perte decharge au niveau de trépon%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
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
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%% perte decharge 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 mecanique 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
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Diametre 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
```

III .3. Conclusion :

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%.

Conclusion

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.

Lors du forage des puits de pétrole et du gaz, la circulation de la boue est nécessaire et plus 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 d'énergies massiques réalisé, conformément au programme de forage du puits donné, montre que le choix de la pompe triplex à simple effet est satisfaisant, elle s'adapte convenablement aux conditions de ce forage.

BIBLIOGRAPHIE

1. « Machines, mécanismes et installation de forage », A. ILSKI, KASSIANOV, V. POROCHINE, école supérieur Moscou.
2. « Le forage rotary; planches », Jean NOUGAROU, société des éditions technip, 1974.
3. « Le forage rotary; textes », Jean NOUGAROU, société des éditions technip, 1974.
4. « Forage rotary; les circuits hydrauliques », P.MOTARD, éditions technip, juin 1974.
5. « Forage rotary; la sécurité sur la sonde », P.MOTARD, éditions technip, 1971.
6. « sécurité technique dans l'industrie pétrolière », P. TOUMANIAN, institut national des hydrocarbures et de la chimie ; Boumerdes, 1979.
7. « la maintenance industrielle », CHAIB Rachid, édition université MENTOURI de Constantine, 2003/2004.
8. « Le forage d'aujourd'hui », 2^{eme} partie », Publications de l'institut français du pétrole, édition 1970.
9. « formulaire du foreur », Gilles GABOLDE, Jean-Paul NGUYEN, publications de l'institut français du pétrole, édition 1989.

Résumé

Les techniques d'exploitation pétrolière recouvrent un ensemble de spécialités qui peuvent être regroupées dans les trois activités principales suivantes : Le gisement; Le forage; La production.

Le forage joue un rôle capital dans l'exploitation pétrolière, ce rôle est d'autant plus important que le forage représente dans toute prospection, l'opération la plus onéreuse.

Le procédé le plus utilisé de nos jours dans les recherches de pétrole est le forage rotary . La sonde de forage rotary est l'appareillage nécessaire à la réalisation des trois fonctions suivantes : Poids sur l'outil ; Rotation de l'outil ; Injection d'un fluide.

Une injection continue de boue dans le trou est assurée pendant toute la durée du forage des pompes qui aspirent la boue à partir bacs et la refoule par l'intermédiaire de la colonne montante au flexible d'injection dans l'intérieur du train de sonde. La boue descend ainsi jusqu'au fond du trou, sort par les événements de trépan et remonte par l'espace annulaire compris entre les tiges et le trou foré. Cette boue qui remonte du fond du trou est chargée de déblais de forage aussi dès son arrivée à la surface, passe sur les équipements d'épuration et de la préparation jusqu'au bac d'aspiration.

Les pompes de forage sont les consommateurs principaux de la puissance consommée par l'installation de forage. C'est une pompe volumétrique alternative à piston à mécanisme bielle-manivelle, de type triplex à simple effet construite de :

- ↳ La partie mécanique qui sert à transformer le mouvement de rotation au mouvement de translation alternatif communiqué au piston ;
- ↳ La partie hydraulique est l'ensemble de tous les éléments qui permettent la circulation du fluide de forage.

La connaissance d'une part des lois de l'écoulement des fluides de forage et 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 et de déterminer le chemisage de la pompe et calculer les pression de refoulement théorique et les comparer avec les pression réelles.

Mot clé : forage, boue, injection, pompe volumétrique, puissance mécanique, puissance hydraulique, débit, pression réel, pression de refoulement théorique, chemise.

Resume

Petroleum Development techniques cover a set of specialties that can be grouped into the following three main activities: The deposit; The drilling; production.

Drilling plays an important role in oil production, this role is even more important that drilling is in any exploration, the most expensive operation.

The most used method nowadays in petroleum research is the rotary drilling.

The rotary drilling probe is the equipment necessary to achieve the following three functions:

Weight on bit; Tool rotation; injection of a fluid.

A continuous injection of slurry in the hole is ensured lying the whole duration of drilling pumps which suck the sludge from the tanks and discharges through the riser at injection hose in the interior of the drill string. Mud and descends to the bottom of the hole, out through the bit and back vents through the annular space between the string and the borehole. This mud that rises from the hole bottom is loaded with drill cuttings as soon as he arrived at the surface, passes on sewage equipment and preparation to suction tray.

Borehole pumps are the main consumers of the power consumed by the rig It is a positive displacement pump piston reciprocating a crank mechanism, single purpose built triplex of:

- The mechanical part which serves to transform the rotational movement to reciprocating translational movement imparted to the piston;

- The hydraulic part is the set of all elements that allow the circulation of the drilling fluid.

Knowledge of a part of the laws of the flow of the other drilling fluids from flow needed to go spoil allows established a calculation of hydraulic power for a given well.

The aim of this calculation is to determine the mechanical power to be installed on the borehole pump and the necessary power of electric drive motors of the pump and to determine the lining of the pump and calculating the discharge pressure and compared with the real pressure.

Keyword: drilling mud injection, displacement pump, mechanical power, hydraulic power, flow, real pressure, discharge pressure theoretical shirt.