

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 inférieure à ceux des pompes à piston. [5]

II.2 Description de la pompe triplex à simple effet « national Oil- Well 12P160 » :

C'est une pompe volumétrique alternative à piston a mécanisme bielle-manivelle, de type triplex à simple effet (voir figure II.1), 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). Son rôle est :

- Assure la circulation du fluide de forage dans le puits ;
- Refroidissement et lubrification de L'outil de forage ;
- Remonté ou déplacements des cuttings du fond du puits jusqu'au surface.

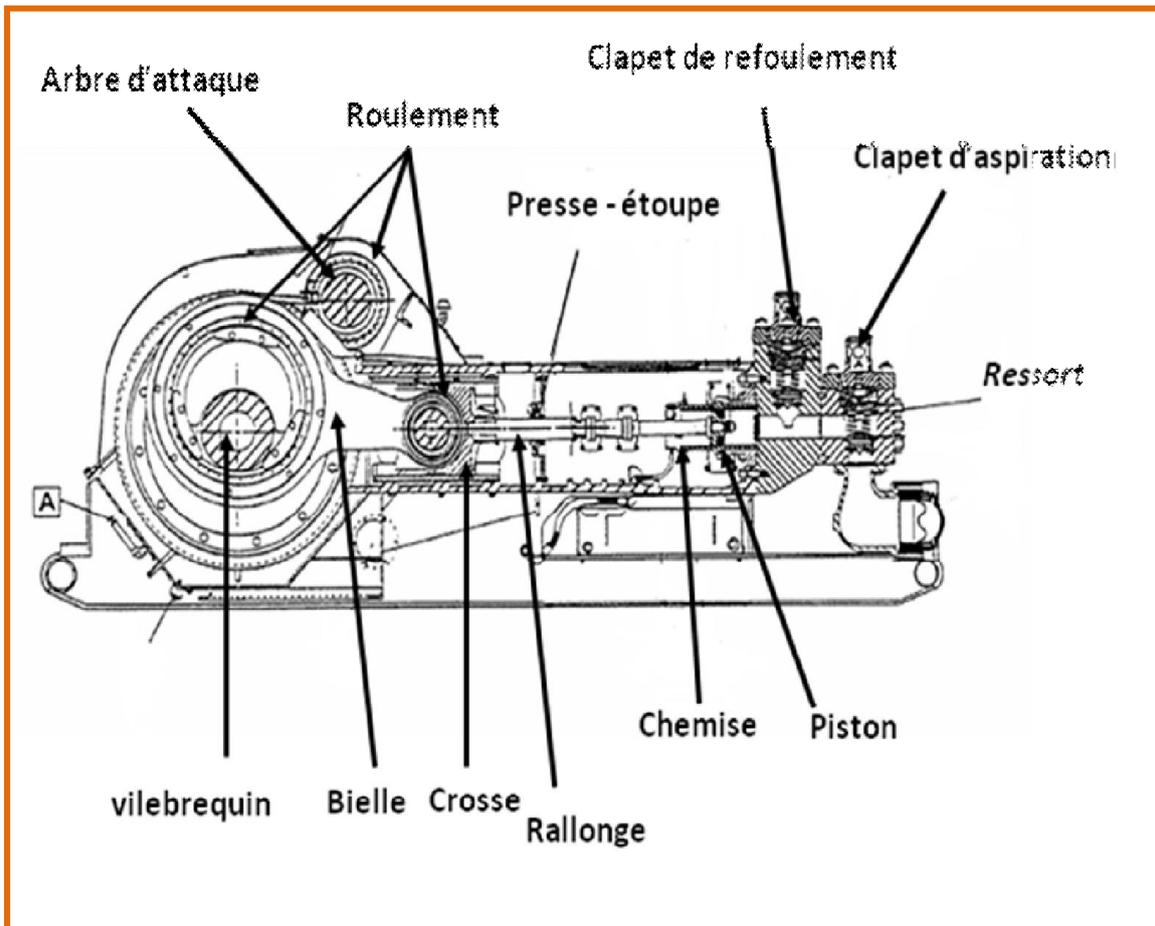


Figure II. 1 : Pompe à boue en coupe

Elle se compose de deux parties principales montées sur un châssis ski qui sont la partie mécanique et la partie hydraulique. [5]

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. [5]

A. La partie mécanique :

Le côté mécanique d'une pompe à boue représente la partie la plus importante de la valeur d'achat (voir figure II.2), 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 ;
- 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. [5]

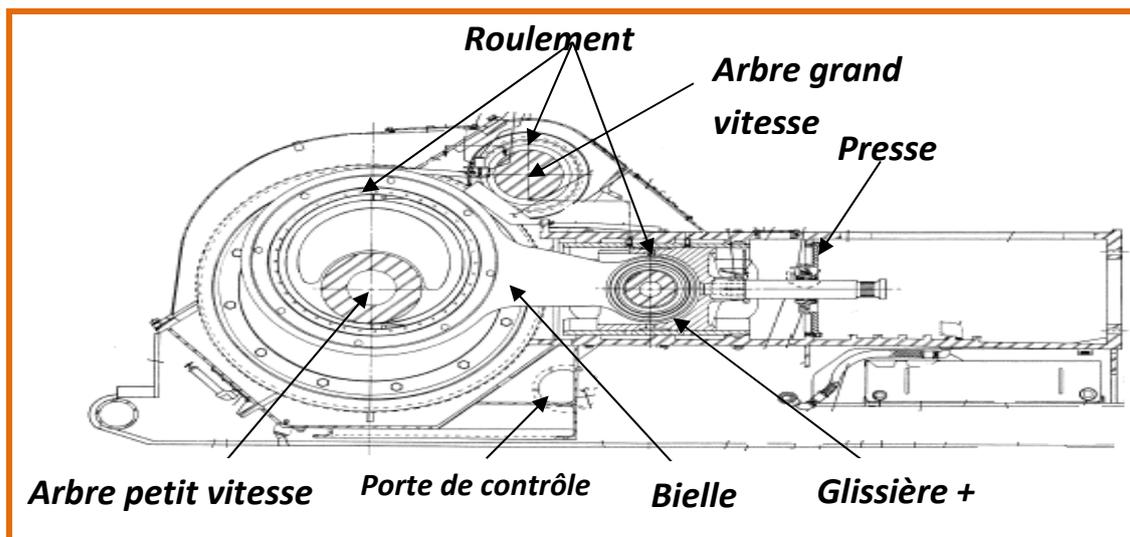


Figure II. 2 : Partie mécanique

a. L'arbre grande vitesse :

C'est l'arbre d'entraînement de la pompe (voir figure II.3), 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

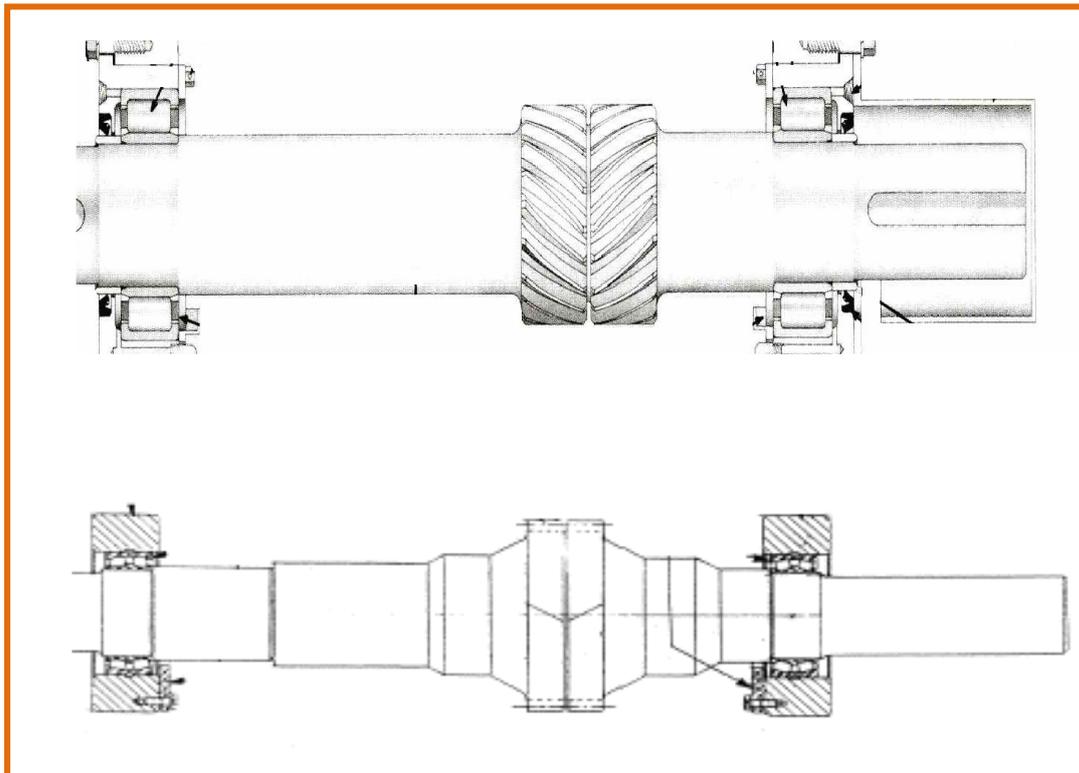


Figure II.3 : L'arbre grande vitesse

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) (voir figure II.4).

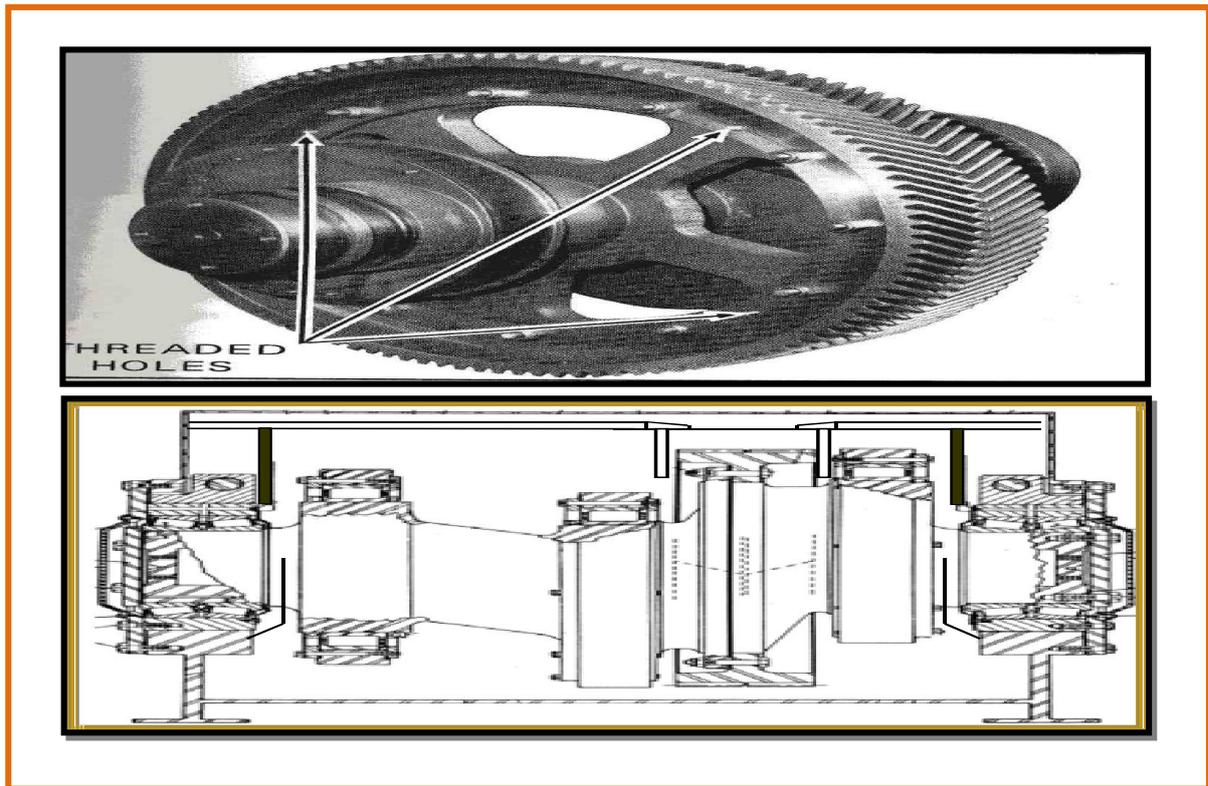


Figure II.4 : L'arbre petite vitesse

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.

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 (voir figure II.5), les pieds des bielles sur les crosses. L'articulation de ces dernières sur les crosses se fait par l'intermédiaire de roulements.

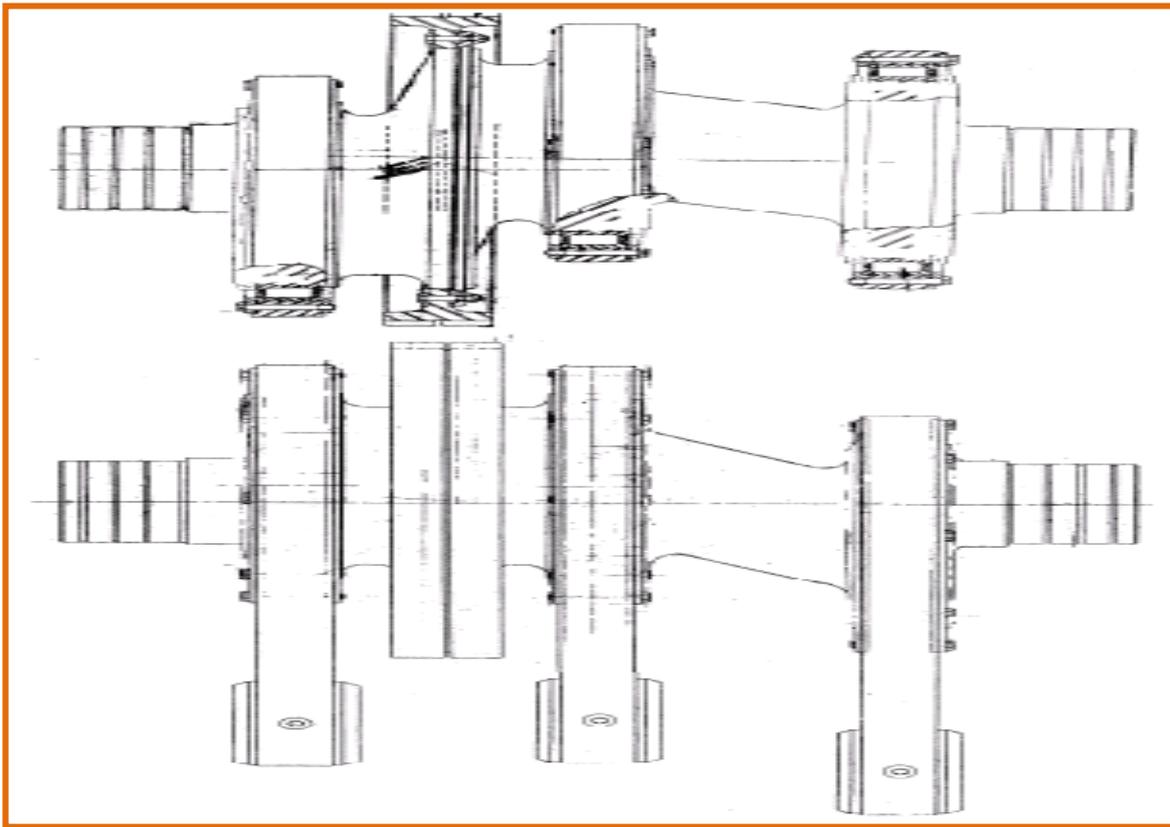


Figure II.5 : Système bielle- manivelle

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 (voir figure II.6), ils supportent des charges radiales et axiales élevées et importantes.

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



Figure II.6: 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 II.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. [5]

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 (voir figure II.7), 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.

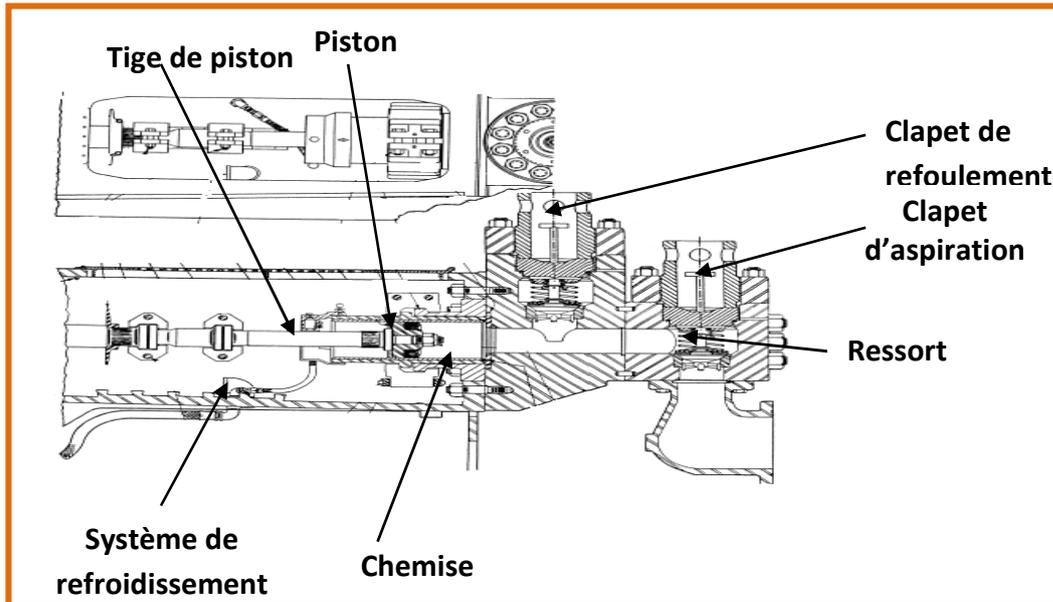


Figure II.7 : partie hydraulique

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 (voir figure II.8).

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.

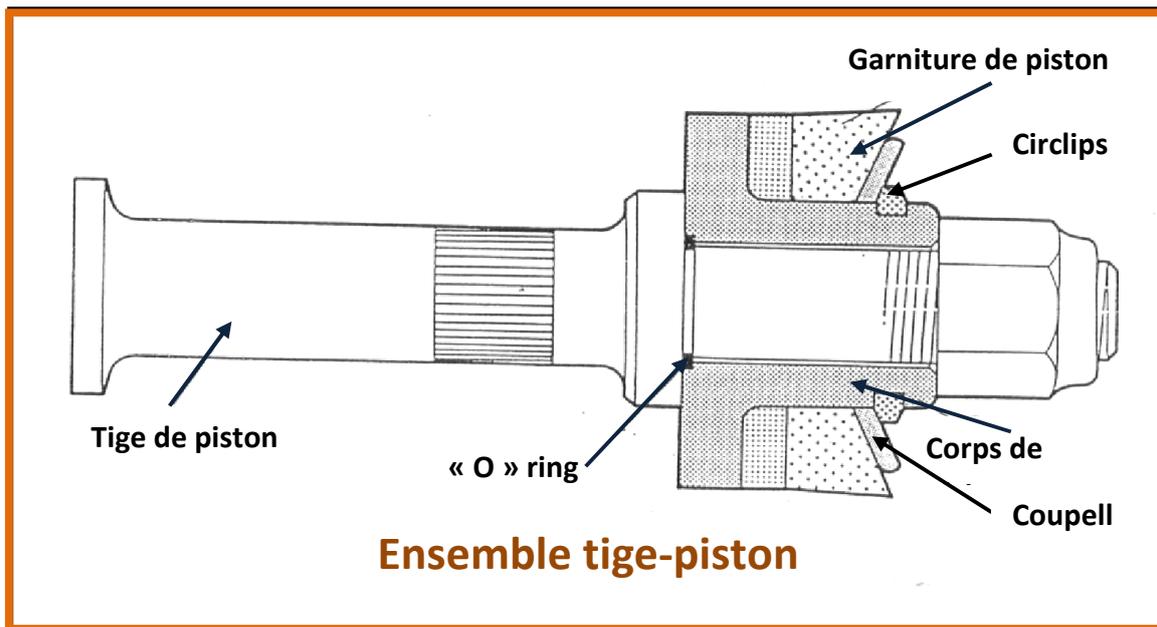


Figure II.8 : Le piston et la tige de piston

c. Les chemises :

Les chemises des pompes sont des pièces usinées avec grande précision (voir figure II.9).

La paroi intérieure est traitée pour lui donner une grande dureté superficielle et la résistance à l'usure désirée.

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



Figure.II.9 : La chemise

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 (voir figure II.10).

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. [5]

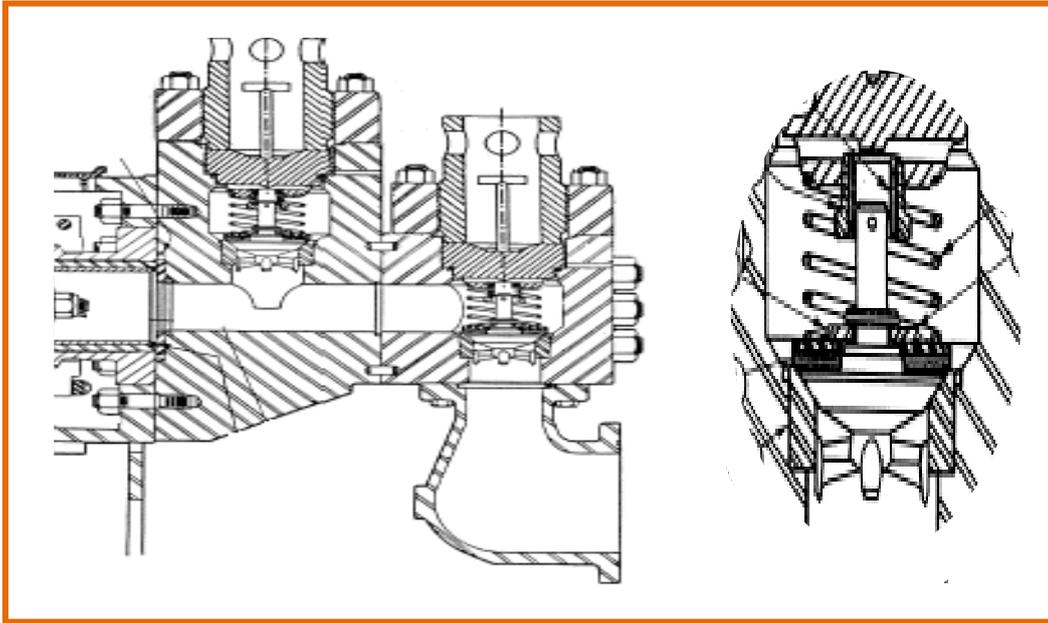


Figure II.10 : Sièges et clapets

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. [4]

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

II.3 Auxiliaires 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 Les amortisseurs de pulsations :

A. Sur l'aspiration :

L'ouverture par séquence des clapets d'aspiration crée une variation très rapide de la pression de boue dans la conduite d'aspiration des pompes triplex (voir figure II.11).

Pour atténuer ce phénomène, on y installe un amortisseur de pulsation. Il est constitué d'une membrane au-dessus duquel est fermé de l'air sous environ 40 psi. Cette membrane est en contact avec la boue par sa surface inférieure.

Le contrôle de la pression d'air au-dessus de la membrane se fait très facilement ; Lorsque l'ensemble fonctionne ; le dessus de la membrane doit apparaître dans l'axe du regard de contrôle.

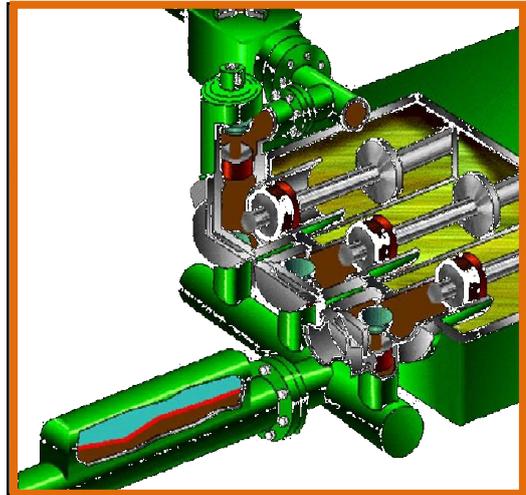


Figure II.11 : Amortisseur de pulsation Sur l'aspiration

B. Sur le refoulement :

Le débit instantané d'une pompe est très irrégulier, ceci est dû Pour les pompes triplex (voir figure II.12), suralimentées, au "battement" très rapide (110 à 130 coups/min).

Ces variations de débit amènent des variations de pression importantes qui se traduisent par des vibrations et des chocs néfastes :

- ❖ Sur la pompe elle-même ;
- ❖ Sur le manifold de refoulement ;
- ❖ Sur la colonne montante et sur le flexible d'injection.

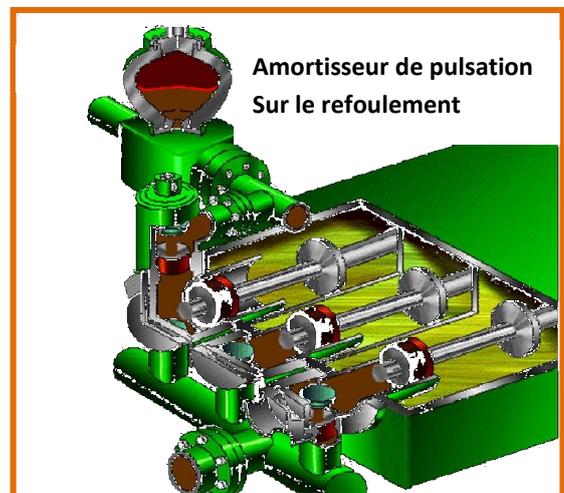


Figure II.12 : Amortisseur de pulsation Sur le refoulement

Pour y remédier, les pompes de forage sont toutes équipées d'amortisseur de pulsations sur le refoulement. [5]

↳ Amortisseur de pulsations type "HYDRIL" :

Ce le type le plus courant (voir figure II.13). Il est constitué :

- D'un corps en acier moulé de forme sphérique goujonné ;
- D'un couvercle boulonné à la partie supérieure, percé de 02 trous taraudés (manomètre et robinet pour le remplissage) ;
- D'une bride à la partie inférieure s'adaptant sur la pompe ;
- A l'intérieur se trouve une membrane de caoutchouc de forme demi sphérique, dont le bourrelet de l'ouverture sert de joint au couvercle ;
- Dans le fond du diaphragme est fixe un disque stabilisateur en caoutchouc.

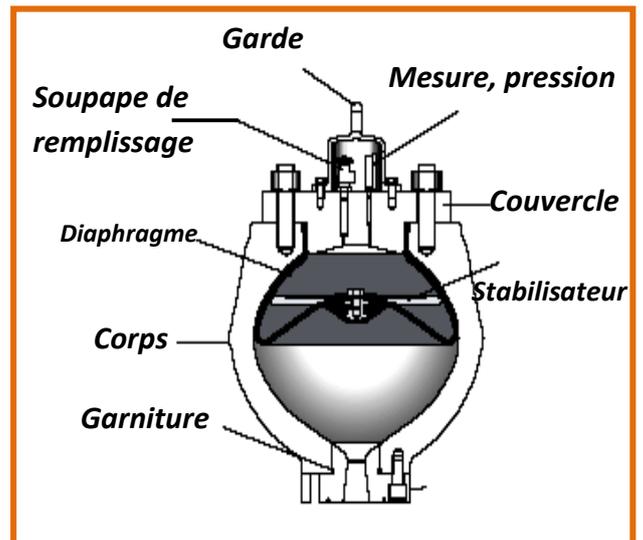


Figure II.13 : L'amortisseur de pulsations

❖ **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. Lorsque la pression de boue diminue, régularisant ainsi le débit et, par suite, les fluctuations de pression. [2]

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.

Il existe plusieurs types de ces soupapes, parmi lesquels on distingue :

- ❖ Les soupapes de décharge à ressort ;
- ❖ Les soupapes de décharge à clou ;
- ❖ Les soupapes de décharge à diaphragme ou à membrane.

A. Soupapes de décharge à ressort :

Elle fonctionne lorsqu'on atteint la pression critique, le clapet se soulève et comprime le ressort ce qui facilite le passage du liquide vers les bacs. Le réglage du ressort se fait par serrage d'un écrou selon la pression critique de la chemise utilisée.

B. Soupapes de décharge à clou :

Elle comprend un piston avec une tige fixée sur le corps par un clou qui passe dans la tige de piston.

A la pression critique, le piston se soulève et cisaille le clou et laisse le passage pour le liquide qui revient au bac. Le diamètre du clou est choisi en fonction de la pression critique de la chemise utilisée.

C. Les soupapes de décharge à diaphragme :

Les soupapes à diaphragme fonctionnent à la pression limitée ; lorsque la pression dépasse sa limite, le diaphragme se déchire et ouvre l'orifice de vidange. [2]

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 (voir figure II.14) :

- 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.

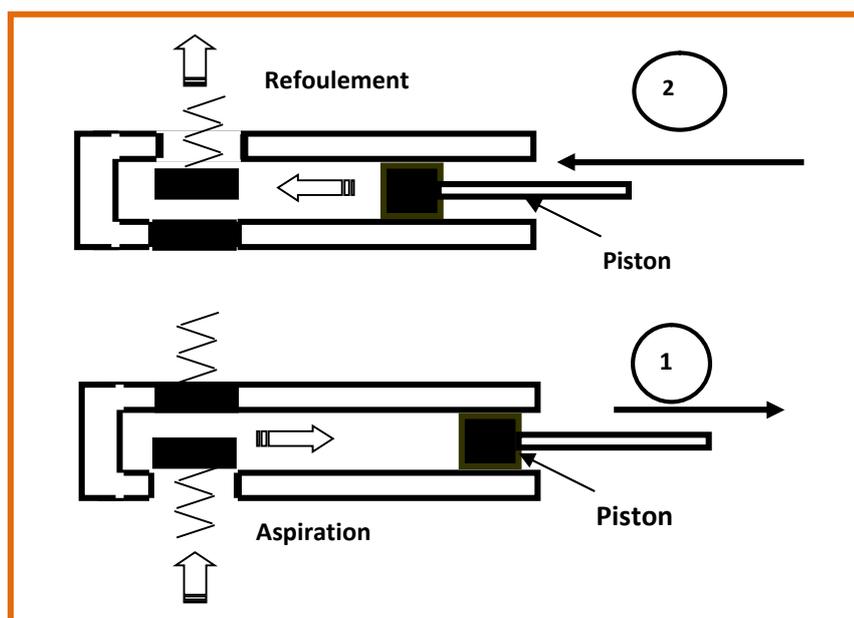


Figure II.14 : Principe de fonctionnement des pompes triplex

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). [5]

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 (voir figure II.15), il dépend du mode de calage du piston les uns par rapport aux autres.

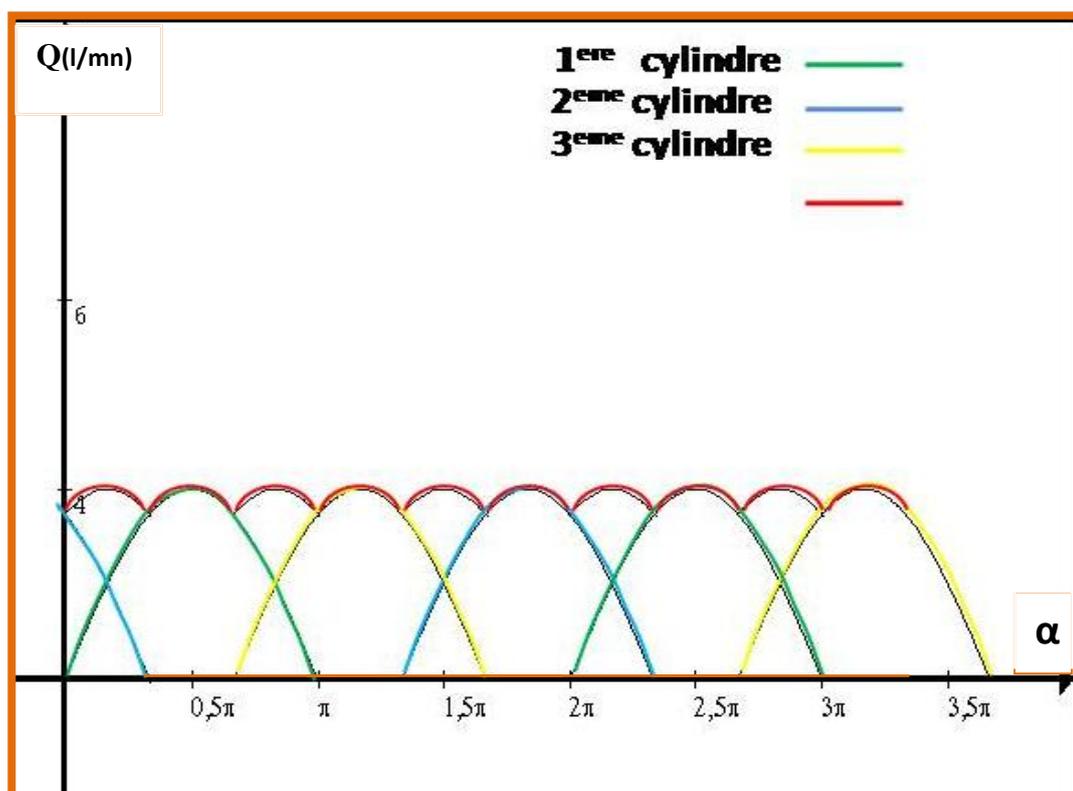


Figure II.15 : Débit instantané de la pompe triplex à simple effet

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 on est en $2/3$).

Le principe simple effet et le calage régulier des pistons (3 fois 120°) entraînent des fluctuations de débit relativement régulier. L'aptitude de ces variations est par ailleurs faible. Elle impose malgré tout l'utilisation d'amortisseur de pulsation sur le refoulement. [5]

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.

Une pompe centrifuge comprend deux parties :

- Une partie mobile ou rotor,
- Une partie fixe ou corps de pompe.

La partie mobile comporte un arbre accouplé au moteur. Sur cet arbre est clavetée une roue portant des aubes ou ailettes. Ce sont ces aubes qui, par l'intermédiaire de l'arbre transmettent au liquide le mouvement de rotation du moteur.

L'arbre se repose sur le corps de pompe par l'intermédiaire des paliers, dont le rôle est de diminuer les pertes mécaniques dues au frottement de l'arbre sur le corps de pompe.

Les presse-étoupe assurent l'étanchéité entre l'arbre et le corps de la pompe.

La partie fixe au corps de pompe comprend les orifices d'aspiration et de refoulement, et un récupérateur ou un amortisseur qui a pour but de transformer en pression une partie de la vitesse communiquée au liquide par le rotor. [7]

II.5.2 Principe de montage :

En pratique les pompes de suralimentation sont montées de façon à aspirer directement dans le bassin (parfois par l'intermédiaire de la conduite d'aspiration de la pompe) et à refouler dans cette même conduite (voir figure II.16).

Elles sont choisies pour que leur débit, la pression de refoulement et la puissance fournie soient suffisants pour répondre aux besoins de la pompe de forage à débit maximal (chemisage maximale, 120 coups/min). Ces caractéristiques (débit, pression, puissance fournie) dépendent du diamètre de la roue mobile, de sa vitesse et de puissance du moteur d'entraînement. [7]

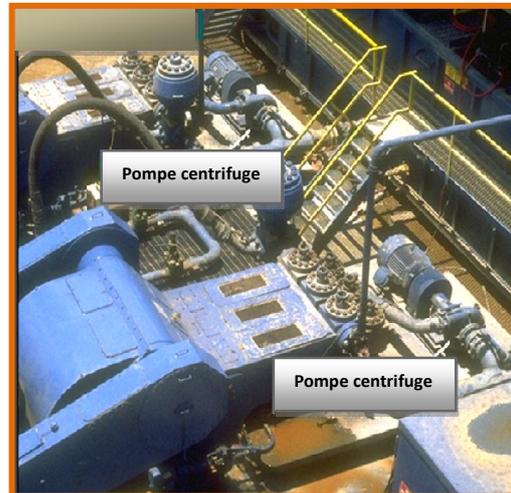


Figure II. 16 : Les pompes de suralimentation

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 :

$$V = \frac{\pi \times d^2}{4} \times C \quad \text{Où :} \quad \dots\dots\dots(1)$$

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", 17" 1/2), plus petit en fin de forage (8" 1/2, 6").

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.

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

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.

$$\eta_v = \frac{Q_p}{Q_{th}} \dots\dots\dots(3)$$

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 :

Les pompes à boue sont des pompes à haute pression, les pressions de refoulement requises pouvant parfois atteindre des valeurs très élevées de l'ordre de 250 kgf/cm².

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 :

$$P_h = P_r \times Q_r \dots\dots\dots(4)$$

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. [5]

II.7 Les avantages et les inconvénients de la pompe triplex simple effet :***II.7.1 Les avantages :***

- Facilité d'entretien et de surveillance. Les chemises sont apparentes, toute fuite aux pistons est vite décelée.
- Les interventions sur la pompe sont faciles et rapides du fait du faible poids des pièces d'usure, de l'absence du presse-étoupe, du joint de chemise plus simple.
- Souplesse dans l'utilisation qui permet :
 - ↳ des débits importants à des pressions non négligeables.
 - ↳ des débits faibles ou moyens à des pressions élevées.
- Faible poids et encombrement.

II.7.2 Les inconvénients :

- Suralimentation nécessaire à 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.

Du fait de l'importance de ce refroidissement, il est recommandé de doubler le circuit, c'est-à-dire de le brancher sur le circuit d'eau générale de l'appareil, pour le cas de défaillance de la pompe à eau. [4]