

Introduction :

Le forage est une technique ou un moyen pour traverser des terrains (roches) en les désagrégant tout en évacuant les déblais, afin d'atteindre un but qui peut être du gaz, pétrole, eau ou un gisement minier.

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.

Pour faire le forage, il nécessite un moyen technique c'est l'appareil de forage, et dans ce chapitre on a fait une étude sur l'appareil de forage, leur description, classification, construction et fonctionnement.

11.1. Description de l'appareil de forage :

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

11.2. Classification :

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

- La capacité de profondeur de forage maximale
- La puissance au treuil

La règle du pouce donne d'une manière pragmatique : « Pour 100 foot de forage, il faut 10 HP de puissance au treuil »

D'où:

Appareil léger	4921 foot- 6561 foot	1500m - 2000m	650 HP
Appareil moyen	11482 ft	3500m	1300 HP
Appareil lourd	19685 ft	6000m	2000 HP
Appareil super lourd	26246 ft- 32805 ft	8000m - 10000m	3000 HP

11.3. Fonctions d'un appareil de forage :

Les installations de forage employées pour le forage rotary des puits profonds représentent un ensemble de différentes machines, mécanismes et bâtiments. Voir la **FigureII.1**.

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

- ❖ Descente de la colonne de tige de forage dans le puits.
- ❖ Rotation d'un outil de forage.
- ❖ Injection du liquide de forage dans le puits afin de remonter les déblais de terrain découpés, refroidir le trépan et consolider les parois du puits.

- ❖ Rallongement de la colonne de tiges de forage par la mesure de l'augmentation de la profondeur du puits.
- ❖ Montée de la colonne des tiges pour remplacer un outil de forage utilisé.
- ❖ Evacuation de déblais du terrain par le liquide de forage et préparation d'un nouveau liquide.
- ❖ Descente des colonnes de tubage.

L'ensemble de tous ces équipements qui travaillent au-dessus de la surface permettent d'assurer trois fonctions principales :

II.3.1. Fonction rotation :

Pour faire tourner l'outil, on visse au sommet des tiges, de forme cylindrique, une autre tige de section carrée ou hexagonale, appelée tige d'entraînement [kelly], et on l'introduit dans un moyeu appelé table de rotation [rotary table].

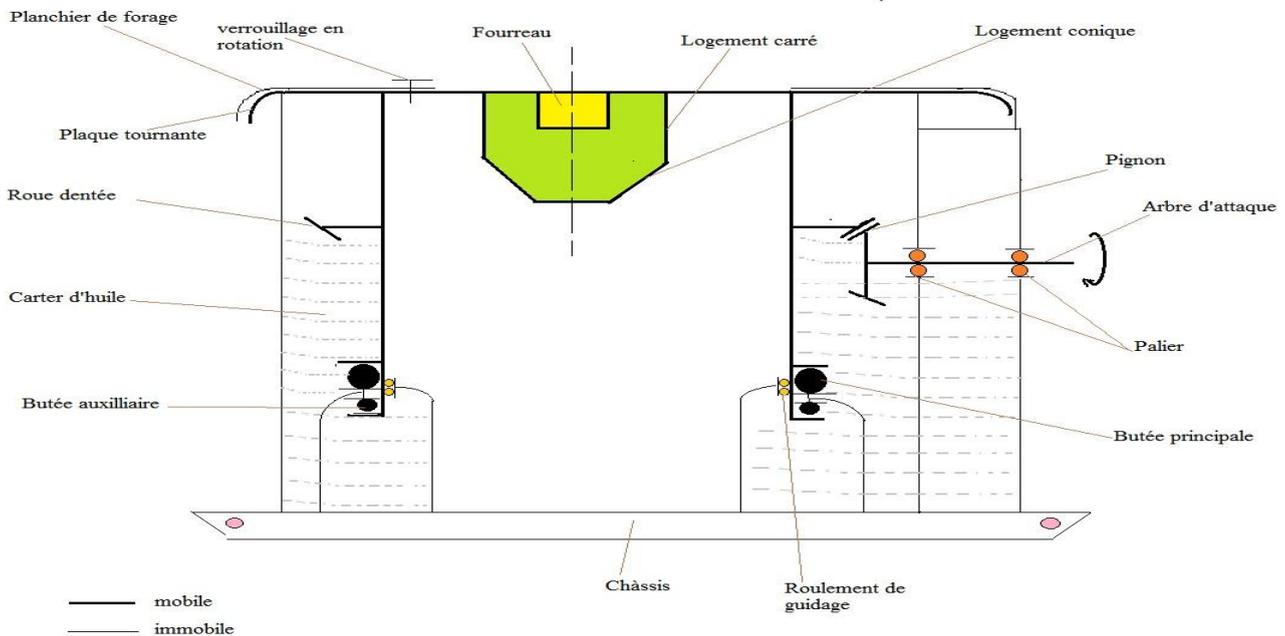


Figure II.1 : Table de rotation

Caractéristiques de la table de rotation:

- ❖ Les Tables de Rotation tournent à des vitesses 40 à 500 tr/min.
- ❖ La Table de Rotation ne consomme pas beaucoup de puissance.
- ❖ Elles sont caractérisées par le diamètre de passage : 27" 1/2 ; 20" 1/2 ; 17" 1/2 et 12" 1/2.
- ❖ La capacité de la table est définie par la capacité de la butée principale.
- ❖ La puissance de la table sera ; $P_u = (L/30 + 10) N/100 P_d/D$
 - L ; Profondeur de puits (m).
 - N ; Vitesse de rotation (Tr/min).
 - P_d ; Poids sur l'outil (tonnes).

- D ; Diamètre du puits (pouces).
- P_u ; Puissance de la table (chevaux).

Sur cette table est placé un carré d'entraînement, qui comporte des rouleaux épousant la forme de la tige d'entraînement. Ce carré est entraîné par la table de rotation par l'intermédiaire d'une fourrure d'entraînement. Il permet de transmettre le mouvement de rotation de la table à la tige d'entraînement, ainsi que sa translation sans risquer de se frotter sur les côtés et de s'user. Cette table de rotation peut aussi supporter le train de sonde grâce aux coins de retenue lorsqu'on ajoute une tige au cours de la manœuvre.

11.3.2. Fonction levage :

Pour soulever la garniture de forage (ensemble tiges - tiges lourdes - masse-tiges), il faut utiliser une grue de grande capacité, car la garniture de forage peut atteindre un poids supérieur à 150 tonnes ou plus. Cette grue est constituée :

- ✚ d'un mât,
- ✚ d'un treuil,
- ✚ d'un palan comprenant les moufles fixe et mobile et le câble.

11.3.2.1. Le mât de forage :

C'est le « trépied » qui supporte le palan. Il a remplacé la tour pour la rapidité de son montage et démontage. A son sommet est placé le moufle fixe. Une passerelle d'accrochage est placée à son milieu; elle sert de lieu de travail pour l'accrocheur, qui accroche ou décroche les « longueurs » de tiges lors de la remontée ou la descente de l'outil dans le puits. Une autre passerelle de hauteur ajustable, placée plus bas, sert à guider le tubage pour le visser et le descendre dans le puits.

Un plancher de travail est aménagé aux pieds du mât. Il sert d'aire de travail pour l'équipe. Une cabine [Dog house] est aménagée sur ce plancher pour permettre aux ouvriers de se reposer. Le plancher est surélevé de quelques mètres au-dessus du sol, pour permettre l'introduction des éléments de la tête de puits et des obturateurs.

Les toutes repose sur une substructure robuste, formée de caissons en treillis de fer soudés. Un plan incliné est conçu pour faire remonter les tiges sur le plancher pour les descendre dans le puits. L'ensemble est posé sur une plate-forme en béton armé, préalablement aménagée sur le sol. Voir **Figure II.2.**

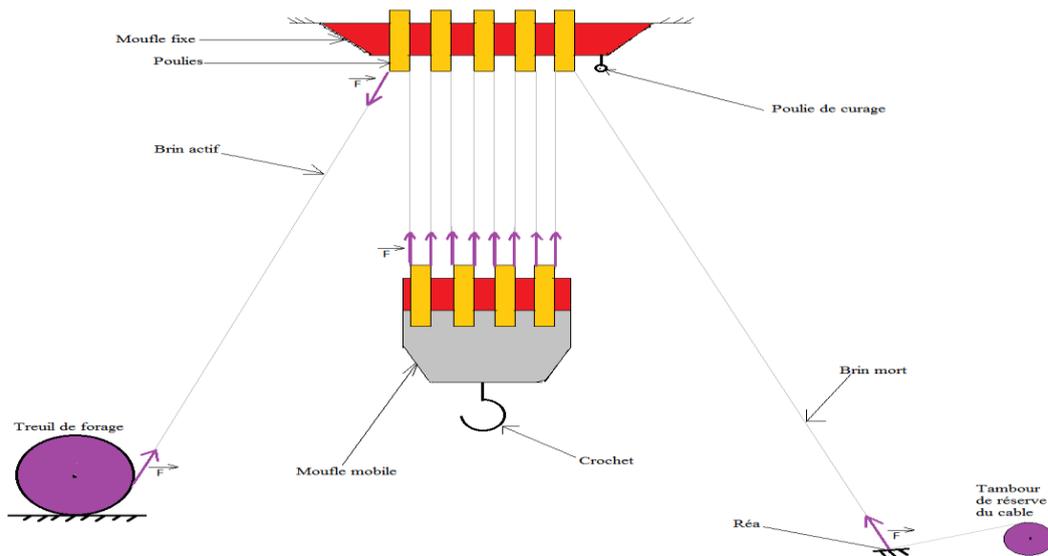


Figure II.2: Fonction levage

11.3.2.2. Le moulage :

Le moulage est l'enroulement du câble de forage entre les poulies des moufles fixe et mobile en plusieurs brins (jusqu'à 14 brins). Le moulage permet de démultiplier le poids de la garniture de forage et diminuer la vitesse de son déplacement.

En négligeant les frottements, la charge au crochet est divisée par le nombre de brin. **Figure II.3.**

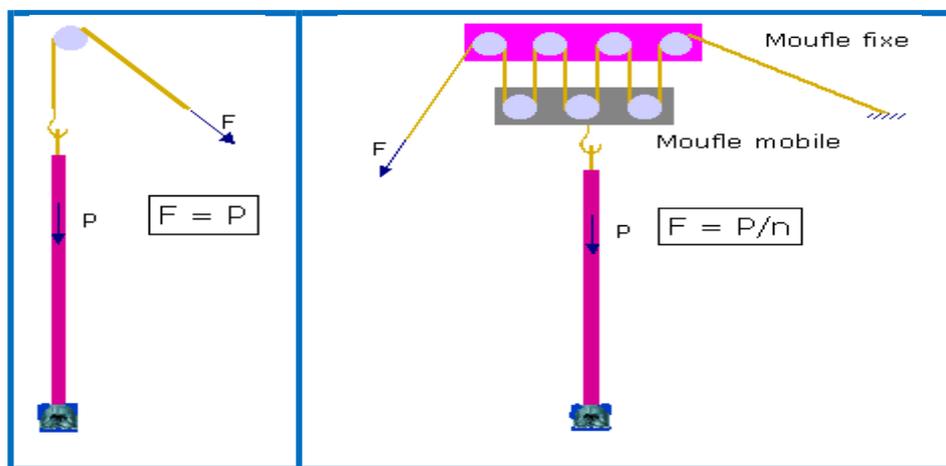


Figure II.3 : fonction de moulage

11.3.2.3. Le moufle fixe [crown block] : formé d'un certain nombre de poulies et placé au sommet du mât, il possède une poulie de plus que le moufle mobile.

11.3.2.4. Le moufle mobile [travelling block]: formé également d'un certain nombre de poulies par lesquelles passe le câble de forage, il se déplace sur une certaine hauteur entre le plancher de travail et le moufle fixe.

Il comporte à sa partie inférieure un crochet [Hooke] qui sert à la suspension de la garniture pendant le forage. Des bras sont accrochés de part et d'autre de ce crochet servent à supporter l'élévateur, utilisé pour la manœuvre de la garniture.

11.3.2.5. Le treuil [Draw works]: Le treuil de forage est l'organe principal de la sonde; par sa capacité il caractérise le rig (sonde de forage) en indiquant la profondeur de forage que peut atteindre l'appareil de forage. Voir la **Figure II.4** Le treuil regroupe un ensemble d'éléments mécaniques et assure plusieurs fonctions :

- ✓ Les manœuvres de remontée et de descente (levage) du train de sonde à des vitesses rapides et en toute sécurité, ce qui constitue sa principale utilisation.
- ✓ L'entraînement de la table de rotation quand celle-ci n'est pas entraînée par un moteur indépendant.
- ✓ les vissages et dévissages du train de sonde ainsi que les opérations de curage.

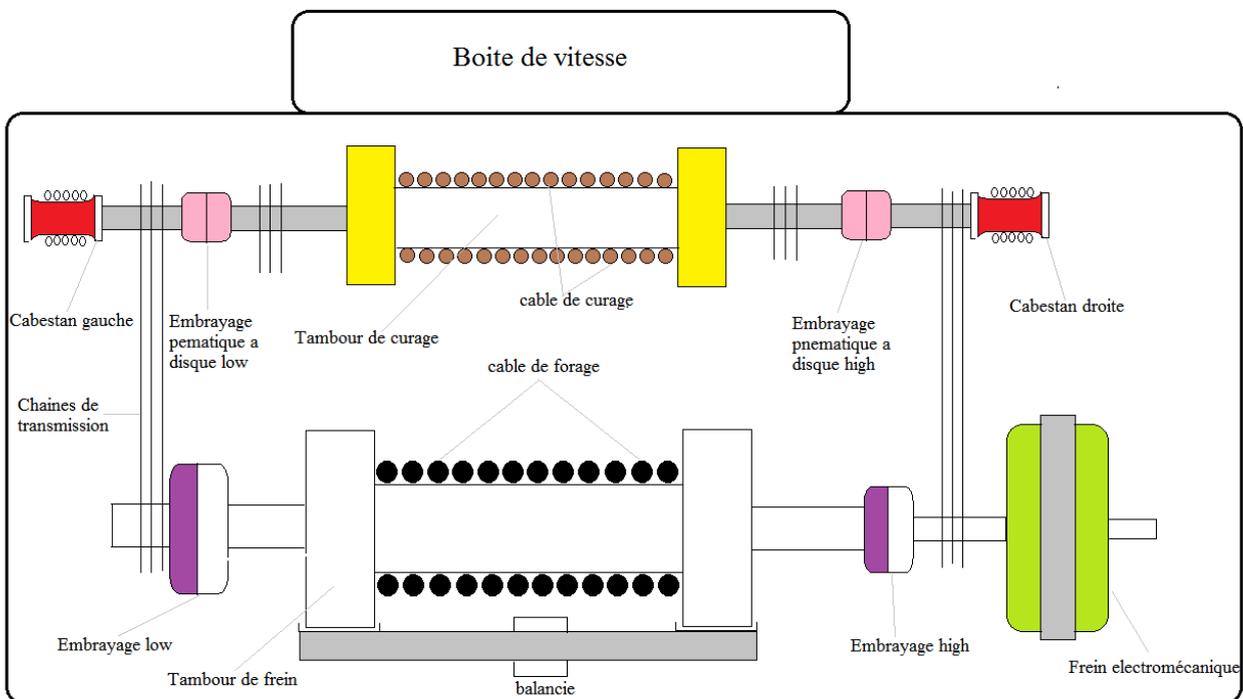


Figure II.4-le treuil (DRAW WORK)

11.3.2.6. Différentes parties mécaniques :

11.3.2.6. a/Le tambour de manœuvre : monté sur l'arbre principal de treuil, le tambour de manœuvre permet l'enroulement et le déroulement du câble de forage suivant que l'on remonte ou descend le train de sonde. Il peut être lisse mais plus généralement cannelé, ce qui permet un enroulement correct et réduit le risque d'écrasement du câble. Des deux côtés du tambour figurent des rouleaux qui évitent l'usure par frottement du câble sur les joues du tambour.

11.3.2.6. b/Le frein principal : Il est mécanique à bandes de type auto-serreur.

Description :

Il est constitué de deux bandes métalliques circulaires équipées de garnitures (patins) reliées aux bandes par des boulons à têtes fraisées. Ces bandes sont reliées par une barre d'équilibrage qui répartit les forces entre les deux bandes et réduit ainsi l'usure des patins. Chaque bande enveloppe une jante de grand diamètre rivetée sur la joue du tambour.

La surface de ces jantes est généralement cémentée afin de résister à l'usure. Une circulation d'eau à l'intérieur des jantes dissipe la chaleur dégagée.

11.3.2.7. Le câble de forage :

11-3.2.7.a/ Constitution :

Un câble est constitué de plusieurs torons disposés en spirale autour d'une âme, chaque toron est lui-même constitué de plusieurs fils calibrés, également disposés en hélice sur plusieurs couches.

a.1.11. L'âme du câble : L'âme support du câble peut être en textile (chanvre, sisal, jute), métallique ou mixte (métal et textile). L'âme textile ne joue aucun rôle dans la charge de rupture du câble mais, par contre, retient bien la graisse et donne au câble une bonne élasticité longitudinale. L'âme métallique, elle, participe à la charge de rupture du câble et lui permet de mieux résister à la déformation après passage sur des poulies de faible diamètre. Par contre, elle est moins souple que l'âme textile.

a.1.21. Les torons :

Les deux types de torons les plus utilisés dans la fabrication des câbles de forage sont. **Figure II.5.**

a.2.11. Seal Lay :

Dans ce type de toron, les deux couches extérieures ont le même nombre de fils et sont toronnés au même pas. Les fils n'ont pas le même diamètre pour pouvoir être jointifs.

a.2.21. Filler :

Appelé aussi Seal Lay à fils de remplissage ou Seal Lay-filler. Il est constitué (lorsque l'utilisation réclame) un nombre de fils plus important par toron. Le toronnage dans les différentes couches se fait au même pas.

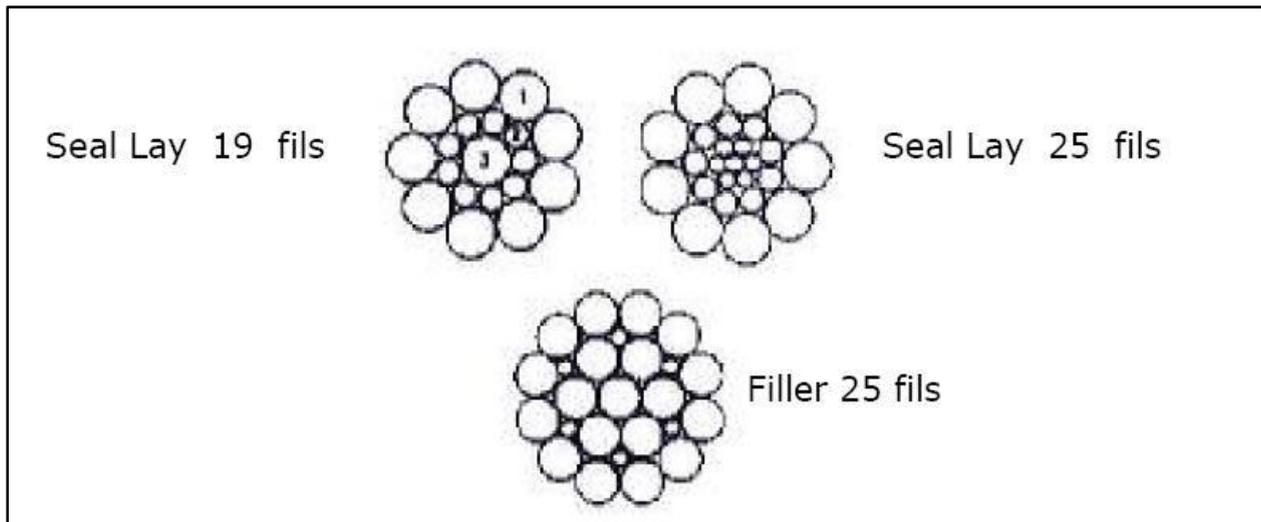


Figure 11.5: Type de torons

11.3.2.6. b/ Diamètres des câbles :

- diamètre théorique : qui correspond au diamètre nominal du câble,
- diamètre pratique : c'est le diamètre réel mesurable obtenu à la fabrication. Il est généralement supérieur au diamètre théorique dans la limite d'une tolérance maximale.

11.2.3.6. c/ Résistance à la traction :

L'API a standardisé trois qualités d'acier :

- ✓ plowsteel : acier de haute qualité (PS),
- ✓ improved plowsteel : acier traité de haute qualité (IPS),
- ✓ extra improved plowsteel : acier traité de très haute qualité (EI.PS).

Pour chacune des qualités, l'API donne les charges de rupture minimales et maximales qui varient suivant le diamètre des fils.

11.2.3.6. d/ Coefficients de sécurité :

$$\text{Coefficient de sécurité} = \frac{\text{charge de repteur}}{\text{traction exercée sur le câble}}$$

Pour un câble de forage, la traction est considérée au niveau du brin actif qui supporte l'effort le plus important.

Les coefficients de sécurité minimaux API sont les suivants :

- ✓ forage, carottage et manœuvre de la garniture de forage : 3
- ✓ descente de tubage et instrumentations : 2

11.2.3.6. e/ Travail effectué par un câble :

- Le câble de forage qui relie le treuil au moufle mobile, est l'organe de transmission du travail qui permet aux charges d'être déplacées à la verticale dans les deux sens. Outre que le câble s'use en fonction des points particuliers d'usure, il s'use également proportionnellement au travail qu'il effectue. Il est donc nécessaire de contrôler la durée de vie d'un câble en fonction du travail qu'il effectue, de façon à pouvoir établir un programme de son utilisation.

En considérant que :

- les frottements de la garniture de forage contre les parois du trou sont les mêmes à la remontée qu'à la descente,

- il y a des tiges sur toute la hauteur du trou, sorties ou introduites "longueur" par "longueur",
- le supplément de poids dû aux masse - tiges et à l'outil est rassemblé à la base de la garniture au niveau de l'outil.

11.2.3.6. f/ Facteurs affectant la vie des câbles :

Dans un mouflage conventionnel, les principaux facteurs affectant la durée de vie des câbles sont les suivants :

- la fatigue,
- l'usure et l'accrochage des fils,
- l'augmentation de la fragilité des fils par échauffement.

En fonction de nombreuses expériences de chantier, L'API a préconisé un programme de filage et de coupe du câble basé sur l'hypothèse que sa fatigue est proportionnelle à son travail.

11.3.2.7. Le crochet de forage :

Se trouve suspendu directement au moufle mobile. Un système de roulement à billes permet la rotation du crochet autour de son axe sans entrainer celle du moufle mobile. Cette rotation est néanmoins limitée en partie par un système de verrouillage. Un ressort puissant permet à chaque opération de dévissage des éléments de train de sonde un dégagement vers le haut de la partie supérieure, ce qui évite la détérioration de filetage.

II.3.3. Fonction pompage :

La fonction pompage assure l'acheminement du fluide de forage depuis l'aspiration de la pompe jusqu'au retour aux bassins. La boue [mud] est fabriquée dans des bassins de grande capacité. Elle est ensuite aspirée par des pompes [mud pumps] et refoulée dans les tiges creuses. Elle descend le long de la garniture de forage [drilling string], sort par les orifices de l'outil, remonte dans l'espace annulaire entre la garniture de forage et le puits jusqu'en surface. Là, elle est recueillie dans un tube vertical (tube fontaine), puis acheminée par un autre horizontal (goulotte) vers des tamis vibrants, pour être débarrassée des déblais [cuttings], avant d'être réinjectée dans le puits [well].

Technologie de la pompe nationale OIL WELL 12-P-160:

Les pompes de NATIONAL-OIL WELL sont fabriquées par Oil Well. Le numéro de série qui est assigné à chaque pompe est estampillé sur la plaque du constructeur qui est fixée sur la partie motrice. Le numéro de série est aussi estampillé en bas sur la bache du bâti principale du côté motrice entre le centre des deux trous de vis. **FigureII.6.**

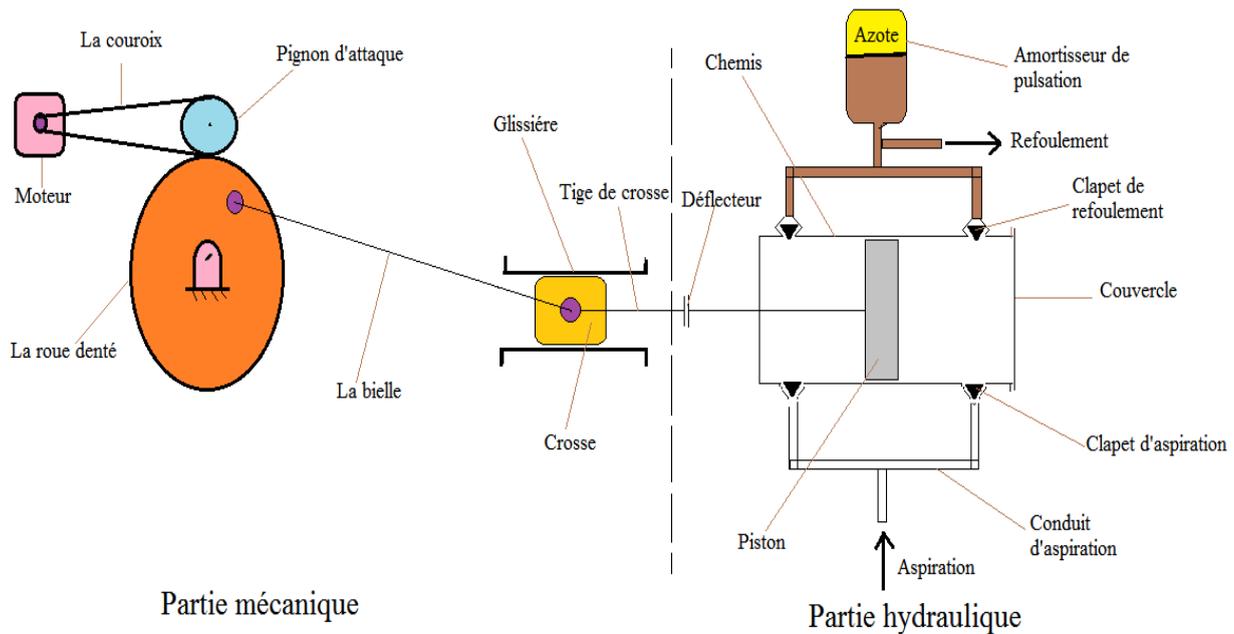


Figure II.6 : La pompe a boue

La boue, une fois refoulée doit suivre le chemin suivant :

- ✚ la conduite de refoulement : juste à la sortie de la pompe, achemine la boue de la pompe Jusqu'au plancher de travail.
- ✚ le manifold de plancher : placé sur le plancher de travail, il comporte plusieurs vannes pour diriger la boue dans plusieurs directions. **FigureII.7.**

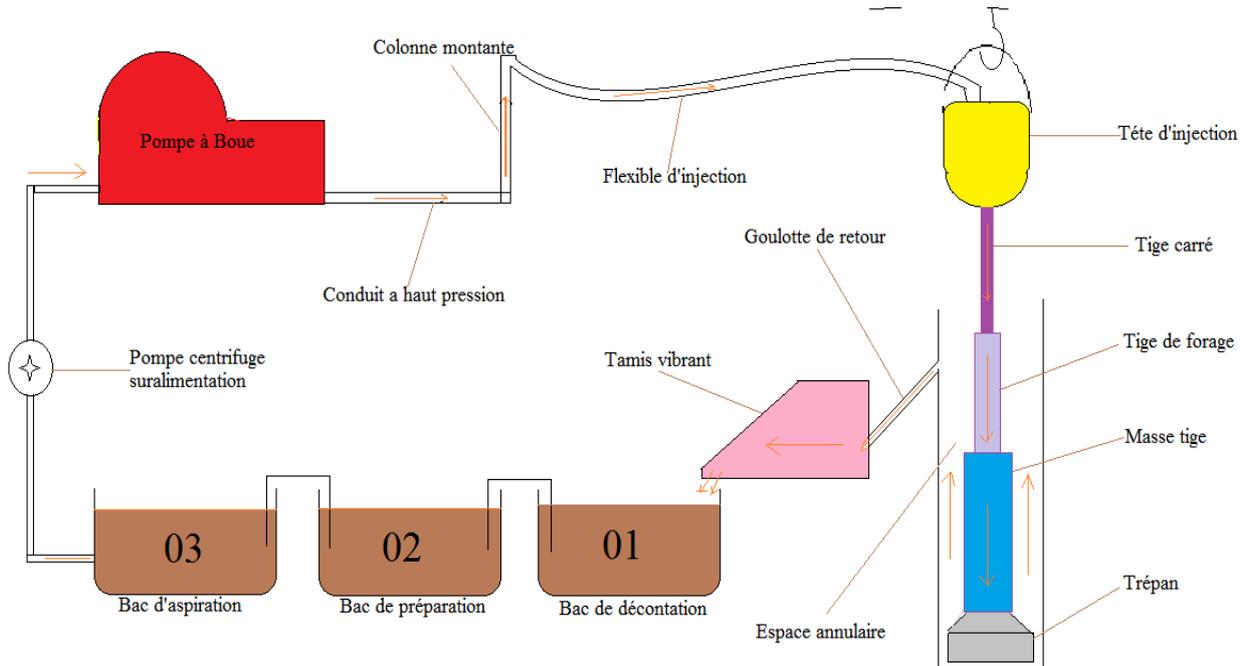


Figure II.7: Fonction pompage

- ✚ **la colonne montante [stand pipe]** : c'est une conduite connectée au manifold de plancher et monte tout au long du mât.
- ✚ **le flexible d'injection [kelly hose]** : qui raccorde la colonne montante au sommet des tiges.
- ✚ **le col de cygne [goose neck]** : point de connexion du flexible d'injection à la tête d'injection.
- ✚ **la tête d'injection [swivell]** : La tête d'injection représente le mécanisme qui relie la partie mobile d'une installation de forage à la partie fixe.

En effet la tête d'injection qui est suspendue d'un côté au crochet de levage et de l'autre côté vissé à la tige carrée, elle sert :

- ✚ De palier de roulement à l'ensemble du train de tige pendant le forage.
- ✚ Elle assure le passage de la boue de forage venant d'une conduite fixe (Flexible d'injection) dans une conduite animée d'un mouvement de rotation (train de sonde).
- ✚ Une tête d'injection comprend une partie mobile reposant par l'intermédiaire d'unroulement à bille principal sur une partie fixe **FigureII.8.**

L'étanchéité dans ce point est assurée par une garniture spéciale. Il est prévu aussi sur la partie inférieure de la tête d'injection et pour empêcher l'huile de s'échapper des presse-étoupes.

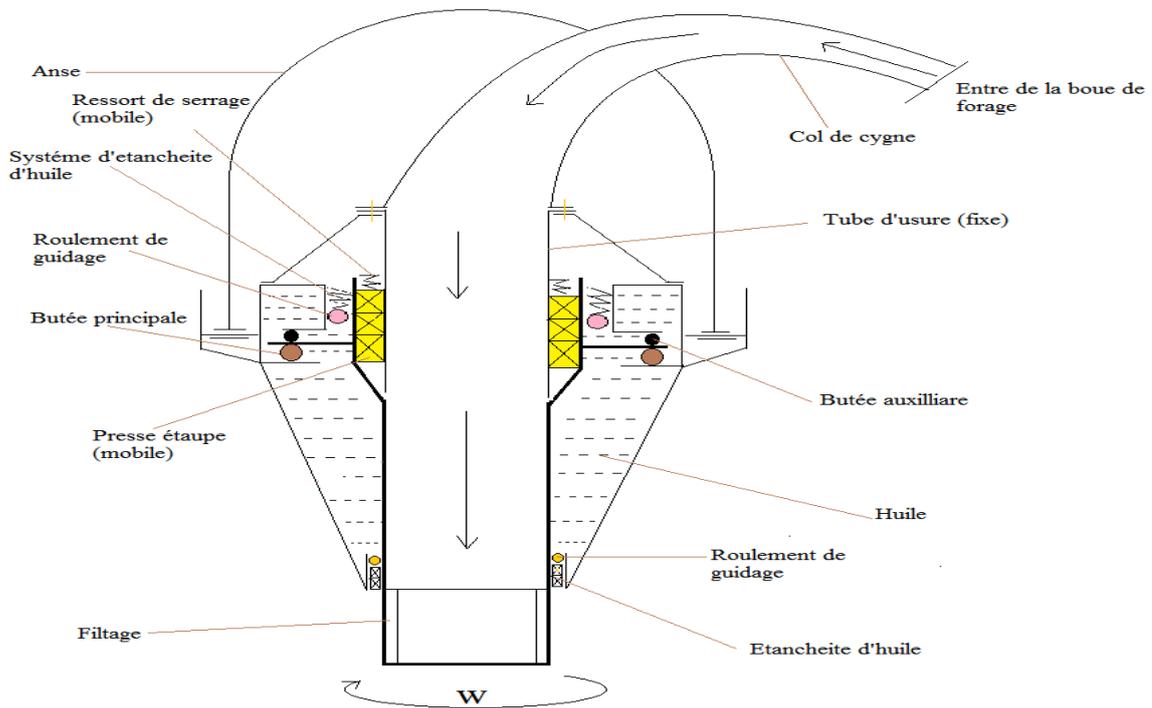


Figure II.8 : tête d'injection

1.3.4. Fonction motrice et transmission :

11.3.4.1. Les sources d'énergie :

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

11.3.4.2. Les systèmes de transmissions de puissance :

- ✓ **Transmission mécanique:** Plusieurs moteurs diesel travaillent en parallèle grâce à leur interconnexion par un système de chaînes, d'embrayage.
- ✓ **Transmission électrique:** Les appareils de forage utilisent le système pour la consommation d'énergie électrique qui est fournie par le moteur diesel (Caterpillar) et les génératrices, l'avènement des thyristors SCR a pour rôle le développement du système AC/DC.

11.3.5. Fonction de sécurité :

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

11.3.5.1. L'installation de l'obturateur de sécurité :**1. L'obturateur de sécurité :**

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

2. Le système de commande :

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

Pour la réalisation de ces opérations, les équipements utilisés se divisent en deux parties essentielles :

- Equipements de fond.
- Equipements de surface.

11.4. Répartition des équipements de l'appareil de forage :

L'appareil de forage peut être décrit sous forme de deux catégories de matériel :

a. Le matériel de fond :

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

- Outil de forage (rock bit)
- Masses tiges (drill collars)
- Tiges de forage (drill pipes)
- Équipements auxiliaires
- Raccords divers

b. Le matériel de surface :

Cette catégorie est répartie en plusieurs groupes mettant en œuvre l'outil de forage et assurant la sécurité du puits, ce sont :

- Les équipements de puissance,
- Les équipements de levage,
- Les équipements de rotation,
- Les équipements de pompage et de circulation,

- Les équipements de sécurité.

11.4.1. Les équipements de fond :

C'est l'ensemble des outils (figure II.13) de forage et garniture qui travaillent au dessous de la surface et sont en général :

11.4.1.1. Le trépan :

C'est l'outil qui assure sous l'effet du poids du train de sonde et de rotation la destruction des roches.

11.4.1.2. Les tiges de forage :

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

11.4.1.3. Tiges carrées :

C'est une tige installée entre la tête d'injection et les tiges de forage transmettent le mouvement de rotation de la table de rotation au train de tige.

11.4.2. Les Equipements de surface :

11.4.2.1. Les équipements de puissance :

- Moteurs diesel (Caterpillar)
- Génératrices
- Alternateurs
- Compresseurs

Ils fournissent l'énergie nécessaire au fonctionnement de la sonde.

11.4.2.2. Les équipements de levage: Ils permettent :

- Le contrôle du poids sur l'outil (WOB)
- Les changements d'outils (manœuvres de garnitures)
- La descente des colonnes de tubages (casing)
- Les levées et descentes du mât (DTM ; Démontage- Transport -Montage)

Ils sont principalement composés de :

- La structure de la tour de levage (mât et ossature)
- Les moufles fixe et mobile (crown and travelling blocks)
- Le crochet de levage (Hook)
- Le treuil de forage (DrawWorks)
- Le câble de forage (Drilling line)
- Réa (Dead line Anchor)

11.4.2.3. Les équipements de rotation : Ils sont principalement composés de :

- La table de rotation (rotary table)
- Des fourrures (bushings)
- Du carré d'entraînements (Kelly drive bushing)
- De la tige d'entraînements (Kelly)
- Du raccord d'usure de la Kelly (kellysaversub)
- De la tête d'injection (swivel)

11.4.2.4. Les équipements de pompage et de circulation: Ils sont principalement composés de :

- Bacs à boue (mud tanks) + équipements
- Mixeurs
- Agitateurs (hélico mélangeurs)
- Mitrailleuses de fond et de surface (agitateurs hydrauliques)
- Tamis vibrants (shakeshakers)
- Dessableurs
- Déssilteurs
- Mud cleaner
- Centrifugeuses
- Dégazeur
- Les Clay-ejectors
- Les goulottes
- Les pompes à boue (mud pumps) + accessoires
- Amortisseurs de pulsations
- Soupapes de décharge (ou de sécurité)
- Les conduites d'aspirations et vannes
- Le flexible d'injection

11.4.2.5. Les équipements de sécurité :

Les équipements de sécurité assurent la sécurité du puits en cas de venue et sont constitués de :

- La tête de puits
- L'accumulateur de pression (komey)
- Le manifold de duses
- Les vannes de sécurité (Gray valve, Kelly valve lower et upper, drop in checvalve,

Conclusion :

Le forage est une opération principale dans le domaine pétrolière, dans ce chapitre on a fait une description et fonctionnement sur ce dernier.

En fin et Après la description de l'appareil de forage et ses équipements, on a conclue que nous pouvons imaginer l'ensemble des défaillances qui pouvait provoquer par le déplacement de ces équipements de forage, donc nous avons besoins de maintenance de ces treuils de forage. Cela c'est l'objet de chapitre suivent.