

## I.1 Introduction

De nos jours, le pétrole et le gaz jouent un rôle très important dans l'industrie, ils constituent la plus importante source d'énergie de notre temps, et une matière incomparable.

Ces hydrocarbures du sol ont besoin d'appareils de forage qui nous assure un maximum de rendement et un meilleur prix de revient.

L'objectif de ce chapitre est de définir d'une manière générale les différents types de forage (forage par battage, forage rotary), ainsi que la description des dispositifs de forage.[1]

## I.2 Définition et principe de forage

Le forage est l'ensemble des opérations qui consistent à introduire dans le sous-sol des outils appropriés, pour des études géologiques ou pour l'extraction des fluides contenus dans les terrains traversés. La technique la plus utilisée dans le domaine pétrolier c'est le forage rotary. 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. [1]

- **Le forage au battage** : trouve quelques rares applications dans le cas de sondages à faibles profondeurs dans de couche à très faibles pressions. [2]
- **Les forages rotary** : est le procédé le plus utilisé de nos jours dans les recherches 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 principe de forage rotary consiste à mettre en rotation un outil sur lequel s'applique une force orientée dans la direction d'avancement ; ce procédé permet de creuser un trou de rayon égal à celui de l'outil. Les copeaux (cutting) générés au fond du trou suite à la destruction de la roche par l'outil remontent en continu à la surface grâce à la circulation du fluide de forage qui est généralement une boue bentonitique à base d'eau ou d'huile. Ce fluide est pompé depuis la surface vers l'intérieur des tiges de forage pour être injecté au travers de l'outil sur le front de coupe. La boue remonte ensuite dans l'espace annulaire entre les tiges et les parois du puits et entraîne ainsi les copeaux de roche vers la surface. Le poids sur l'outil (weight on bit : wob) est obtenu par la gravité grâce à l'introduction de tiges lourdes appelées la masse tiges. Le couple de rotation est

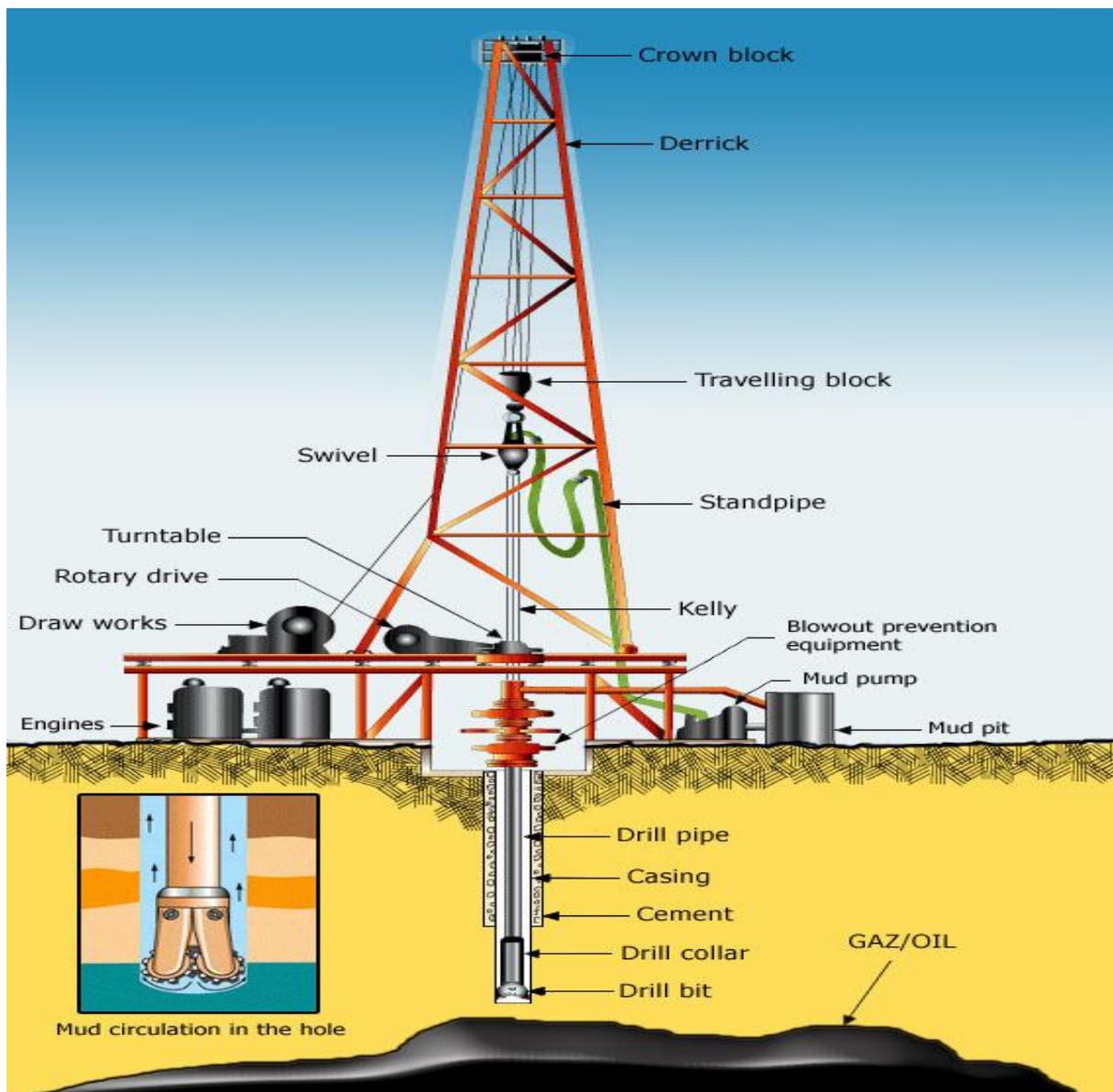
obtenu soit à partir d'un couple en surface transmis vers l'outil via un train de tiges soit à partir d'un moteur fond de trou au dessus de l'outil et piloté en surface.[2]

### I.3 Description d'un appareil de forage

On peut regrouper les équipements d'un appareil de forage suivant les fonctions principales :

- Fonction levage ;
- Fonction rotation ;
- Fonction pompage.

Ainsi, la fonction de contrôle de venue et la fonction de transmission d'énergie.



FigureI.1: Système de forage classique

### I.3.1 Fonction de levage

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

- Le mât ;
- Le treuil ;
- Un palan comprenant les moufles fixe et mobile et le câble.

#### I.3.1.1 Le mât de forage [mat]

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. [2]



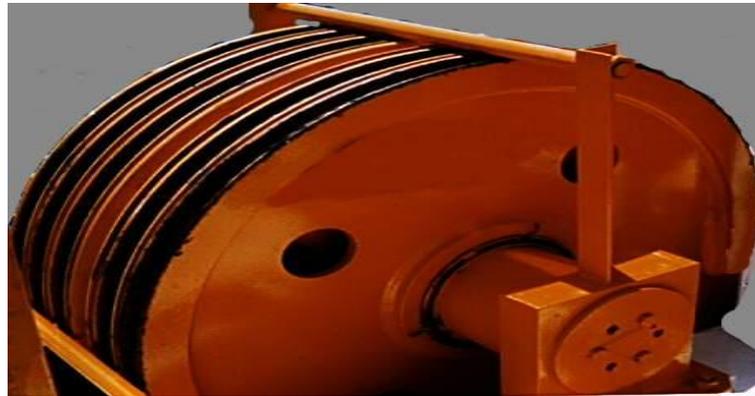
**Figure I.2 :** Le mât

#### I.3.1.2 Le système mouflage

Le mouflage est l'enroulement du câble de forage entre les poulies des moufles fixe et mobile en plusieurs brins (jusqu'à 14 brins). Le mouflage permet de démultiplier le poids de la garniture de forage et diminuer la vitesse de son déplacement. En négligeant les frottements, la tension sur le brin actif est divisée par le nombre de brin, et sa vitesse est multipliée par ce nombre. [2]

- **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. [2]



**FigureI.3 : Le moufle fixe**

- **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. [2]



**Figure I.4 : Le moufle mobile**

### I.3.1.3 le crochet

Il est fixé en bas de moufle mobile, il suspend la tête d'injection, la tige carré de rotation et la garniture de forage. [2]

### I.3.1.4 Lecâble de forage

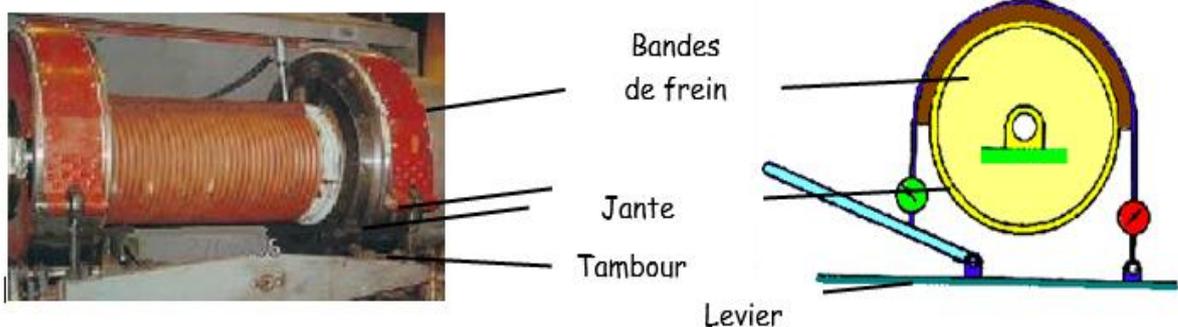
Le câble utilisé sur les installations de forage est un câble en acier, mais l'âme peut être parfois en chanvre. Autour de l'âme sont enroulés généralement six torons, chaque un de ces torons étant composé d'un certain nombre de fils d'acier. [2]

### I.3.1.5 Le treuil [draw work]

C'est un fût (tambour) autour duquel s'enroule le câble de forage. Aux bouts de ce fût sont fixées des jantes qui servent au freinage, au contact de bandes en acier contenant des patins en ferodo, actionnées par un levier. [2]

Les principaux éléments constituant le treuil de forage sont :

- Le châssis du treuil ;
- L'arbre tambour ;
- L'arbre des cabestans ;
- La boîte à vitesses ;
- Le poste de commande.

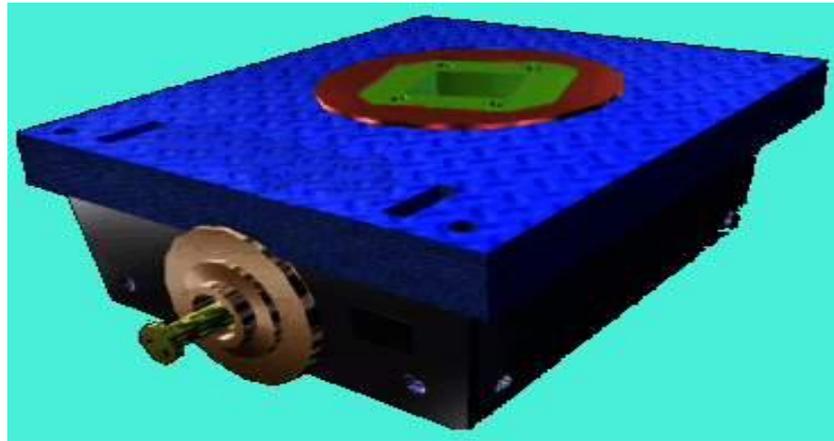


**Figure I.5 :** Le treuil

### I.3.2 Fonction de rotation

#### I.3.2.1 Table de rotation

Pour faire tourner l'outil, on visse au sommet des tiges, de forme cylindrique, une autre de section carrée ou hexagonale, appelée tige d'entraînement [Kelly], et on l'introduit dans un moyeu appelé table de rotation [rotary table]. Cette table sert aussi au calage de la garniture.[2]



**Figure I.6 :** Table de rotation

#### I.3.2.2 Le top drive

Le top drive est une sorte de tête d'injection motorisée énorme qui, en plus de l'injection, assure la rotation de la garniture de forage. On n'a besoin ni de la tige d'entraînement ni de la table de rotation pour faire tourner la garniture, c'est le top drive qui s'en charge. En plus, pendant le forage, au lieu de faire les ajouts simple par simple, on peut les faire longueur par longueur.[3]



**Figure I.7:**Le top drive

### I.3.3 Fonction de pompage

#### I.3.3.1 La boue ou fluide de forage

La boue ou fluide de forage est un élément essentiel dans le processus de forage rotatif. La boue est un liquide contenant des éléments solides dans l'eau ou l'huile, elle est préparée d'argile.

Les principaux rôles de la boue sont :

- remontée des déblais,
- maintien des déblais en suspension pendant l'arrêt de la circulation,
- refroidissement de l'outil,
- maintien des parois du puits,
- maintien des fluides de formations traversées.

Ses principales caractéristiques sont :

- la masse volumique : (appelée densité sur chantier), sert à alourdir la boue pour augmenter la pression hydrostatique dans le puits, et éviter ainsi l'intrusion d'un fluide ou le fluage des argiles,
- la viscosité : c'est la caractéristique qui permet à la boue de déplacer les déblais,
- le filtrat : c'est l'eau qui pénètre dans la formation pour permettre le dépôt d'une couche de solides, appelée cake, qui "cimente" les parois du puits

Les principaux types sont :

- La boue à base d'eau : le fluide dans lequel sont ajoutés les autres produits est de l'eau,
- La boue à base d'huile : le fluide dans lequel sont ajoutés les autres produits est du gasoil ou du pétrole.

Chaque type de boue est utilisé pour répondre à certains problèmes dans le puits. Par exemple, les argiles dites « gonflante » gonflent au contact de l'eau et viennent coincer la garniture de forage. Pour éviter ce problème, il faut utiliser une boue à base d'huile.

La boue à base d'eau dissout le sel. Donc, pour forer ce type de formation, il faut, soit utiliser une boue à base d'huile, soit une boue saturée en sel.[2]

### I.3.3.2 La pompe à boue

Ces pompes réalisent la circulation de la boue de forage dans le puits. Elles sont divisées en deux sections :

Section hydraulique : c'est la section de piston qui aspire et refoule la boue.

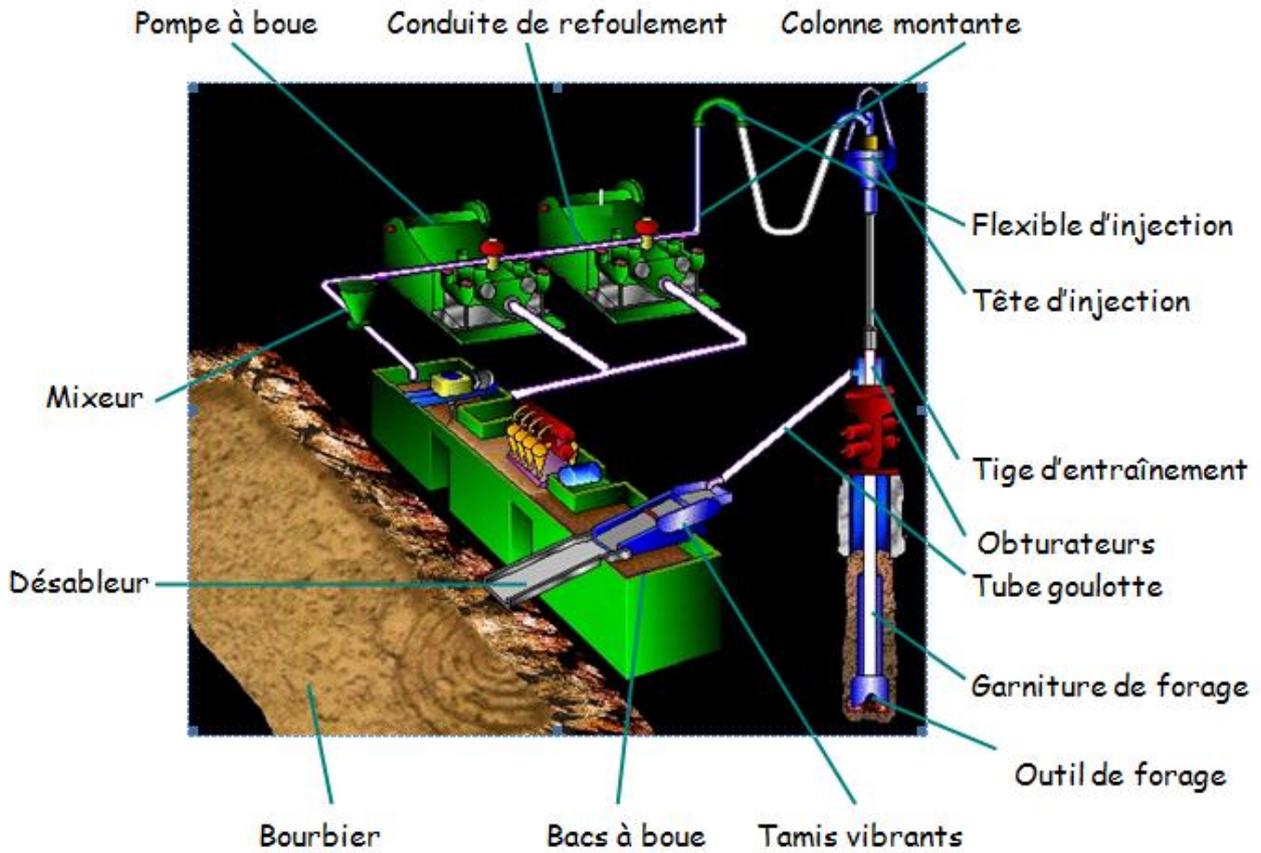
Section mécanique (de puissance) : contient le gros vilebrequin et les engrenages qui déplacent les pistons dans la section hydraulique. [2]



**Figure I.8** : La pompe à boue

### I.3.3.3 Le circuit de la 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. [2]



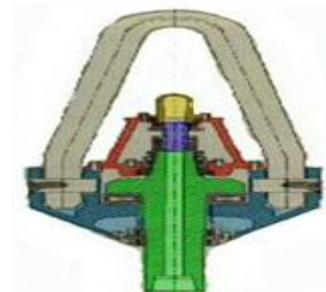
**Figure I.9 :**Le circuit de la boue

**I.3.3.4 La tête d’injection**

La tête d’injection joue un rôle important dans le forage : étant donné que le flexible d’injection ne doit pas tourner alors que la garniture de forage doit tourner pour transmettre le mouvement de rotation à l’outil, la tête d’injection est composée de deux parties : celle de haut, reliée au flexible d’injection, est immobile, alors que celle en bas, reliée à la tige d’entraînement, est tournante. [2]



(a)



(b)

**Figure I.10 :** La tête d’injection

### I.3.3.5 Les tamis vibrants (shale shakers)

Les tamis vibrants dont le rôle est de séparer les déblais de la boue comportent un ou deux châssis des toiles métalliques spéciales. [2]



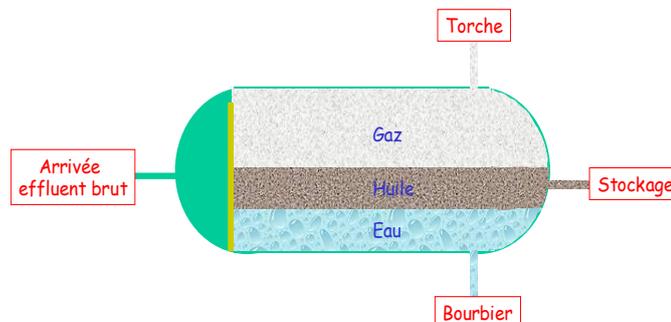
**Figure I.11** : Tamis vibrants

### I.3.3.6 Bac à boue (Trip tank)

Il s'agit d'un dispositif spécial, qui entre en service lorsque la garniture de forage sort du puits pour des manœuvres. Et assure que le volume de boue à ajouter remplace exactement le volume occupé par la garniture de forage. [2]

### I.3.3.7 Séparateur boue-gaz

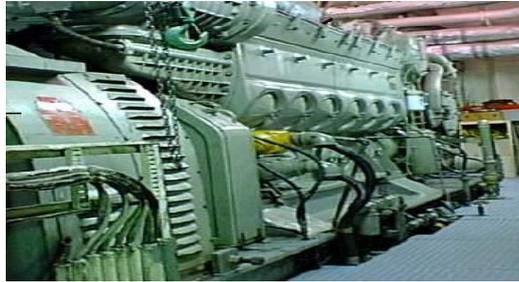
Il sépare les fluides sortant de manifold et dirige les gaz vers la torche et la boue vers les bacs de boue. [2]



**Figure I.12** : Séparateur boue-gaz

### I.3.4 Transmission de l'énergie

La source principale de l'énergie est composée de moteurs diesel.

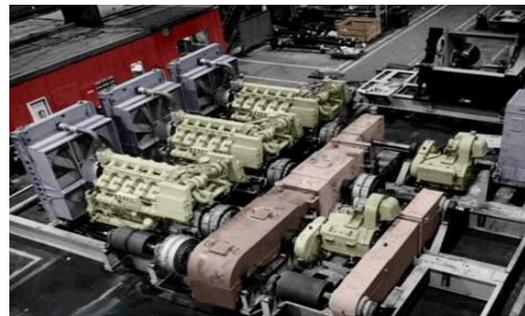


**Figure I.13** : Moteurs diesel

Il y a deux types de transmission mécanique et électrique :



**Figure I.14** : La transmission électrique



**Figure I.15** : La transmission mécanique

### I.3.5 Fonction de contrôle de venue

Les Blow Out Préventeur, ou blocs obturateurs de puits (BOP) sont des valves de sécurité utilisées sur les appareils de forage de l'industrie pétrolière. Leur nom anglais pourrait se traduire par anti-éruption ou, plus littéralement, anti-souffle. Installés en surface (sous-marins sur les appareils semi-subi), ils sont les derniers recours en cas d'éruption sur un puits. Ils sont testés tous les 15 jours.[3]

#### I.3.5.1 L'ensemble des équipements d'obturation comprend

- Le tubage et son dispositif de suspend ;
- Les obturateurs à mâchoires ;
- L'obturateur annulaire ;
- Le chock line avec ses deux vannes manuelles et automatique Le manifold de dusses ;

- Une kill-line munie également de deux vannes manuelles et éventuellement automatiques, elle permet de pomper dans l'espace annulaire avec les obturateurs fermés.

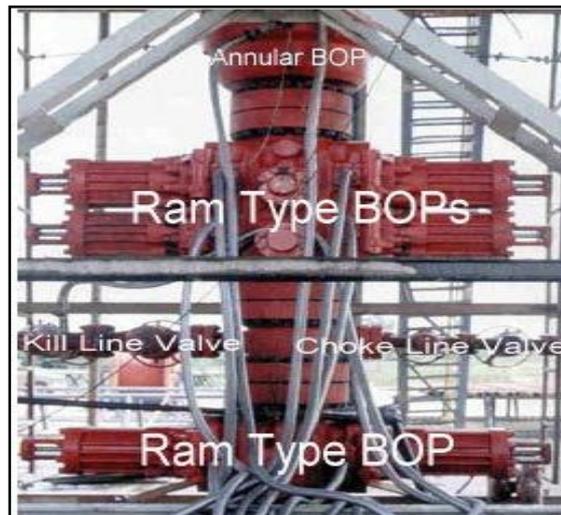
A Tous ses éléments cités ci-dessus on ajoutera les obturateurs internes qui regroupent toutes les vannes et clapets permettant la fermeture de l'intérieur de la garniture.

Le système de commande du bloc obturateur de puits (BOP) est un dispositif hydraulique à haute pression équipé des vannes de contrôle directionnelles pour contrôler les à-coups de pression et éviter les éruptions lors des opérations de forage.

Le système de commande fournit le fluide hydraulique sous pression pour opérer les différents obturateurs de surface et les vannes annexes. La pression de fonctionnement du système habituellement utilisée est de 3000 psi. Un poste de commande à distance permettant de réaliser toutes les fonctions sera installé sur le plancher de forage. Un ou plusieurs autres postes permettant de réaliser un nombre réduit de fonctions peuvent être installés sur le chantier.[3]

### I.3.5.2 Les obturateurs

Afin d'éviter le problème de venue, on place, au-dessus de la tête du puits, des obturateurs [Bloc d'obturateur de prévention = BOP], qui ne sont que des vannes qui ferment le puits, même s'il contient des tiges.[3]



**Figure I.16 :**L'obturateur

Le puits est équipé de plusieurs types d'obturateurs :

✓ **Obturateurs à mâchoires**

Peuvent être à fermeture

- Totale ;
- Sur tiges, tubage ou tubings ;
- Variable.

✓ **Obturateurs annulaires**

Peuvent se fermer sur n'importe quel équipement et même sur le trou vide (non recommandé). Ils permettent même la manœuvre de la garniture [stripping] en diminuant la pression sur la membrane.

✓ **Obturateurs rotatifs**

Placés au dessus des obturateurs fixes, ils permettent la rotation et la manœuvre des tiges. Ils sont utilisés pour forer sous pression.

✓ **Diverties**

Ils sont surtout utilisés en mer. C'est une installation basse pression (inférieure à 500 psi) qui permet de canaliser sur une torche une venue de gaz dans les terrains de surface.

### **I.3.5.3 Circuit de vannes (manifold)**

Il est composé des conduits et vannes spéciales, la vanne la plus important est la vanne de Duse à ouverture et fermeture réglable. Le manifold permet durant le contrôle de venu (kick) d'appliquer une contre venir dans le puits à l'aide d'une Duse commandée à distance par la console de commande du chef de poste. [3]

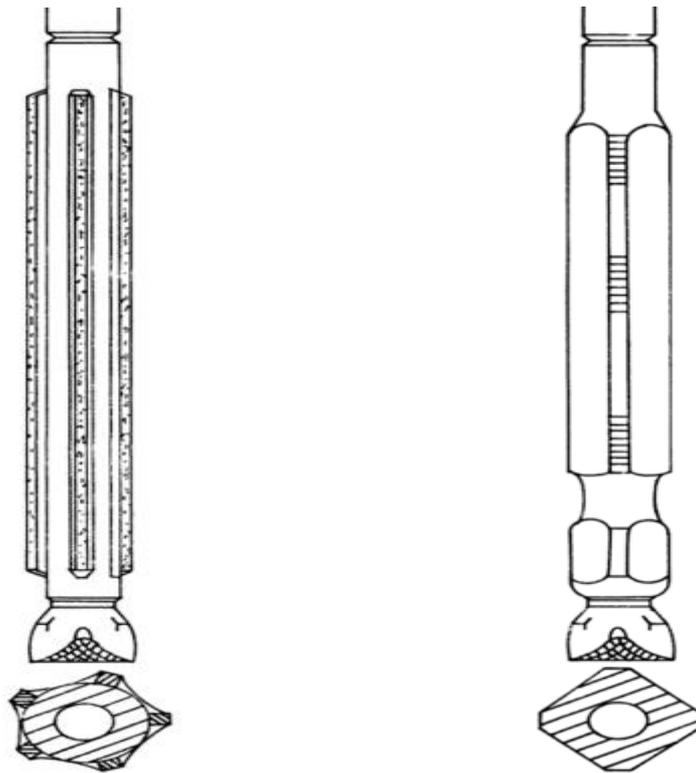


**Figure I.17** : Le manifold

#### **I.3.5.4 Les tiges**

La tige carrée d'entraînement : elle passe par la table de rotation est vissée sur le train de tiges de forge auquel elle communique le mouvement de rotation en distinguant deux types de tige d'entraînement :

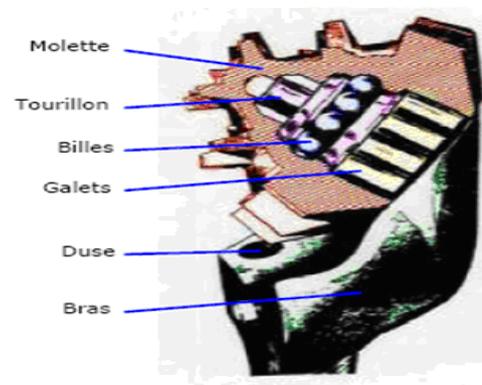
- La tige carrée : qui est de beaucoup la courante.
- La tige hexagonale : qui est quelquefois préférée à la tige carrée pour le forage de terrains nécessitent de grandes vitesses de rotation, car elle offre un guidage plus doux et donne lieu à des vibrations moins importantes. [3]



**Figure I.18** : Les tiges de forage

### I.3.5.5 Les outils de forage

L'outil est la seule partie de l'équipement qui fait le trou plus que tout autre élément simple d'un appareil de forage. L'outil constitue le point central. Le choix des outils commence au niveau de l'information sur la nature des roches à forer. Cette information tient compte inéluctablement du critère de profondeur dans le terrain. [3]



**Figure I.19** : L'outil de forage

### I.3.5.6 Les clés de serrage (les outils de vissage)

Son rôle est l'application du couple de serrage ou de déblocage se fait encor très couramment avec des clés à mâchoires multiples, la clé de retenue est fixée par câble ou chaîne sur un point fixe, l'autre est reliée à une poupée motorisée en rotation par la transmission du treuil de forage. [3]



**Elévateur**



**Les coins**



**La clé de forage**



**Clé pneumatique**

**Figure I.20 : Matériels annexes de levage**