

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



Ecole Nationale Polytechnique
Département Génie Minier

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Thème du projet de fin d'études

Réduction des coûts dans les opérations de forage
par la gestion des temps de connexion
(Méthode de Gantt)

Dirigé par : Dr A.Aït YAHIATENE

Présenté par : A.BELHAOUA
& A.BENSARI

-Promotion 2003-

Dédicaces

Nous dédions ce travail à toutes les personnes qui nous sont chers et nous ont toujours soutenu par vents et marées.

A tous, nous disons un grand merci

- *Nos très chers parents.*

- *Nos frères et sœurs .*

Nawel, Cheyma, Sara, Chawki.

- *Nos proches familles :*

Belhaoua , Bensari , Djouabri , Hammoudi , Halkoum , Hamrani

Jaquemot , Mahi , Youf , Zerrouki , Belhoucine.

- *Nos Amis :*

Abdenour , Abdelhak , Amine , Aniss , Badreddine , Djamel , Lies , Mounib , Oualid , Slimane , Djamel Couz , Massi , Houcine, Adlane...

et à tout les autres .

A tous les habitants de la cité 1200 de Boumerdes qui nous ont quitté, que dieu les accueille en son vaste paradis .

Remerciements

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Nous tenons, aussi, à remercier tous les gens qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

- *Dr M. Aït Yahiatene .*
- *Mr S. Akretche .*
- *Mr A. Guellati .*
- *Mr D. Bensari .*
- *Mr R. Belhaoua .*
- *Mr A. Djouabri .*
- *Mr A. Guerouache .*
- *Mr S. Soussi.*
- *Mr A. Tchicha.*
- *Mr Farouzi.*
- *Mr M. Hammou El Hadj.*
- *Aux filles: Djamila, Hanane, Malya .*

Et à tout les enseignants qui nous ont formé et permis de réussir dans nos études.

بالنسبة للعديد من البلدان، مبيعات الخام تمثل الموارد المالية الرئيسية. الجزائر تنتمي إلى هذا الصنف من البلدان. تخفيض التكاليف هو الحل الوحيد، بالنسبة للمؤسسات البترولية لرفع الفائدة الناتجة عن بيع الذهب الأسود. قد يمثل عملنا بدراسة مختلف مراحل عملية التنقيب البترولي ثم إيجاد مجال يمكن فيه، تحقيق تخفيض التكاليف.

كيفية تحقيق الربح في الوقت وبالتالي المال. هي تحسين مدة الربط خلال مرحلة التنقيب ونفس الشيء بالنسبة لعمليات التركيب والفك إبان التغييرات. ولهذا فإن هدف هذه الدراسة هو إقتراح سلسلة من الإجراءات لمختلف أنواع الربط.

التطبيق الجيد لهذه الإجراءات سيمنح الفرصة لتحقيق الهدف المسطر أي (تخفيض التكاليف).

Résumé

Pour beaucoup de pays, le pétrole est la principale richesse et la quasi majorité des revenus, l'Algérie fait partie de ces pays.

La réduction des coûts est la seule façon de maximiser les bénéfices des entreprises pétrolières. Notre travail consiste à étudier les différentes étapes d'un forage pétrolier et ainsi de trouver un domaine où cette réduction est possible.

Une manière de réaliser un gain de temps et d'argent, est d'optimiser les durées de connexions pendant le forage et les manoeuvres. C'est pourquoi la finalité de notre projet est de proposer une procédure pour les différents types de connexions.

L'application de cette procédure sur le terrain permettra d'atteindre l'objectif fixé et d'aboutir à la « Réduction des coûts » .

Abstract

For many countries, oil is the principal resource of wealth and the quasi majority of incomes, Algeria is one of those.

Costs reduction is the only way to maximise profits, our work consisted of studying different stages of oil drilling and finding areas where this reduction is possible.

One way to achieve a gain of duration and money, is optimising the connexions during the drilling and the workings. This is why the aim of our project is to suggest a procedure for the different kinds of connexions.

Applying this procedure in-site, we'll allow for a considerable gain both in time and hence budget, thereby achieving « Costs reduction » .

Mots clés:

Economie, Forage, Connexion, Gantt,
Manoeuvre, Développement.

Table des matières

	Page:
Introduction générale.....	01
I. Chapitre I: Le Forage.....	04.
1) Introduction.....	04.
2) Fonctions et équipements de forage.....	05.
2-1) Source d'énergie.....	05.
2-2) La fonction levage.....	07.
2-2-1) Le mat.....	07.
2-2-2) Le mouflage du câble de forage.....	08.
2-2-3) Le treuil de forage.....	11.
2-2-4) Freinage auxiliaire.....	12.
2-2-5) Outils de levage.....	12.
2-3) La fonction rotation.....	13.
2-3-1) La table de rotation.....	13.
2-3-2) La tige d'entraînement.....	14.
2-3-3) La tête d'injection.....	15.
2-3-4) Outils de vissage.....	15.
2-3-5) La tête d'injection motorisée(Top Drive).....	16.
2-4) La fonction pompage.....	18.
2-4-1) Définition.....	18.
2-4-2) Les pompes de forage.....	19.
2-4-3) Le circuit boue.....	20.
3) Principales opérations de forage.....	22.
3-1) Le forage.....	23.
3-2) L'ajout de tige.....	23.
3-3) La manœuvre.....	24.
3-4) Tubage et cimentation.....	24.
3-5) Montage de la tête de puits.....	26.
3-6) Complétion.....	28.

4) Autres opérations.....	28.
4-1) Le Drill Steam Test (DST).....	28.
4-2) Les diagraphies.....	28.
4-2-1) Les diagraphies instantanées.....	29.
4-2-2) Les diagraphies différées.....	29.
4-3) Instrumentation.....	30.
5) Suivi d'un forage horizontal.....	31.
5-1) Etude du champ de Hassi Messaoud.....	32.
5-1-1) Situation géographique.....	32.
5-1-2) Géologie.....	34.
I. Stratigraphie.....	34.
II. Synthèse géologique.....	42.
III. Le gisement	44.
5-2) Suivi d'un forage horizontal Hassi Messaoud.....	46.
5-2-1) Phase 26".....	49.
5-2-2) InterPhase 26"-16".....	49.
5-2-3) Phase 16".....	50.
5-2-4) InterPhase 16"-12 ¼".....	51.
5-2-5) Phase 12 ¼".....	52.
5-2-6) InterPhase 12 ¼" - 8 3/8".....	54.
5-2-7) Phase 8 3/8".....	55.
5-2-8) InterPhase 8 3/8" - 6".....	56.
5-2-9) Phase 6".....	56.
II. Chapitre II: Problématique.....	59.
III. Chapitre III: Analyse économique	64.
1) Introduction.....	64.
2) Optimisations des connexions.....	65.
3) Présentation de Microsoft Project.....	67.
3-1) Méthode PERT.....	67.
3-2) Méthode Gantt.....	71.
4) Chronométrage.....	74.
5) Calcul du nombre de connexions et de manœuvres par phase.....	80.
6) Calcul des moyennes de temps.....	83.

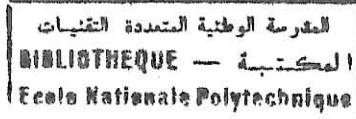
7) Procédure de connexion forage.....	87.
8) Procédure manœuvre montage.....	89.
9) Procédure manœuvre démontage.....	90.
10) Calcul du nombre de connexion.....	93.
11) Calcul du gain de temps par type de connexion et par phase.....	94.
11-1) Connexion forage.....	95.
11-2) Connexion manœuvre.....	96.
Conclusion	98.

Liste des figures.

Page:

Fig1: Schéma montrant les fluctuations du marché pétrolier.....	03.
Fig2 : Groupe électrogène (moteur diesel).....	07.
Fig3 : Le mât.....	08.
Fig4 : Schéma de mouflage.....	09.
Fig5 : Moufle mobile et crochet.....	10.
Fig6 : Treuil de forage.....	11.
Fig7 : Table de rotation.....	14.
Fig8 : Tête d'injection (Swivel).....	15.
Fig9 : Clé manuelle.....	16.
Fig10 : Top Drive.....	17.
Fig11 : Pompe à boue.....	20.
Fig12 : Tamis vibrants et Mudcleaner.....	22.
Fig13 : Descente tubage.....	26.
Fig14 : Montage tête de puits.....	27.
Fig15 : Situation géographique du champ de Hassi Messaoud.....	32.
Fig16 : Colonne stratigraphique Hassi Messaoud (prévisions géologiques).....	47.
Fig17 : Organigramme des phases et interphases.....	48.
Fig18 : Architecture de puits.....	58.
Fig19 : Part des compagnies dans la production mondiale	59.
Fig20 : Graphe répartition des coûts par phase.....	61.
Fig21 : Répartition des temps dans le forage.....	62.
Fig22 : Durée totale des manœuvres pour plusieurs puits.....	63.
Fig23 : Graphe des temps en fonction de leur apparition.....	70.
Fig24 : Diagramme de Gantt « manœuvre montage ».....	85.
Fig25 : Diagramme de Gantt « manœuvre démontage ».....	85.
Fig26 : Diagramme de Gantt «connexion forage ».....	86.
Fig27 : Histogramme et courbe de variation des coûts	99

Liste des tableaux.



Page:

Tableau A : Durée totale des différents types de connexion.....	74.
Tableau 1(a) : Description des étapes et durées de la connexion forage.....	76.
Tableau 1(b) : Description des étapes et durées de la connexion forage.....	77.
Tableau 2 : Description des étapes et durées de la manœuvre montage.....	78.
Tableau 3 : Description des étapes et durées de la manœuvre démontage.....	79.
Tableau 4 : Nombre de manœuvres par puits.....	80.
Tableau 5 : Nombre de connexions par phase.....	81.
Tableau 6 : Moyenne des temps de la connexion forage.....	83.
Tableau 7 : Moyenne des temps de la connexion montage.....	84.
Tableau 8 : Moyenne des temps de la connexion démontage.....	84.
Tableau 9 : Nombre et types de connexion par phase.....	93.
Tableau 10 : Coûts estimés par phase.....	94.
Tableaux récapitulatifs :	98.

Introduction générale : [1]

La réduction des coûts est une quête permanente pour les entreprises, d'une part en vue d'améliorer leurs résultats et leur compétitivité dans un marché ouvert à la concurrence, et d'autre part pour les pays producteurs afin de maximiser les recettes fiscales dont elles dépendent.

Par son adhésion à l'OMC et à l'espace euro-méditerranéen, l'Algérie, devra d'une façon ou d'une autre accroître l'efficacité, la qualité et la rentabilité de ses entreprises, faute de quoi la concurrence leur sera fatale.

Il est impossible pour un pays producteur d'agir sur les prix du baril, fixés par le marché international, seule une organisation mondiale tel que l'OPEP peut avoir une action efficace sur la variation de ces prix.

Pendant les années 70, l'investissement pour de nouveaux programmes d'exploration générait plus de profit qu'un même investissement pour la réduction des coûts, grâce au prix élevé du baril, à titre d'exemple les prix ont subi une tendance, relative, à la baisse depuis 1970 de 50% à 60% tous les 10 ans. Les programmes de réduction des coûts ont vu le jour après le choc pétrolier de 1986, et ont été appliqués de nouveau en 1998, quand le baril de pétrole a atteint son plus bas niveau depuis 1986 ; un programme de ce type est d'autant plus important pour l'Algérie que 96% (quasi-exclusivité) des revenus du pays viennent de l'exportation de l'or noir et que la majorité des recettes fiscales de l'état est issue du secteur pétrolier, ce qui veut dire que quelque soit la réduction, elle revêt un caractère stratégique.

La majorité des programmes prévoient une rentabilité pour des prix minimaux compris entre 15\$ et 20\$, c'est donc cette rentabilité qui rend impérative la réduction des coûts, car tout projet n'est et ne sera viable que si ce dernier génère un bénéfice, il faut donc réduire les coûts au maximum afin d'atteindre le fameux seuil de rentabilité surtout que celui-ci est variable et suit les nombreuses fluctuations du marché pétrolier.

Un autre paramètre déterminant ce seuil est la fin des gisements géants, en effet la probabilité de découvrir ce type d'accumulation diminue de par le monde, il faudra donc à l'avenir exploiter des gisements de faible ampleur et plus complexe du point de vue géologique (pièges) par des technologies évoluées plus coûteuses, ceci implique une augmentation nette des coûts d'exploitation, la rentabilité passera donc par une maîtrise totale de ces coûts .

A cette tendance confirmée, notons quelques exceptions :

- Le bassin de Hassi Berkine, qui est un record mondial en terme de réserves ;
- L'offshore profond en Angola ;
- Les gisements en mer Caspienne et dans les bassins sédimentaires de Sibérie ;

Le point commun entre toutes ces exceptions , est leur existence dans des régions non ou très peu explorées ainsi que l'utilisation de technologies de pointe telle que l'acquisition sismique en offshore, les logiciels d'interprétation surpuissants et autres.

La déplétion est aussi un autre paramètre déterminant le seuil de rentabilité. Au fur et à mesure de l'exploitation des puits, la productivité et le débit diminuent, et de cause à effet les coûts d'exploitation augmentent, c'est le cas à Hassi Messaoud et à Hassi R'mel notamment .

L'activité forage est le secteur le plus lourd de l'investissement dans le domaine pétrolier, et le plus gros de ces investissements est alloué au forage de développement (production), c'est pour quoi, ce sera le domaine de notre étude .

Les pays ayant mis en œuvre un programme de réduction des coûts dans ce secteur ont réussi grâce à la combinaison de deux aspects :

- L'aspect technique : par l'utilisation de composants standards donc moins chers, et une efficacité accrue des systèmes de production
- L'aspect managerial : par l'avènement d'un nouveau style de management de projet qui élimine toute duplication de tâches, ceci a permis un gain de 20 % à 30%.

I. Le Forage :

1) Introduction : [5]

En s'accumulant en profondeurs dans des terrains poreux et fissurés, les hydrocarbures forment des gisements dont l'exploitation se fait à l'aide de puits, ce dernier étant une excavation cylindrique verticale ou déviée établie d'un orifice au jour « tête de puits » jusqu'au fond dans le massif des roches « front de taille », la méthode d'exécution d'un puits s'appelle **forage** .

Le forage est une technique particulière de l'exploitation des hydrocarbures qui a été utilisé pour la première fois en 1889 à Titusville (PennSylvanie - USA), cette ville a été témoin de la naissance de l'industrie pétrolière.

Il consiste à forer un trou dans le sous-sol pour donner accès à un gisement d'hydrocarbures et assurer la liaison entre les formations productrices et le puits et ainsi permettre de remonter l'effluent hydrocarbure en toute sécurité et efficacité vers la surface. Selon son objectif, on peut distinguer le forage d'exploration, pour la recherche des gisements, et le forage de développement, pour la mise en production du gisement en question après sa délimitation.

Le principe fondamental du forage est très simple, un outil massif fixé au bout d'une tige lourde (masse tige) qui est suspendue à un balancier tombe sous son propre poids tout en détruisant la roche rencontrée. Autrefois, le balancier était animé par action humaine ou animale, mais grâce au progrès la machine à vapeur les a remplacée .

L'inconvénient était la limite du forage qui n'arrivait pas à dépasser les 2250m de profondeur. C'est la raison pour laquelle, Antony Lucas au début du 20^{ème} siècle, mis sur pied le forage rotary (rotatif).

Le forage rotary utilise des outils diamants (PDC), sur lesquels est appliquée une force et un mouvement de rotation. Ces outils permettent l'injection d'un fluide de manière continue pour dégager les débris (cuttings) hors du trou par action du courant ascensionnel de ce fluide vers la surface.

2) Fonctions et équipements de forage : [5], [6]

Pour la réalisation d'un forage rotary, plusieurs appareils et équipements entrent en jeu, ces derniers sont classés selon la fonction qu'ils assurent, ce sont : la fonction levage, rotation et pompage. Leur bonne marche est tributaire d'une source d'énergie suffisamment importante pour assurer une alimentation continue.

2-1) Source d'énergie :

Pour les premiers pas du forage, l'énergie électrique nécessaire aux opérations était fournie par des machines à vapeur (comme nous l'avons déjà dit avant), mais le progrès technique a vite dépassé cette méthode de production.

En effet, les turbines à gaz, les moteurs diesel, ou même des raccordements au réseau électrique ont pris la place. Une énergie provenant du réseau existant présente des avantages de coûts et de nuisance sonore, mais comme elle ne garantit pas la continuité de l'alimentation, son utilisation reste très restreinte .

On appelle commande d'une installation de forage, l'ensemble des moteurs et des dispositifs qui transforment l'énergie électrique en énergie mécanique et permettent le réglage de cette dernière pour la transférer aux mécanismes exécutifs qui sont : la pompe, la table de rotation ou top drive et le treuil. Les commandes peuvent être autonomes ne dépendant pas du réseau énergétique tel que les moteurs à combustion interne et les turbomoteurs, et non autonomes alimentés à partir des réseaux électriques industriels, on peut citer les moteurs électriques à courant alternatif ou continu .

L'apport en énergie électrique doit répondre aux exigences du treuil et de la table de rotation (ou top drive), en effet ces derniers devront posséder :

- 1- un couple de démarrage important pour surmonter les forces d'inertie du train de sonde suspendu au mouflage et le frottement des tiges contre la paroi du puits .
- 2- le démarrage progressif du fait que sous de grandes accélérations la colonne de tiges subit de fortes charges dynamiques, ce qui peut provoquer leur rupture .

- 3- une capacité de surcharge importante pour surmonter les surcharges de courte durée provoquées (la manœuvre).

A Hassi Messaoud , tous les chantiers que nous avons pu visiter possèdent un groupe électrogène appelés EMD (Electric Motor Diesel) pour alimenter les baraquement et quatre autres travaillant en parallèle pour les équipements électriques du chantier de forage .

Les EMD sont des moteurs diesel, semblables à ceux de certains trains, généralement des V12 ou des V16 ; ceux que nous avons vu sont fournis par CATERPILLAR, ils fournissent une énergie électrique à courant alternatif .

L'éclairage du chantier et tous les appareils électriques des baraquements (climatiseurs , téléviseurs ...etc.) seront alimentés directement en courant alternatif .Les autres appareils de chantiers nécessitant des puissances et des vitesses variables, sont alimentés en courant continu, lequel est obtenu par redressement du courant alternatif généré par les EMD *.

Pour des raisons de sécurité, l'appareil, les groupes électrogènes, l'atelier, la cabine géologique, les citernes à carburant et les annexes sont obligatoirement mis à la terre .

Pour les mêmes raisons plusieurs dispositifs de sécurité sont installés :

- dispositif de coupure instantané d'un des types de sécurité pour atmosphère explosive agissant sur la totalité des circuits étanches intérieurs au périmètre de sécurité, avec commande à portée du chef chantier .
- Eclairage indépendant, situé hors du périmètre de sécurité permettant d'exécuter les manœuvres nécessaires pour maîtriser une éruption.
- Equipement en lampes portatives de sûreté pour atmosphères explosives, maintenues en bon état, elles sont utilisées lorsque l'éclairage intérieur au périmètre de sécurité est coupé.

* Actuellement les installations de forage sont commandées par des moteurs à courant continu grâce à des redresseurs (thyristors) de grandes puissance permettant de transformer le courant alternatif en un courant continu directement au chantier .

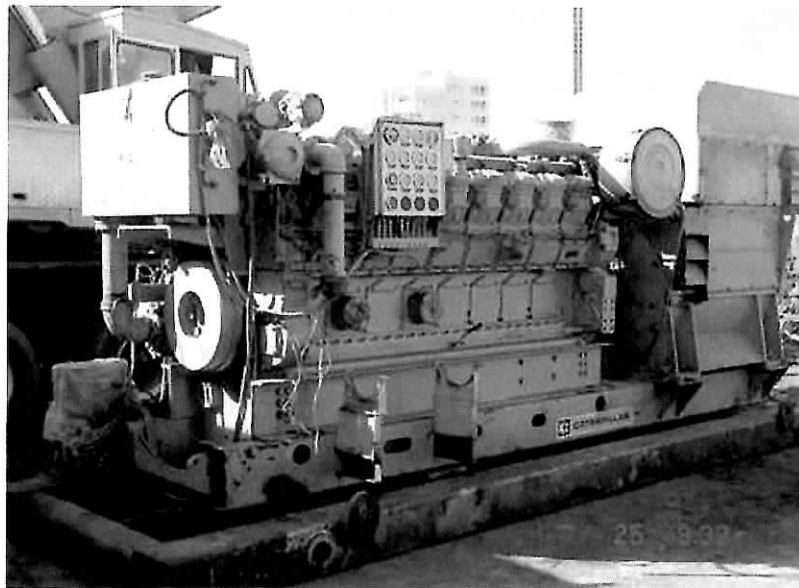


Fig2 : groupe électrogène (moteur diesel)

2-2) La fonction levage:

Pour mener l'action du poids sur l'outil et aussi pour les différentes manoeuvres, l'entreprise doit veiller au bon état des câbles et attaches ainsi qu'à la conformité des points d'ancrage car la capacité d'un appareil de forage tient compte des valeurs précises de tension dans les câbles. Les équipements utilisés sont :

2-2-1) Le mât:

Une structure en forme de A très pointue, il a la particularité d'être articulé à sa base ce qui lui permet d'être assemblé ou démonté horizontalement puis relevé en position verticale en utilisant le treuil de forage et un câble de levage spécial. Une plate forme supérieure permet le support de la poulie de curage, du moufle fixe et de la poulie auxiliaire. Une passerelle d'accrochage permettra au préposé de travailler au rangement des longueurs de tiges ou masse-tiges.

La tâche principale du mât est de maintenir en suspension les colonnes de train de sonde et de tubage, leur descente à la profondeur voulue, le stockage des longueurs et la répartition d'une partie du matériel de forage et de manoeuvre .

Comparés aux derricks , les mâts ont une masse plus petite pour la même capacité, leur montage et démontage demandent sensiblement moins de temps, ce qui explique leur utilisation actuelle .



Fig3 : Le mât

2-2-2) Le mouflage du câble de forage:

constitué de différents composants :

A. Brin mort :

L'ancrage du câble de forage se fait sur un réa spécifique qui permet de mesurer la tension sur cette extrémité, il autorise également l'introduction dans le système d'une certaine longueur de câble neuf afin de déplacer les points d'usure sur les poulies du moufle fixe ou du moufle mobile. Cette opération de filage suivie par une coupe permet de prolonger la durée de vie du câble.

B. Moufle fixe:

C'est l'ensemble des poulies sur lequel passe le câble, il est supporté par la plate forme supérieure de la tour de forage. La charge sur le moufle fixe et par la même occasion sur la tour de forage, est supérieure à la charge au crochet.

Le moufle fixe se compose de deux sections montées sur un cadre soudé, chaque section compte trois poulies montées sur l'axe fixe qui est porté par des roulements à rouleaux .

C. Le moufle mobile et crochet:

Le moufle mobile se compose de deux flasques soudées et d'un axe qui leur est solidaire, les poulies sont portées par l'axe sur des roulements à rouleaux, la partie inférieur du mouflage comporte une anse prévue pour recevoir le crochet. Pour assurer le graissage du câble, un réservoir d'huile est mis a disposition du personnel.

L'ensemble des poulies et du crochet sont assemblés d'une manière compacte, le crochet comporte un amortisseur pour limiter les chocs à la reprise de la charge et faciliter le vissage des connexions.

Le crochet est muni d'un loquet de fermeture et d'un verrou afin d'empêcher sa rotation.

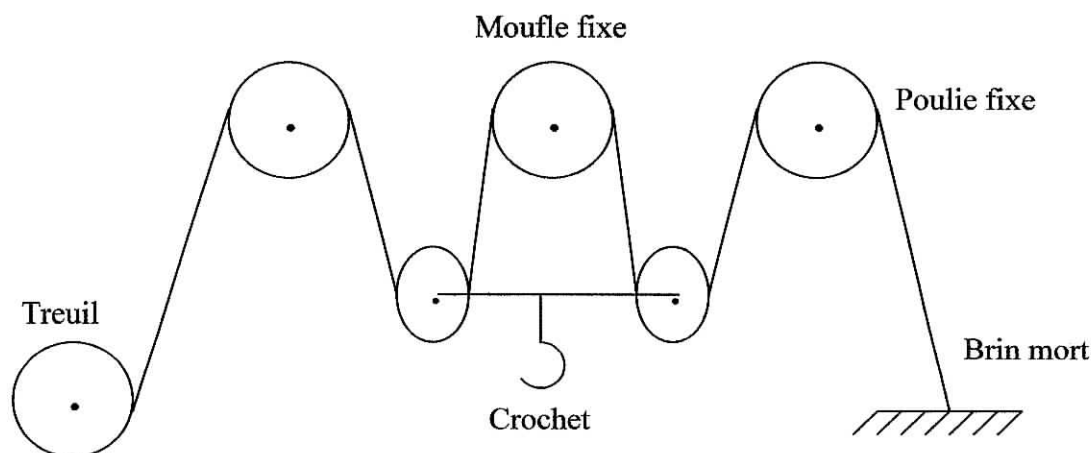


Fig4 : schéma de mouflage



Fig5 : Moufle mobile et crochet

D. Le câble de forage:

Les câbles des appareils de forage sont à âme métallique composés de six torons constitués de fil d'acier, le câblage des fils d'acier est en général de sens inverse au câblage des torons sur l'âme ce qui donne un câble plus raide.

Le câble de forage nécessite une surveillance attentive pour quantifier « la fatigue » qu'il peut subir, le chef chantier calcule le travail quotidien du câble qui est le produit de la charge par son déplacement. Le cumul du travail du câble donnera les jalons du déclenchement des opérations de maintenance tel que le filage puis la coupe du câble .

E. Le brin actif :

C'est l'extrémité du câble qui s'enroule sur le tambour du treuil .

2-2-3) Le treuil de forage :

C'est le cœur de l'appareil de forage, sa capacité caractérise un Rig et indique la classe de profondeur des forages que l'on pourra atteindre. Il a pour tâche de tendre les brins menant du câble au cours des manœuvres, il assure le rallongement, le vissage et le dévissage des tiges de forage et de tubage, ainsi que la mise en place des mâts, l'avancement du train de sonde, et le levage des charges de toutes sortes.

Les différentes parties mécaniques sont :

- Un tambour cannelé sur lequel s'enroulera le câble, ses joues comportent des jantes sur lesquels sont montés les bandes du frein qui permettent le contrôle de la descente de la charge suspendue au crochet, ce système de freinage très fiable n'a pas une grande capacité d'absorption d'énergie telle celle produite par la descente d'une colonne de casing à une grande profondeur. Tous les treuils sont équipés d'un ralentisseur de charge monté sur l'axe du tambour .
- Une boîte de vitesse sur l'arrière du treuil permet au foreur de sélectionner deux à trois rapports de vitesse.

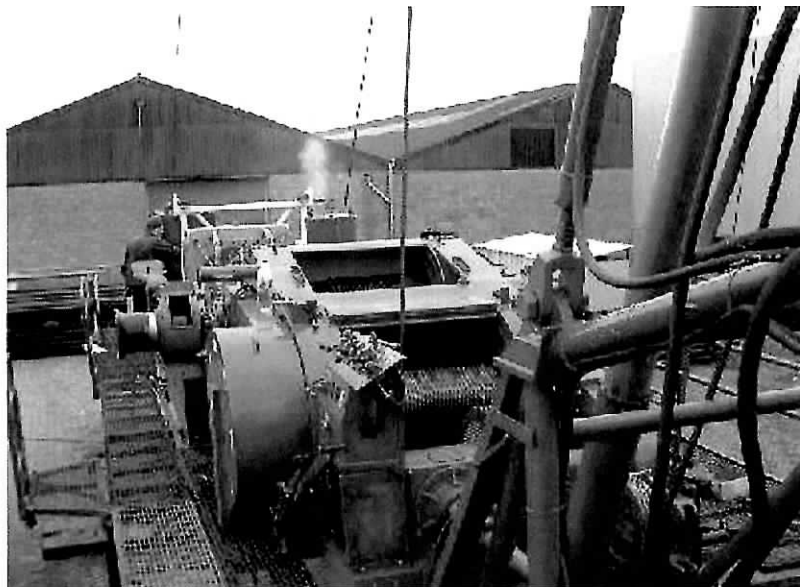


Fig 6 :Treuril de forage

2-2-4) Le freinage auxiliaire:

La capacité de freinage du système à bandes n'est pas suffisante dynamiquement lorsque les charges les plus lourdes sont descendues dans le puits, c'est pourquoi sur tous les appareils de forage, il est adjoint un ralentisseur fixé dans l'axe du tambour de treuil. Deux types de mécanismes sont utilisés : le ralentisseur hydraulique et le ralentisseur électromagnétique .

2-2-5) Outils de levage :

Le crochet de forage comporte deux oreilles latérales auxquelles sont accrochés deux bras qui supportent l'élévateur. Pour manœuvrer les masses-tiges, il est courant d'utiliser des têtes de levage que l'on visse sur le filetage de la masse-tige et dont la partie supérieure a les mêmes dimensions que les tiges de forage afin de n'avoir pas à changer le type d'élévateur.

Pour suspendre la garniture sur la table de rotation on utilise les cales que l'on pose dans des fourrures coniques dans la table.

Un élévateur est prévu pour suspendre et maintenir la colonne du train de sonde ou le tubage pendant la manœuvre descente et remontée, il est suspendu au crochet à l'aide des anses.

L'élévateur est d'un type, d'une capacité et d'une dimension parfaitement adaptés aux tiges utilisées, les plus utilisés sont les élévateurs de tubage, ils se composent de trois éléments principaux : le corps, la porte et le loquet. Le corps de l'élévateur est massif, forgé, comportant des ouvertures latérales, ou viennent s'adapter les anses. La porte est également forgée, elle tourne sur son axe, ce qui permet de l'ouvrir ou de la fermer. le loquet sert pour parer au déblocage spontané de l'élévateur.

La corde du cabestan doit être d'un diamètre minimal de 40 mm, elle est d'un seul tenant sur la partie en contact avec la poupée.

Tous les éléments du système de levage (câbles, mofles, crochet, tête d'injection, élévateur et ses bras...etc.) doivent être homogène et de capacité suffisante.

2-3) La fonction rotation :

Permet d'assurer la rotation de la garniture de forage selon des paramètres spécifiques, le poids sur l'outil est lié à la vitesse de rotation, on ne peut donc augmenter indéfiniment et simultanément ces deux paramètres sans provoquer un travail dur pour l'outil de forage.

D'après les études, la vitesse de pénétration croît en proportion directe de la vitesse de rotation dans les terrains tendres, par contre dans les terrains durs, il existe une valeur optimale au delà de laquelle la vitesse d'avancement n'augmente plus. Les équipements de rotation sont :

2-3-1) La table de rotation:

Organe mécanique très simple, ne nécessitant que peu de maintenance, son entretien ne consiste qu'à la vérification du niveau et de la qualité de l'huile du système de lubrification.

La dimension nominale est caractérisé par le diamètre de passage dans lequel est installé le master bushing dont les rôles sont la suspension de la garniture par l'intermédiaire des cales et l'entraînement du carré d'entraînement en forage.

La motorisation de la table de rotation se fait par l'intermédiaire d'une roue dentée et chaîne soit à partir du treuil soit, sur les appareils lourds, par moteur électrique indépendant de la transmission du treuil .

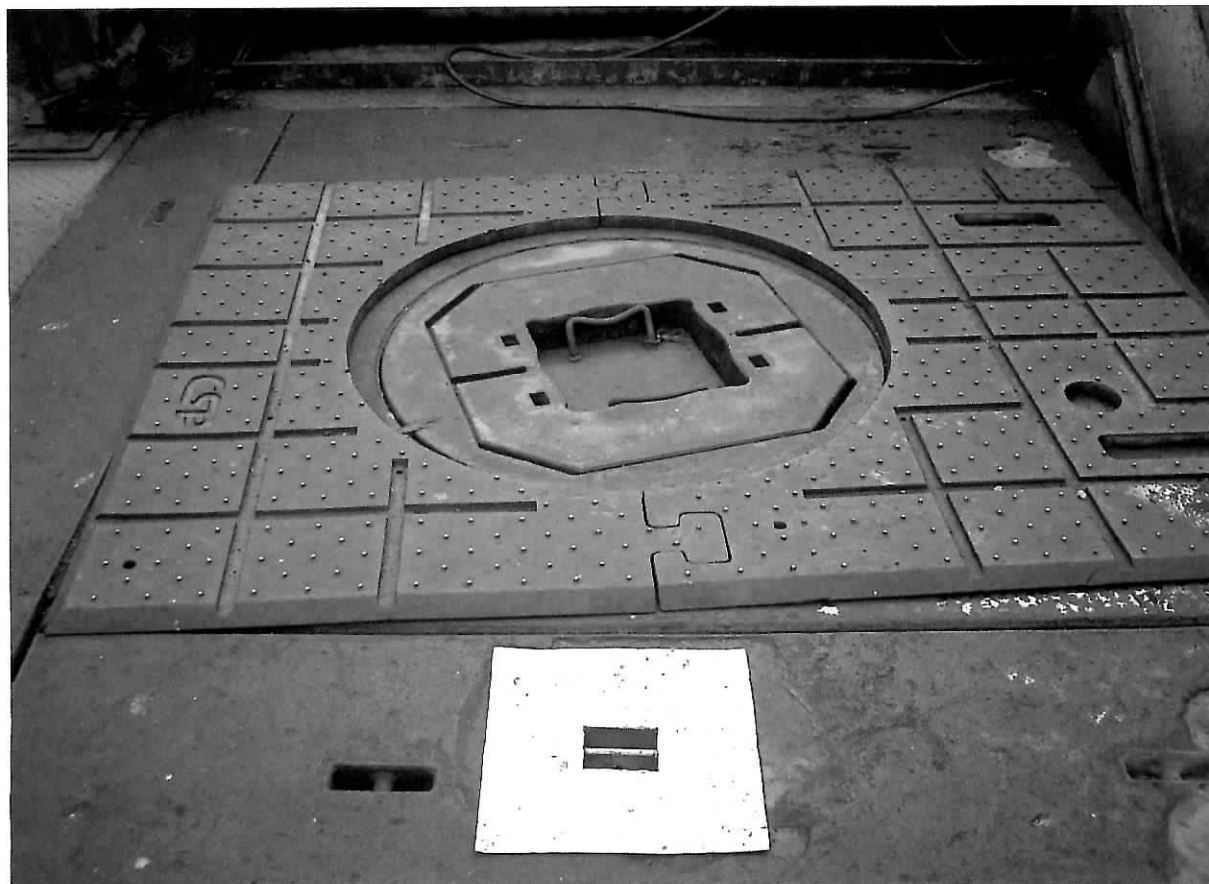


Fig 7 :Table de rotation

2-3-2) La tige d'entraînement:

De section carrée, hexagonale ou triangulaire, elle est entraînée en rotation par la table et par l'intermédiaire du carré monté autour de sa longueur courante. Ce carré est constitué de quatre rouleaux à axe horizontal de forme appropriée pour transmettre le couple à la tige et par conséquent à la garniture de forage vissée sous le raccord inférieur.

La tige d'entraînement se compose de tube propre, de filetage supérieur pour l'accoupler à la tête d'injection et de filetage inférieur pour l'accoupler aux tiges de forage .

2-3-3) La tête d'injection:

Composant lié à la tige d'entraînement, il est suspendu par son anse au crochet de levage.

Il doit être conçu à la fois pour la charge maximale de garniture et pour la vitesse de rotation maximale. D'autre part, un joint d'étanchéité rotatif permet l'injection sous pression du fluide de forage par un flexible relié au col de la tête d'injection.



Fig 8 : tête d'injection (Swivel)

2-3-4) Outils de vissage :

L'application du couple de serrage ou de déblocage se fait encore 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 .

La traction exercée par ce treuil donne un couple sur le tubulaire par l'intermédiaire du bras de levier correspondant à la longueur de la clé. Deux ouvriers de plancher sont nécessaires à la mise en place et au retrait de ces clés.

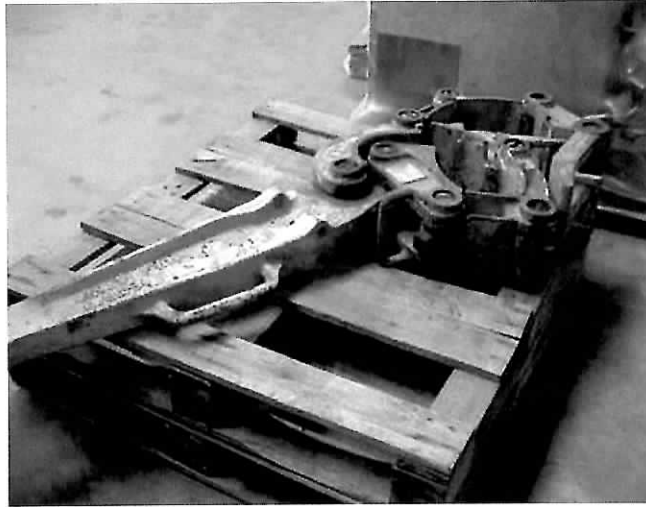


Fig 9 : Clé manuelle

2-3-5) La tête d'injection motorisée(Top Drive) :

Elle remplit le même rôle que les têtes d'injection conventionnelles mais en plus sert de transmission mécanique sur l'arbre rotatif, le fonctionnement peut être par moteur électrique à courant continu, ou bien par moteur hydraulique.

L'installation d'une tête d'injection motorisée(Top Drive) présente un certain nombre de contraintes :

- Installation d'un système de guidage dans la tour pour absorber le couple réactif.
- Renforcement de la structure compte tenu de cet effort de torsion supplémentaire.
- Rehaussement de la tour, car la tête d'injection motorisée(Top Drive) est plus longue qu'une tête conventionnelle.
- Flexibles ou câbles d'alimentation supplémentaires dans la tour de forage.
- Augmentation notable du poids en hauteur .
- Investissement supplémentaire et surtout maintenance beaucoup plus importante par rapport au système table de rotation et tige d'entraînement.

Mais les avantages suivants imposent dorénavant l'utilisation de ce système dans les opérations de développement :

- Pas de manipulation de Kelly .
- Reconnexions sur la garniture en manœuvre sur n'importe quelle hauteur.
- Forage par triple possible.
- Remontée en rotation et circulation.
- Carottage en grande longueur.
- Dégerbage de la garniture supprimé entre deux puits de développement lorsque le déplacement de l'appareil de forage peut se faire mât levé et gerbage dans la tour.
- Possibilité d'application d'un couple statique pendant un temps indéterminé.



Fig 10: Top Drive

2-4) La fonction pompage :

2-4-1) Définition :

Cette fonction est celle qui assure une alimentation continue, du volume, du débit, et de la pression nécessaire en boue de forage.

Cet élément de forage qu'est le fluide, remplit des rôles très importants, ce sont :

- La remontée des déblais (cuttings) ;
- Le maintien des déblais en suspension après arrêt de la circulation ;
- Le refroidissement et la lubrification de l'outil ;
- Le maintien des parois du trou foré ;
- Le contrôle des fluides des formation traversées ;
- L'intervention dans les paramètres de forage (selon la pression exercée par la boue);
- La transmission de la puissance au équipement de fond (moteurs volumétrique) ;
- La remontée des informations géologique ;
- L'indication des zones de fracturation (perte de boue) ;
- L'alerte sur l'imminence d'un kick (venue) ;

Le fluide de forage devra donc être en circulation continue pour assurer toutes les fonctions précédemment citées, il sera mis en mouvement par des pompes à boue .

Les pompes de forage doivent fournir le débit nécessaire aux phases .

Le choix de ce débit sera fait par l'ingénieur de forage en fonction des différents critères suivants :

- Vitesse de remontée de la boue dans l'annulaire (espace trou / tige) ;
- Nettoyage de l'outil de forage ;
- Temps maximum de remontée d'un débris de formation (cutting) ;
- Type d'écoulement dans l'annulaire ;
- Stabilité des parois ;
- Forage avec moteur de fond .

La pression de refoulement aux pompes est directement liées :

- Aux pertes de charge dans les conduites de circulation ;
- Aux pertes de charges aux jets de l'outil ;
- À la chute de pression dans le moteur de fond éventuel ;
- Aux débit et caractéristiques physiques du fluide .

Les pompes de forage modernes ont une pression de service de 5000 psi, c'est à dire 35 Mpa, mais les utilisateurs se limitent, à 25 Mpa environ pour des raison de maintenance et de sécurité opérationnelle. Cela conduit les appareils lourd a se munir de deux pompes de 1600 hp (1200 KW). Il est absolument nécessaire d'avoir deux pompes indépendantes, mais qui peuvent fonctionner en parallèle afin d'avoir une des deux pompes en secours et disposer des moyens de faire circuler la boue dans le puits.

2-4-2) Les pompes de forage :

Ce sont des pompes alternatives à pistons, le mouvement alternatif des pistons et des tiges étant produit par le système de bielle et de vilebrequin.

Ces pompes de principe volumétrique fournissent un débit qui est directement fonction de la cylindrée des chemises de pompes et du régime de rotation du vilebrequin. Pour régler le débit, les foreurs comptent les cycles par minute ce qu'ils définissent par coups de pompes à la minute .

Les pompes de forage moderne sont triplex, c'est à dire à trois pistons, ces derniers se déplacent dans des chemises de cylindre, aspirent le fluide par la conduite d'aspiration, puis l'expédient dans la colonne de refoulement .

La particularité des ces pompes est la possibilité d'intervenir directement sur le chemisage en changeant le diamètre, pour un débit élevé nous devons mettre un chemisage le plus grand possible, c'est utilisé dans les phases à grand diamètre (26") (*) là où l'on n'a pas besoin de grandes pression (le débit est inversement proportionnelle à la pression) et inversement pour les diamètres de chemise inférieurs s'il est besoin de pression élevée.

* Le symbole « '' » veut dire pouce (unité anglo-saxonne) 1 pouce = 2,54 cm

La pression maximale admissible aux pompes de forage doit être au moins égale à la pression maximale possible en tête de puits en fonction du programme de forage.

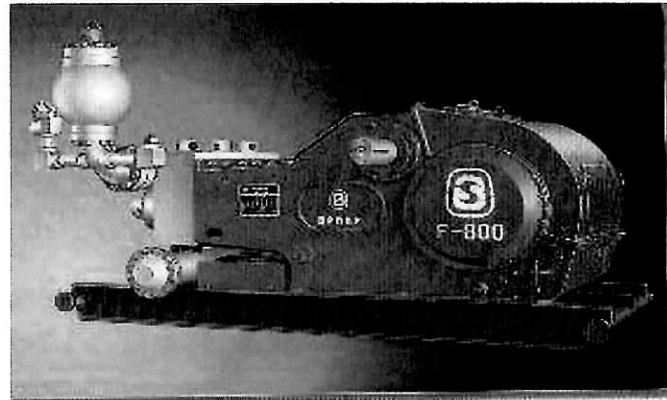


Fig 11: Pompe à boue

2-4-3) Le circuit boue :

Le forage par rotation rend impérative la circulation du fluide, le nettoyage des puits est une opération technologique importante du fait de la diversité des fonctions que remplit la boue (fonctions hydrodynamiques, hydrostatiques, physiques et chimiques) .

La boue étant un élément primordial dans le forage, elle devra suivre un cycle afin de remplir au mieux toutes les fonctions lui étant imparties .

Ce cycle est composé de :

- Pompage de la boue des bacs de préparation (bassins).
- Circulation.
- Retour.
- Recyclage et renvoi vers les bacs.

Le volume des bassins doit être tel qu'une éruption normalement prévisible en fonction du programme de forage puisse être maîtrisée, pour cela le volume total des

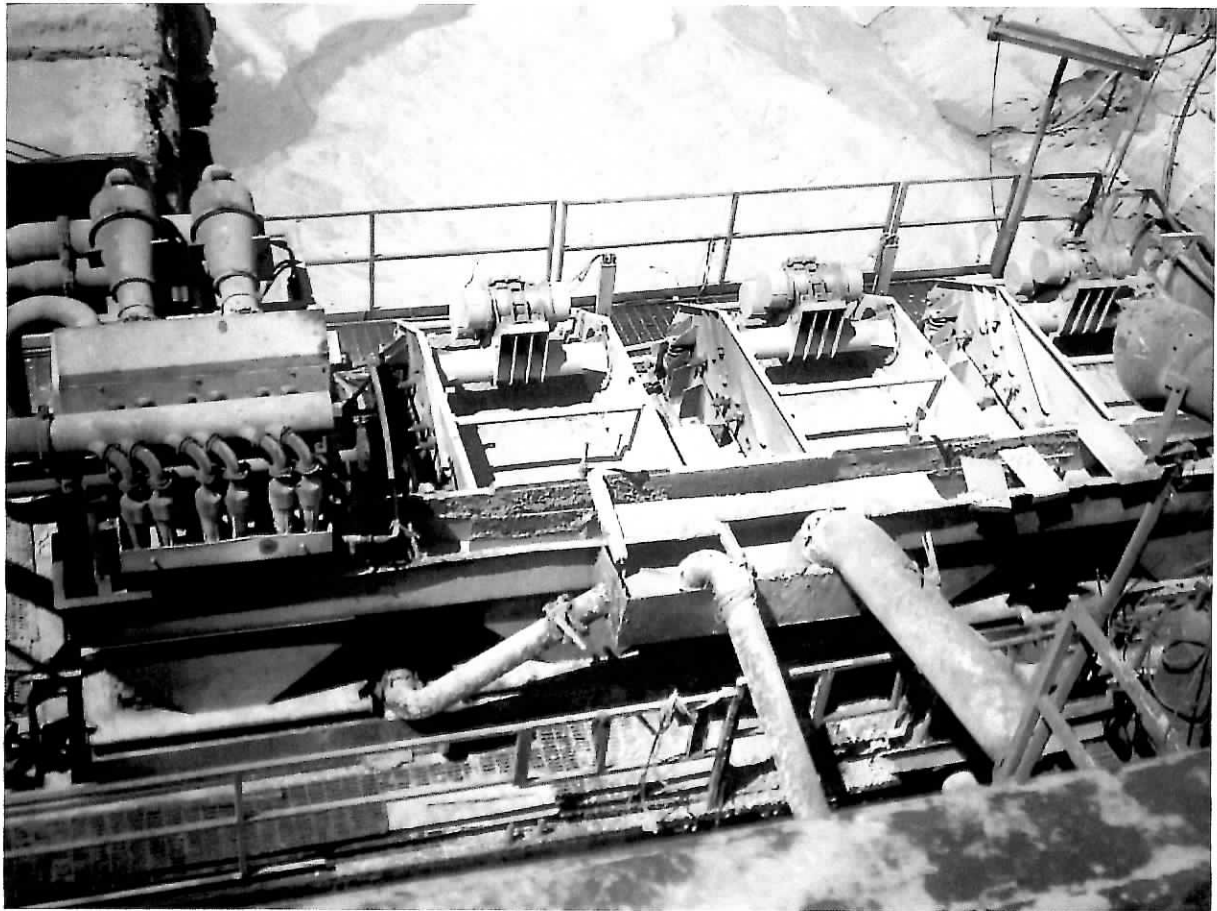


Fig 12 : Tamis vibrants (à droite) et Mudcleaner (à gauche)

3) Principales opérations de forage :

Ce sont essentiellement :

- Le forage.
- L'ajout de tige.
- La manœuvre.
- Tubage et cimentation.
- Montage de la tête de puits.
- Complétion.

3-1) Le forage :

C'est l'opération de base, réalisée uniquement par le chef de poste qui applique un poids sur l'outil à pastilles de diamant poly cristallin (PDC), tout en l'entraînant en rotation par l'intermédiaire des tiges permettant aussi l'injection de la boue de forage de manière continue.

Dans le forage, il convient à contrôler beaucoup de paramètres, les plus important sont:

- Nature, forabilité, tendance à dévier, et abrasivité de la couche ;
- Type de l'outil ;
- Poids et vitesse de rotation ;
- Caractéristiques du fluide de forage.

Durant cette opération occupant peu de personnel, la commande principale dirigée par le chef de poste est le levier de frein, en effet c'est cette commande qui lui permet de contrôler le poids sur l'outils WOB (Weight On Bit), les deux autres paramètres, vitesse de rotation RPM (Rotation Par Minute) et débit boue sont en général fixes, contrôlés et ajustés suivant un programme bien déterminé.

3-2) L'ajout de tige ou connexion :

Lorsque le forage d'une longueur est effectué, il faut rallonger la garniture de forage par une autre longueur comprenant trois tiges, les différentes séquences de cette opérations sont :

- Arrêt du forage ;
- Levage de la garniture (effectué par le chef de poste à l'aide du treuil) ;
- Calage de la garniture(effectué par trois opérateurs à l'aide d'une cale) ;
- Dévissage tige de la top drive (effectué par le chef de poste en actionnant les commandes de la top drive) ;
- Remontée de la top drive (effectuée par le chef de poste à l'aide du treuil) ;
- Mettre la tige dans la top drive (effectuée par l'accrocheur) ;

- Graissage du filetage mâle de la top drive et femelle de la tige calée ;
- Mettre la tige et la visser avec la top drive (effectuée par le chef de poste en actionnant les commandes de la top drive) ;
- Reprise du forage.

3-3) La manœuvre:

Les terrains traversés lors d'un forage développent une force de résistance à l'outil, cette force est différente d'une formation à une autre, ce phénomène entraîne souvent une usure de l'outil qu'on est amené à changer.

Dans des cas pareils, ou lorsqu'on a atteint la cote désirée (TD), et des fois uniquement parce qu'une déviation est survenue, il faut remonter la totalité de la garniture soit pour changer l'outil, soit pour entamer une interphase ou bien pour faire des corrections sur l'inclinaison. Les différentes séquences de cette opération sont :

- Levage garniture ;
- Calage garniture ;
- Dévissage tige avec clé Manuelle ;
- Dévissage tige avec clé Hydraulique ;
- Dégagement de la tige de l'élévateur ;
- Rangement tige ;
- Descente élévateur ;
- Reprise de la manœuvre.

3-4) Tubage et cimentation:

Au cours du forage le trou de sonde dégage des terrains différents suivant la composition, les propriétés physiques et chimiques et les pressions du gisement, les roches peuvent être stables ou susceptibles d'éboulement et de gonflement. Un trou de sonde peut découvrir des couches à basses pressions, qui absorbent le fluide de forage, et à pressions élevées, productives et improductives.

Pour assurer un forage sans aléas, il faut consolider le puits par des tubes d'acier dont l'ensemble s'appelle tubage ou casing.

Le tubage est l'opération qui consiste à descendre les tubes casing dans le puits après avoir foré jusqu'à la cote désirée, par ajout unitaire d'un tubulaire de diamètre important.

Les connexions lors du tubage, doivent être suffisamment résistantes à la torsion, à la flexion et à la traction ; aussi elles doivent être parfaitement étanches .

Les objectifs principaux du tubage sont :

- former un canal durable et étanche pour le transfert du pétrole de la couche profonde à la surface .
- assurer la sécurité de l'isolation des horizons à pressions différentes, ainsi que l'isolation des horizons productifs et improductifs entre eux.
- Raffermer les parois du trou constituées par des roches à stabilité insuffisante.

La cimentation consiste à mettre en place un laitier de ciment dans l'espace annulaire à travers les tiges de forage dans le cas d'une cimentation par stinger*. Ou bien par l'intermédiaire de deux bouchons, c'est à dire faire remonter le ciment dans l'espace annulaire à travers le sabot. La procédure s'effectue par simple circulation.

L'objectif de la cimentation est de maintenir en suspension le tubage et d'assurer l'étanchéité de l'espace annulaire tubage-parois du trou, d'isoler les horizons d'absorption découverts par le puits, de protéger le tubage contre la corrosion par les fluides de gisement agressifs...etc.

Le succès de cette opération requiert une attention particulière au moindre détail, ce qui impose une étroite collaboration entre l'opérateur et la compagnie de service à tous les stades ; il est aussi tributaire d'un ensemble de facteurs :

- Géométrie du trou.
- Propriétés de la boue de forage.
- Centralisation du casing.
- Composition du laitier de ciment.
- Déplacement effectif de la boue.
- Préparation et exécution des opérations de cimentation.

* Stinger : tête d'injection du ciment, qu'on descend au fond du puits.

Ces deux opérations successives (tubage et cimentation), sont indispensables à la consolidation d'un puits , mais surtout très délicates car tout incident en cour du tubage ou de la cimentation aura de mauvaises conséquences pour la poursuite du forage.



Fig 13 : Déscente tubage

3-5) Montage de la tête de puits:

Après avoir effectué le tubage et la cimentation, il convient à présent de monter les équipements de suspension et d'étanchéité pour faire des tests afin de s'assurer que tout est conforme aux exigences de sécurité. Parmi ces équipements on retrouve :

La tête de tubage de base appelée Casing Head Housing (CHH) , c'est le premier élément raccordé au tubage de surface par vissage ou bien par soudure pour

permettre le montage des BOP ou encore de la tête de tubage « Casing Head Spool » .

Les BOP sont des obturateurs de tête de puits dont les deux principales tâches sont :

- Assurer la fermeture du puits dans le cas de rencontre de formations contenant un fluide à une pression supérieure à la pression hydrostatique de la boue de forage.
- Permettre la circulation pour reconditionner la boue, ajuster sa densité et évacuer le fluide présent dans le puits.



Fig 14 : Montage tête de puits

3-6) Complétion:

Dans les activités du forage, elle représente la dernière séquence qui succède la descente et la mise en place du casing de production , elle consiste à descendre des équipements de production dans le puits c'est à dire Packer, Tubing, vanne de sécurité ...etc. c'est la phase de l'élaboration du puits.

Durant cette opération finale, le foreur est amené à parachever la liaison existante entre la couche réservoir et le trou réalisé par forage, perforation, acidification ou fracturation .

4) Autres opérations: [5]

4-1) Le Drill Steam Test (DST):

C'est l'opération qui permet de savoir si les indices révélés proviennent d'horizons contenant de l'huile, du gaz ou de l'eau, et ainsi d'estimer les débits et les pressions des réservoirs.

On peut définir le DST comme étant une mise en production provisoire du puits en cours du forage, permettant de recueillir des échantillons des fluides contenus dans les roches .

C'est aussi l'opération clé, car c'est grâce aux résultats qu'elle peut fournir que le foreur décidera soit de lancer les programmes de tubage pour mettre en place une colonne de production et donc le puits en exploitation, ou bien de poursuivre le forage vers des objectifs plus profonds ou alors d'abandonner carrément le puits .

4-2) Les diagraphies:

La progression du forage doit être enregistrée, contrôlée, et comparée à la planification du puits, au fur et à mesure que des nouvelles données deviennent disponibles, il peut s'avérer nécessaire de modifier le programme afin d'avoir une meilleure conduite du forage.

Pour ce faire, on doit effectuer des mesures soit en cours du forage, soit pendant les périodes d'arrêt pour assurer la sécurité du puits, des installations et du personnel, mais aussi pour la constitution des documents techniques (dans le cas du forage de développement c'est pour confirmer les données obtenues par des forages d'exploration).

Ces mesures sont appelées diagraphies (log), c'est l'appellation qu'on donne à toute représentation graphique des variations d'un paramètre en fonction d'un autre; on peut distinguer deux catégories de mesures :

4-2-1) Les diagraphies instantanées:

Ce sont des mesures collectées sur l'ensemble de l'installation au cours du forage, elles concernent essentiellement :

- Les paramètres du forage : poids sur l'outils, vitesse de pénétration, vitesse de rotation et débit d'injection de la boue.
- Les variables de conditions de fonctionnement : couple à la table de rotation (ou top drive), pression de refoulement aux pompes de forage, vitesse de déplacement du train de sonde et le niveau de la boue dans les bassins.
- Les variables géologiques selon les formations traversées : température et résistivité de la boue, teneur en gaz et la densité de la boue.

4-2-2) Les diagraphies différées:

C'est les mesures de paramètres physiques des formations traversées par sondage, effectuées pendant le « Drilling Flat Time » après retrait des tiges de forage , elles sont faites à l'aide de sondes descendues dans le trou de forage au bout d'un câble enroulé sur le treuil de la cabine d'enregistrement .

Les diagraphies différées permettent d'évaluer les caractéristiques des formations et fluides rencontrés, d'apporter des informations techniques (détection du point de coincement...) et d'étudier les phénomènes liés aux fluides et leurs écoulement.

Le suivi du forage permet d'avoir des données qui peuvent être traitées et analysées en surface par un système informatique. Ce suivi peut être réalisé à partir des trois familles de mesures :

- Mesures directionnelles MWD : nous donnent l'inclinaison et l'azimut pour pouvoir suivre la trajectoire du puits et vérifier sa conformité avec la trajectoire prévisionnelle.
- Paramètres mécanique de forage MWD : le poids sur l'outil (WOB), le couple transmis sur l'outil (torque) et la pression annulaire au fond qui peut nous indiquer un coincement lorsqu'elle augmente, ou bien une venue lorsqu'elle diminue.
- Evaluation de la formation : pour corréler les formations forées avec les puits voisins et obtenir de plus amples informations pétro-physiques sur ces formations ; ainsi fournir des données géologiques permet d'obtenir une vue macroscopique du réservoir et pour séparer le drain en différentes zones en vue de compléter ce réservoir de la façon la plus efficace.

4-3) Instrumentation (fishing job):

C'est l'opération qui met en œuvre des instruments spécifiques permettant le rétablissement à la normale de la situation et ainsi la continuation du programme.

Dans un forage, trois types d'accidents sont possibles, ce sont :

- 1) Présence de pièces métalliques sur le front de taille due au bris de l'outil de forage ou de la chute dans le puits d'outils du plancher.
- 2) Rupture de tubulaires dans le trou foré, il peut s'agir de cassures au niveau des masses tiges, des tiges de forage, d'une colonne de casing ou de tubing. Il faudra donc dégager le puits de ces longueurs de cylindres en acier.
- 3) Coincement de la garniture de forage, dans ce cas on peut être confronté à une rupture suite à des tentatives de décoincement, ou bien on peut dévisser la garniture pour un abandon provisoire de la partie coincée.

Trois causes sont à l'origine des accidents nécessitant une instrumentation :

- Une déficience du matériel donc de l'outil de forage qui est mal adapté à la formation traversée et qui peut avoir une usure excessive qui provoque des ruptures inattendues, la garniture de forage est surtout menacée par la fatigue, l'usure, le manque d'entretien et le contrôle défaillant ainsi que la mauvaise

utilisation. Les ruptures les plus courantes se situent au niveau des filetages des masses tiges ou les contraintes sont les plus grandes.

- Des problèmes liés au sol, en effet les terrains mal consolidés et les terrains gonflants provoquent des frottements importants pouvant aller jusqu'au coincement total de la garniture, les formations fortement perméables peuvent coincer la garniture par action de la pression différentielle résultant de la différence de la pression hydrostatique de la boue et la pression de pore de la formation.
- Le facteur humain est à prendre en considération, les maladresses, les fautes techniques, les chutes de matériels dans le trou, la décision de remontée des outils avant rupture et beaucoup d'autres erreurs que l'ensemble du personnel peut commettre, donc pour limiter ces risques une expérience professionnelle des travailleurs est primordiale à ce stade.

5) Suivi d'un forage horizontal: [7], [8], [9]

Les puits horizontaux sont classés suivant la longueur de leur rayon de courbure pour arriver à l'horizontale, on peut distinguer :

- Puits à court rayon de courbure ($5m < R < 20m$) : « Short radius ».
- Puits à moyen rayon de courbure ($100m < R < 200m$) : « Médium radius ».
- Puits à long rayon de courbure ($R > 300m$) « Long radius ».

L'objectif d'un puits horizontal medium radius à Hassi Messaoud est de réaliser un drain d'environ 1000 mètres traversant toute l'épaisseur des réservoirs Ra et R2 ou Ra seul, perpendiculairement à l'orientation générale de l'anisotropie, avec une inclinaison moyenne de 83° à 87° , de façon à traverser sub-horizontalement les différents drains de part en part.

Pour cela, plusieurs paramètres sont à prendre en considération :

- Conception correcte du train de tiges pour un forage optimal du drain .
- Sélection des instruments de forage les mieux appropriés .
- Sélection minutieuse du fluide de forage afin de minimiser l'endommagement de la formation sans pour autant pénaliser le nettoyage du trou lors du forage.
- Choix correcte des équipements d'élimination des solides en surface.

5-1) Etude du champ de Hassi Messaoud:

5-1-1) Situation géographique :

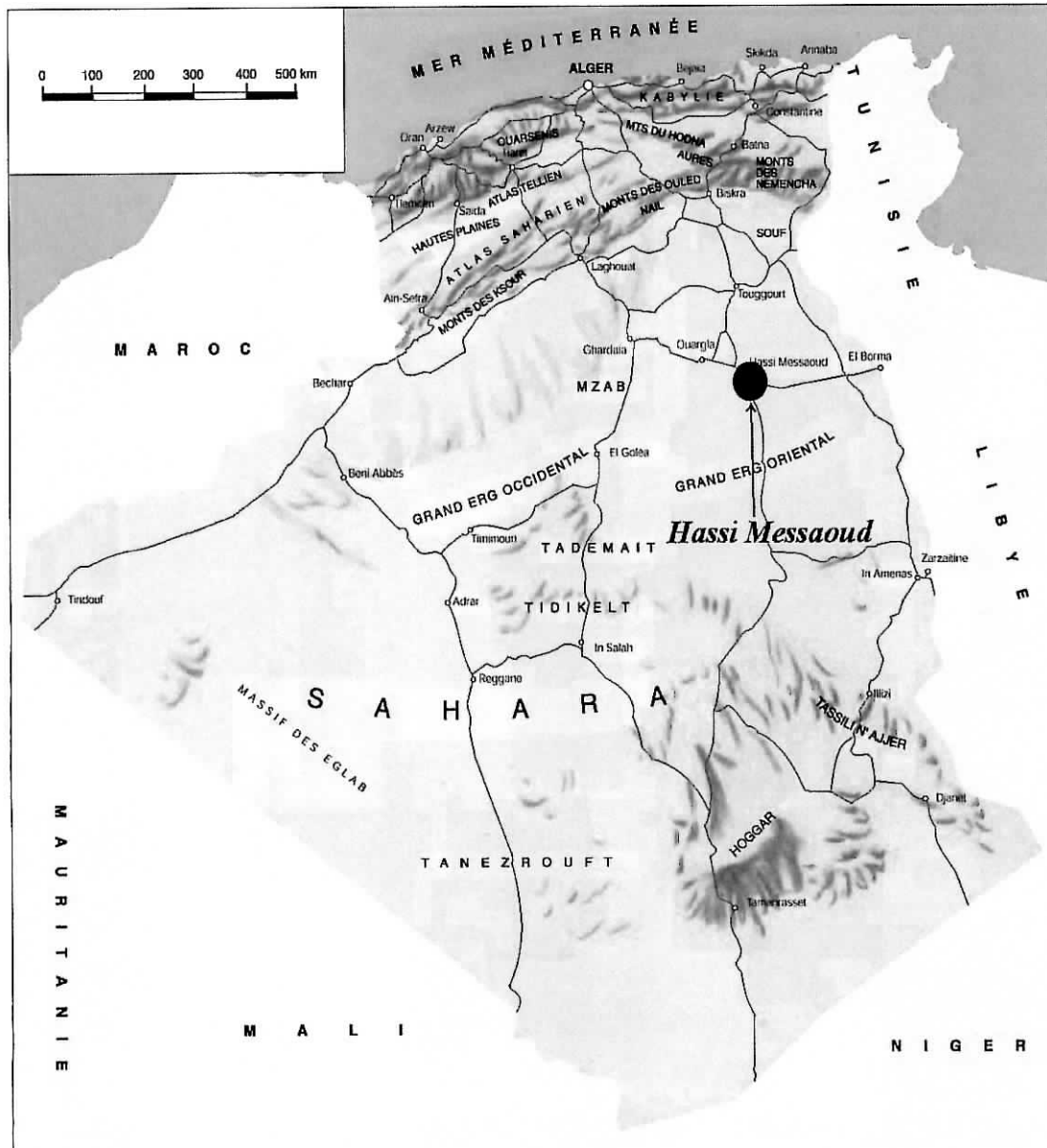


Fig 15 : Situation géographique du champ de Hassi Messaoud

Le champ de Hassi Messaoud est considéré comme l'un des plus grands gisements dans le monde. Il se situe à environ 850 km au Sud-Sud-Est d'Alger, à 280 km au Sud-Est du gisement de gaz-condensat de Hassi R'Mel et à 350 km à l'Ouest de la frontière tunisienne.

Il a pour coordonnées Lambert :

$$X = [790.000 - 840.000] \text{ Est}$$

$$Y = [110.000 - 150.000] \text{ Nord}$$

Après la mise en évidence par la sismique de la structure de Hassi Messaoud, en 1956, la sismique réfraction a mis en évidence un vaste dôme structural sur lequel la société "SN REPAL" a implanté le 16 Janvier 1956, le premier puits Md1, pas loin du puits chamelier de Hassi Messaoud. Le 15 juin de la même année, ce forage a recoupé des grès cambriens à 3338m comme étant producteurs d'huile.

En mai 1957, la société "CFPA" a réalisé un puits Om1 à environ 7Km au Nord / Nord-Ouest du puits Md1, ce forage confirmait l'existence d'huile dans les grès du Cambrien.

Par la suite, le champ de Hassi Messaoud fut divisé en deux concessions distinctes :

- C.F.P.A pour le champ Nord (zone des Om et On).
- SN.REPAL pour le champ sud. (zone des Md) .

La concession sur laquelle se trouve Hassi Messaoud, dont la superficie est de l'ordre de 2200 km², avait été octroyée le 1^{er} Novembre 1961, à l'association SN.REPAL - C.F.P.A. La C.F.P.A détenait 51% et la SN.REPAL 49%

La mise en production avait commencé en 1958 avec 20 puits d'exploitation.

Le gisement de Hassi Messaoud se caractérise par sa formation (Cambro-Ordovicien) , sa profondeur (entre 3100 et 3380 m) , son épaisseur (jusqu'à 200 m) , la légèreté de son huile ($\text{api} = 45,5$), sa pression initiale élevée (482 kg/cm^2) pour un point de bulle entre 140 et 200 kg/cm^2 .

Le réservoir est constitué de 4 ensembles , ou litho zones , qui sont à partir du bas : R3 , le R2 , le Ra et le Ri . Le Ra constitue en qualité et en épaisseur la partie la plus importante du gisement . Le type de dépôt est tel que les épaisseurs des divers réservoirs (ou litho zones) sont remarquablement stables étant donné l'extension du gisement (environ $40 \text{ km} \times 30 \text{ km}$). La limite supérieure est constituée par la discordance hercynienne qui peut atteindre toutes les litho zones . La limite inférieure a été choisie comme la surface d'ascension capillaire correspondant à une saturation en eau égale à 65% (limite base de l'huile mobile). L'aquifère n'est pas actif.

La roche est essentiellement constituée de grès quartzique qui fait l'objet d'une diagenèse importante . La tectonique a fait apparaître un certain nombre de failles avec des rejets importants (jusqu'à 100 m) . L'hétérogénéité est importante sur le champ de Hassi Messaoud

5-1-2) Géologie :

I. Stratigraphie :

➤ Le socle :

Rencontré aux environs de la profondeur de 4000m, il est constitué de granite porphyroïde de couleur rose à deux micas.

➤ Le Paléozoïque :

L'infra-Cambrien

Unité géologique la plus ancienne reconnue au Nord de la structure par le forage Omg47 à une profondeur de 4092 m. Il est composé de grès argileux de couleur rouge ($e = 45 \text{ m}$) .

Le Cambrien :

Essentiellement constitué de grés hétérogènes, fins à très grossiers, entrecoupés de passées de siltstones argilo-micacés, ces matériaux sont dits « Grés de MESSAOUD ». On y distingue trois litho-zones R1 (Ri+Ra), R2 et R3.

- **Litho-zone R3** : Compris entre la tranche 300 et 400 repose sur l'infra-cambrien, et parfois directement sur le socle granitique. Elle se compose de grés grossiers à microconglomérats feldspathique, les grains sont mal classés, le ciment est de nature argileuse avec parfois des zones à grés ferrugineux, et des intercalations d'argiles silteuses. elle représente une série de comblements d'une épaisseur pouvant atteindre 300 m il semble que son épaisseur augmente du Sud au Nord . Le "R3" ne présente aucun intérêt pétrolier.

- **Litho-zone R2** : compris entre la tranche 200 à 300 il est constitué de grés quartzite et quartzite gréseuse moyens à grossiers, anisométriques, avec parfois des niveaux micro-conglomératiques , parfois micacé à ciment Argileux assez abondant (illites) . On note des intercalations millimétriques de silt . e= 100m

- **Litho-zone Ra** : (3406m-3506m)représente le réservoir principal.

Dans sa partie supérieure et moyenne (e = 20 à 60m) il est formé de grés quartzites, anisométriques, moyens à grossiers, à ciment silico - argileux (kaolinite) localement constitué de quartzites franches. Présence de tigillites.

Dans la partie inférieure s'intercalent, de manière irrégulière, des passées centimétriques de siltstones argileux .

L'épaisseur moyenne totale du Ra est de 100 à 120m.

- **Litho-zone Ri** : (3370m-3406m) correspond au réservoir isométrique. Il a été recoupé essentiellement à la périphérie du champ, là où la série est complète . Il est représenté par des Grés quartzites isométrique moyens à fins à ciment argileux , avec de nombreuses passées silteuses . Les tigillites y sont abondantes .
e = 50 m, il repose sur le Ra supérieur par une surface d'abrasion (discontinuité) .

L'Ordovicien :

Les terrains de l'ordovicien sont absents au centre de la structure (zone la plus exposée à l'érosion), le Trias repose donc directement sur le Cambrien ; la série se complète vers la périphérie (partie sub-méridionale) . La superposition des différents termes de l'ordovicien est de haut en bas la suivante :

Dans sa représentation la plus complète il est constitué de quatre termes:

- **Zone des Alternances** : (e = 20m) argiles indurées, alternant avec des bancs quartzitiques isométriques et de grés moyens à fins. Les tigillites sont abondantes. Les premiers mètres de ce niveau sont constitués de grés (Md 28) qui constituent le réservoir de cette tranche.
- **Les argiles d'El Gassi** : (e = 50m) argiles schisteuses, glauconieuses ou carbonatées, vertes et noires à graptolithes.
- **Les grés d'El Atchane** : (e = 25m) grés fin à très fin, beige à gris-sombre, à ciment argileux, bitumineux. Productifs sur Omj 76 .
- **Les quartzites de Hamra** : (e = 12 à 75m) quartzites gris-clair, fines à moyennes, localement grossières, à fissures sub-horizontales, présentant parfois des intercalations argileuses. Traces de tigillites.

➤ **Le Mésozoïque :**

Le Trias : Représenté par quatre niveaux :

1-Éruptif : Andésites altérées à veinules de Sidérite alternant avec des argiles , présente à la périphérie du gisement , reposant en discordance (hercynienne) sur les terrains du primaire ($0 < e < 92$ m)

2-Argilo-Gresex : (3362m-3397m) Grés fin friable à ciment argileux silts et dolomie. $e = 35$ m

Les terrains du Trias Argilo-gréseux (TAG) sont le siège de zones à pertes plus ou moins virulentes selon la position où l'on se trouve sur le champs.

3-Argileux : (3211m-3362m) Argiles plus ou moins silteuses, brun-rouge à bariolé, dolomitiques et anhydritiques avec des intercalations de banc de sel au sommet . ($e = 113$ m).

4-Salifère : subdivisé en trois horizons

- **TS3 :** (2991m-3211m) Sel massif à traces d'argile silteuse, tendre ($e = 202$ m).
- **TS2 :** (2823m-2991m) Sel massif à intercalations d'anhydrite blanche, pulvérulente et d'argile gypsifère, moyennement indurée, silteuse ($e = 189$ m).
- **TS1 :** (2773m-2823m) d'une épaisseur de 46m, ce niveau est représenté par des sels massifs, des passées d'anhydrite, et des intercalations d'argile dolomitique.

Les horizons TS2 et TS3 sont le siège de manifestations d'argiles fluantes.

Le Trias repose en discordance directement sur le Cambrien au centre de la structure et sur l'Ordovicien au niveau des zones périphériques.

Le Jurassique :**1-Le Lias :**

D'une épaisseur de 300m, il est représenté par cinq niveaux :

- **LD3** : (2706m-2773m) marnes à passées dolomitiques de couleur gris à gris verdâtre (e = 30m).
- **LS2** :(2653m-2706m) Sel massif, blanc, translucide avec des intercalations argilo-salifère de couleur brun rouge (e = 60m).
- **LD2** : (2596m-2653m) dolomies massives à grains fins, de couleur grisâtre, micro-cristalline à quelques passées marneuses renfermant des eaux chlorurées calciques calciques sous de fortes pression : 560 kg/cm² (e = 55m)
- **LS1** : (2497m-2596m) bancs de sels et argiles avec des passées d'anhydrite blanche (e = 90m).
- **LD1** : (2439m-2497m) dolomie grise à gris-beige, dure, anhydrite blanche et pulvérulente avec parfois des passées d'argile silteuse (e = 65m).

2-Le Dogger :

Représenté par deux niveaux :

- **LAGUNAIRE** :(2224m-2439m) Anhydrite parfois cristalline et dure, dolomie moyennement dure argileuse , marne grise (e = 210m).
- **ARGILEUX** : (2112m-2224m) Argiles silteuses, tendres à indurées, de marnes dolomitiques à fines passées de grés à grains fins (e = 105m).

3-Le Malm :

Représenté par des dépôts d'argile et de marne avec des intercalations de bancs calcaires et de dolomie accompagnées de quelques traces d'anhydrite. . Il a une épaisseur moyenne de 226 m et contient un aquifère d'eau dont la salinité est de 30 g/l (1893m-2112m).

Le Crétacé :**Néocomien :** (1703m-1893m)

Représenté par de la dolomie micro-cristalline, moyennement dure, des marnes et des argiles avec de fines passées de grés.

Barremien : (1412m-1703m)

Représenté par des grés fins à moyens carbonatés à plage d'anhydrite, alternant avec des niveaux d'argiles et grés dolomitiques.

Aptien : (1387m-1412m)

Représenté par deux bancs de dolomie cristalline encadrant un niveau argileux. La limite Aptien-Barrémien coïncide avec la barre calcaire-dolomitique qui représente un bon repère sismique.

Albien : (1053m-1387m)

Il est représenté par des grés et sables fins avec intercalations d'argile silteuse. Il renferme un aquifère artésien d'eau douce utilisé pour l'injection et les besoins généraux.

Cénomaniien : (901m-1053m)

Constitué par une alternance d'anhydrite et d'argile rouge, de marne grise, de dolomie puis un banc calcaire. La limite Cénomaniien-Albien coïncide avec le passage des séries évaporitiques aux séries plus gréseuses de l'Albien.

Turonien : (788m-901m)

Ce sont des formations carbonatées, constituées de calcaire, craie, dolomie et quelques niveaux argileux. Vers le sommet on distingue des calcaires à lumachelles.

Il renferme un aquifère non éruptif représenté par des eaux à odeur d'hydrogène sulfuré. Ces eaux sont produites par pompage et utilisées pour le maintien de pression par injection d'eau. Elles ont une salinité de 210g/l et une densité de 1,13.

Sénonien:

Il est constitué de trois niveaux :

- **Salifère :** (663m-788m) D'une épaisseur moyenne de 140m, il est constituée de sel massif à traces d'anhydrite et est aussi à faciès lagunaire .

- **Anhydritique :** (485m-663m) A faciès lagunaire d'une épaisseur moyenne de 219m, il est composée d'anhydrite blanche, pulvérulente, cristalline et massive, de dolomie beige moyennement dure, de marne grise tendre et de calcaire tendre, argilo-dolomitique.

- **Carbonaté** (363m-458m) Il est constitué de calcaire dolomitique beige à gris-beige, micro-cristallin, moyennement dur avec fines passées d'anhydrite blanche, tendre.

➤ **Le Cénozoïque:**

L' Eocene (246m-362 m)

Constitué de :

- argile brun-rouge, tendre à pâteuse, fortement sableuse,
- marne versicolore, pâteuse et fines passées d'anhydrite blanche, pulvérulente,
- Calcaire dolomitique blanc crayeux, tendre et gris-clair micro-cristallin, moyennement dur à la base avec parfois des rognons de silex. Présence de nummulites.

Le Tertiaire renferme un complexe aquifère à la limite de la potabilité.

Mio-Pliocene : (246 m)

Présent en surface sur toute la superficie du champ.

Constitué par :

- sable blanc à jaunâtre parfois translucide, moyen à grossier, arrondi à sub-arrondi avec fines passées d'argile brun-rouge, tendre à pâteuse,
- calcaire blanc à gris blanc, crayeux, tendre à moyennement dur avec passées d'argile versicolore,
- Marnes gris-brun, fortement sableuse, pâteuse à la base.

Présent en surface sur toute la superficie du champ.

Constitué par des sables, du calcaire et des marnes sableuses.

Ces terrains se sont mis en place par l'intermédiaire de chenaux (grande disparité de leur granulométrie horizontale et verticale). Ils sont non consolidés et leur porosité est très importante ce qui entraîne des pertes partielles ou totales et des risques d'éboulement lors du forage. Ils reposent à leur base sur l'Eocène par une surface d'abrasion

II. Synthèse pléogéodynamique :

Le gisement de Hassi Messaoud, dans le Nord du Sahara, est situé sur une vaste dorsale bordée au Nord-Ouest et au Sud-Est par des dépressions (respectivement bassin de l'Oued Mya et bassin de Ghadames). Sur la dorsale, une bonne partie de la série géologique est absente supprimant tout témoin de l'histoire géologique pendant 200 millions d'années.

On peut utiliser dans une certaine mesure les données recueillies dans les dépressions voisines pour reconstituer l'histoire de la formation du gisement. On peut dénombrer les principales étapes :

- A l'origine des temps paléozoïques, au Cambrien (vers 570 millions d'années), la mer recouvre un socle en partie granitique pendant environ 70 millions d'années. Elle dépose une série détritique de 600 à 700m d'épaisseur, qui constituera les grés réservoirs du gisement. Vers la fin de cette période interviennent quelques déformations des couches, déformations dont l'ampleur est mal connue mais qui ont pu constituer un premier piège.

- Au cours de l'Ordovicien apparaissent les premières argiles (argiles d'El Gassi), mais c'est au Silurien que la mer dépose une série argileuse vraiment épaisse. Toutes ces argiles sont sombres, riches en matières organiques et parfois bitumineuses. Ce sont elles qui ont, vraisemblablement, joué le rôle de roche mère et produit les hydrocarbures du gisement.

- La sédimentation se poursuit pendant le reste du Paléozoïque; on ignore l'épaisseur exacte des sédiments déposés sur la dorsale de Hassi Messaoud mais dans les dépressions voisines, plus de 1000 à 1500m de sédiments recouvrent les grés réservoirs et soumettent les roches mères à un enfouissement leur permettant de produire des hydrocarbures. Si la déformation apparue à la fin du Cambrien est suffisante, toutes les conditions sont réunies pour former à Hassi Messaoud un gisement dès cette époque, c'est-à-dire il y a 300 millions d'années : présence d'un réservoir surmonté de roches mères, formation d'hydrocarbures qui ont pu migrer vers le réservoir et s'accumuler dans une structure causée par la première déformation reconnue de l'histoire géologique. A cette époque, la couverture du

gisement est constituée par les roches mères elles-mêmes qui sont des argiles imperméables.

- A la fin du Paléozoïque, vers 250 millions d'années, des mouvements beaucoup plus importants déforment les couches et créent un vaste dôme (orogénèse hercynienne). Ces mouvements à caractères régionaux entraînent un retrait de la mer ; la région est soumise à une érosion intense qui enlève peut-être 800m de sédiments à Hassi Messaoud, ne laissant subsister sur le dôme que les grès de base dans lesquels on a retrouvé les traces des reliefs et des vallées de l'époque ; le gisement est détruit, faute de protection suffisante. Tout au moins quelques traces d'hydrocarbures altérés ont pu subsister dans des zones relativement protégées, traces que l'on retrouve sous forme de bitumes dans le gisement actuel.

- Au Trias, le mer recouvre à nouveau la région en noyant progressivement les reliefs ; elle ne quittera pas la région jusqu'au début du Tertiaire. Pendant cette période de 200 millions d'années, elle dépose environ 3000m de sédiments variés : grès, argile, anhydrite, sel et carbonates. Un niveau d'argile bien continu et suffisamment épais (Trias argileux) assure une nouvelle couverture au réservoir ; le dôme d'Hassi Messaoud s'accroît et acquiert sa forme actuelle à l'Albien (100 millions d'années).

- Les roches mères supposées sont actuellement séparées du réservoir producteur par un écran de grès compacts et siliceux ; il est donc difficile d'imaginer la migration des hydrocarbures, et il faut supposer que cet écran disparaît en dehors des limites du gisement.

- Les dépôts des quelques 250m de sables et argiles du Mio-Pliocène ne modifient plus la situation du gisement.

III. Le gisement :

Sur le plan structural, le gisement est représenté par un vaste dôme dont les limites s'étendent sur une superficie de 2332 km². Cette structure est affectée par un réseau complexe de failles dont l'orientation dominante est NE-SW.

L'écorché paléozoïque montre que le Cambrien R1 et R2 sont recouverts par des terrains Paléozoïque de plus en plus récents en allant vers la périphérie, les quartzites de Hamra en forment le terme le jeune.

L'érosion Hercynienne a eu pour effet, la mise à jour des roches du réservoir entraînant une minéralisation des fissures par les eaux de surface sur une épaisseur de quelques mètres sous la discordance hercynienne. Un système de vallée rempli d'éruptifs sur les flancs s'est mis en place à cette époque.

On constate que l'objectif Cambrien est de plus en plus profond quand on se déplace vers le sommet du dôme vers sa périphérie, d'autre part, la pente structurale est de plus en plus accentuée ce qui réduit d'autant la hauteur utile.

On remarque également une non-conformité entre le toit du Cambrien R2 et la discordance hercynienne.

Le gisement a pu être subdivisé en 25 zones productrices par l'évolution des pressions de puits en fonction de la production. Ces zones apparaissent comme des ensemble de puits communicants entre eux mais pas, ou insuffisamment, avec ceux des zones voisines. Les échanges de fluides sont donc très faibles entre deux zones. Cette zonation a été confirmée par le schéma tectonique et variation latérale de la perméabilité sur un même niveau.

A l'origine la pression de gisement était de 482 kg/cm².

La déplétion naturelle du gisement liée au soutirage, fait chuter plus rapidement la pression du réservoir dans la zone centrale Nord.

En 1964 il y eut démarrage du système de récupération secondaire par injection de gaz miscible haute pression dans les zones centrales. Ce procédé est maintenant étendu à la majorité des zones.

En 1972 fut mis en place le procédé de récupération secondaire par injection d'eau en zone 13N, il sera par la suite étendu à 5 autres zones du gisement. Un certain nombre de zones sont encore en déplétion naturelle, très basse pour certaines.

En résumé, le réservoir de Hassi Messaoud est un milieu hétérogène sur le plan vertical et sur le plan horizontal d'où des variations très importantes de la perméabilité. Cette hétérogénéité s'explique par le dépôt des grés Cambrien, compliqué par les effets diagénétiques.

L'anisotropie (siltstone) et la discontinuité (écoulement des fluides) du milieu induisent une extrême difficulté pour élaborer un modèle cohérent.

Plusieurs années après la mise en production du champ de Hassi Messaoud, on a pu constater que des ensembles de puits se comportent de manière indépendante les uns par rapport aux autres, d'où la définition de zones dont les pressions moyennes évoluent de manières différentes. Les périphéries de zones, les inter-zones et les hors-zones sont des régions de faibles caractéristiques pétrophysiques. Leur développement n'est concevable que par la mise en place de moyens non conventionnels : forages horizontaux ou reprises en short radius.

Une étude de caractérisation du réservoir du champ de Hassi Messaoud est entreprise par de nouvelles méthodes géostatistiques sur les hétérogénéités, ayant pour objectif une représentation des paramètres pétrophysiques du réservoir et leur évolution spatiale. Ceci permettra de mieux localiser les futures implantations des puits, et de mieux comprendre les phénomènes de balayage des fluides injectés.

Cette étude montre une forte structuration du réservoir en quatre unités (R2 sup., le niveau grossier inférieur, le D3-D4 et le Ri), et une organisation des caractéristiques pétrophysiques en bandes de bonnes et moins bonnes perméabilités, d'orientation NE / SO.

La perméabilité horizontale moyenne est très faible (± 2 m) et la perméabilité verticale très mauvaise. C'est la raison pour laquelle les puits medium

radius ne sont pas des puits rigoureusement horizontaux, mais des puits inclinés à $\pm 87^\circ$, de façon à traverser le réservoir sur toute son épaisseur.

Le pendage des couches est de $0,41^\circ$ au toit de la discordance.

5-2) Suivi d'un forage horizontal Hassi Messaoud:

le forage des puits est assumé par une équipe dont les obligations consistent à réaliser :

- 1) Les travaux préparatoires, c'est à dire l'appareillage du mouflage, l'accouplement du flexible au tube d'équilibre de pression hydraulique et à la tête d'injection, le forage de l'avant trou, la mise en place du tube guide, le montage de la table de rotation et des éléments de mécanisation, la répartition de l'outillage...etc.
- 2) Les travaux liés au forage, le forage, les manœuvres, le traitement boue, la prévention des incidents, le contrôle des équipements, préparation des tubages et cimentations...etc.
- 3) Les travaux relatifs au remplacement des pièces à usure rapide, de l'équipement et des mécanismes, leur entretien et celui des appareils.
- 4) Les travaux de la mise à l'essai des horizons productifs au cours du forage et après la perforation du tubage.

L'équipe de forage est dirigée par le chef chantier, elle se compose de deux groupes qui se succèdent l'un à l'autre , chacun travaille 12 heures pour permettre la poursuite du forage H24.

Prévisions effectuées:

Avant d'entamer le forage d'un puits donné, le Superviseur de Forage doit se référer au document « Fiche puits »*, dans lequel des prévisions sont effectuées à partir d'études statistiques faites sur des puits terminés se trouvant plus ou moins dans les mêmes conditions que le puits en question.

* Document Sonatrach contenant toutes les informations relatives à la réalisation du puits.

PREVISIONS GEOLOGIQUES

AGE	ETAGES	PROFONDEUR (m VD)	DESCRIPTION		
CRETACE	MIO-PLIOCENE		Sable. calcaire. marne sableuse		
	EOCENE		Calcaire, dolomie et silex		
	LAGUN		CARBONATE ANHYDRITIQ	Calcaire, dolomie, et anhydrite	
			SALIFERE	Anhydrite, marne et dolomie	
	TURONIEN			Sel massif et traces d'anhydrite	
	CENOMANIEN			Calcaire dolomitique crayeux	
	ALBIEN			Anhydrite, marne et dolomie	
	APTIEN			Grès et argile silteuse	
	BARREMIEN			Dolomie cristalline	
	NEOCOMIEN			Argile, sable et grès	
	MALM			Dolomie, marne, argile, passées de grès argile, marne, calcaire, grès, trace	
	JURASSIQUE		DOGGE	ARGILEUX	Argile, marne, dolomie et passées de grès
				LAGUNAIRE	Anhydrite, dolomie et marne
LIAS		LD1	Dolomie, anhydrite et argile		
		LS1	Alternance de sel et d'anhydrite		
		LD2	Anhydrite et dolomie		
		LS2	Sel massif à intercalation d'argile gypseuse		
		LD3	Dolomie et marne dolomitique		
		TS1	Anhydrite et argile dolomitique		
SALIFER		TS2	Sel massif à intercalation d'anhydrite et d'argile gréseuse		
		TS3	Sel massif et traces d'argile gypseuse		
TRIASG	Em	Argile dolomitique ou silteuse injectée de sel et d'anhydrite		
	35.... ARGILEUX		Grès fins à ciment argileux abondant		
	ARGILO GRESSEIL	GRES SUP		Argile dolomitique et niveau de dolomie	
		ARGILO-CARBONATE		Grès fins à moyens à ciment argileux	
		GRES INF		Roche éruptive brun rouge	
	ANDESITE		Grès très fins		
	ORDOVICIE	QUARTIZITES DE		Grès glauconieux fins et passées d'argile	
GRES D'EL			Grès glauconieux et dolomitiques		
ARGILE D'EL GASSI			Alternance d'argile, de silts et de quartz fins		
ZONE DES ALTERNANCES			Grès, grès quartzitiques iso. passées de silt		
CAMBRIEN		ZONE R1		Grès quartzitiques avec passées de siltstones	
	ZONE RA				
	ZONE R2		Grès quartzitiques moyens à grossiers		

Fig16 : Colonne stratigraphique Hassi Messaoud

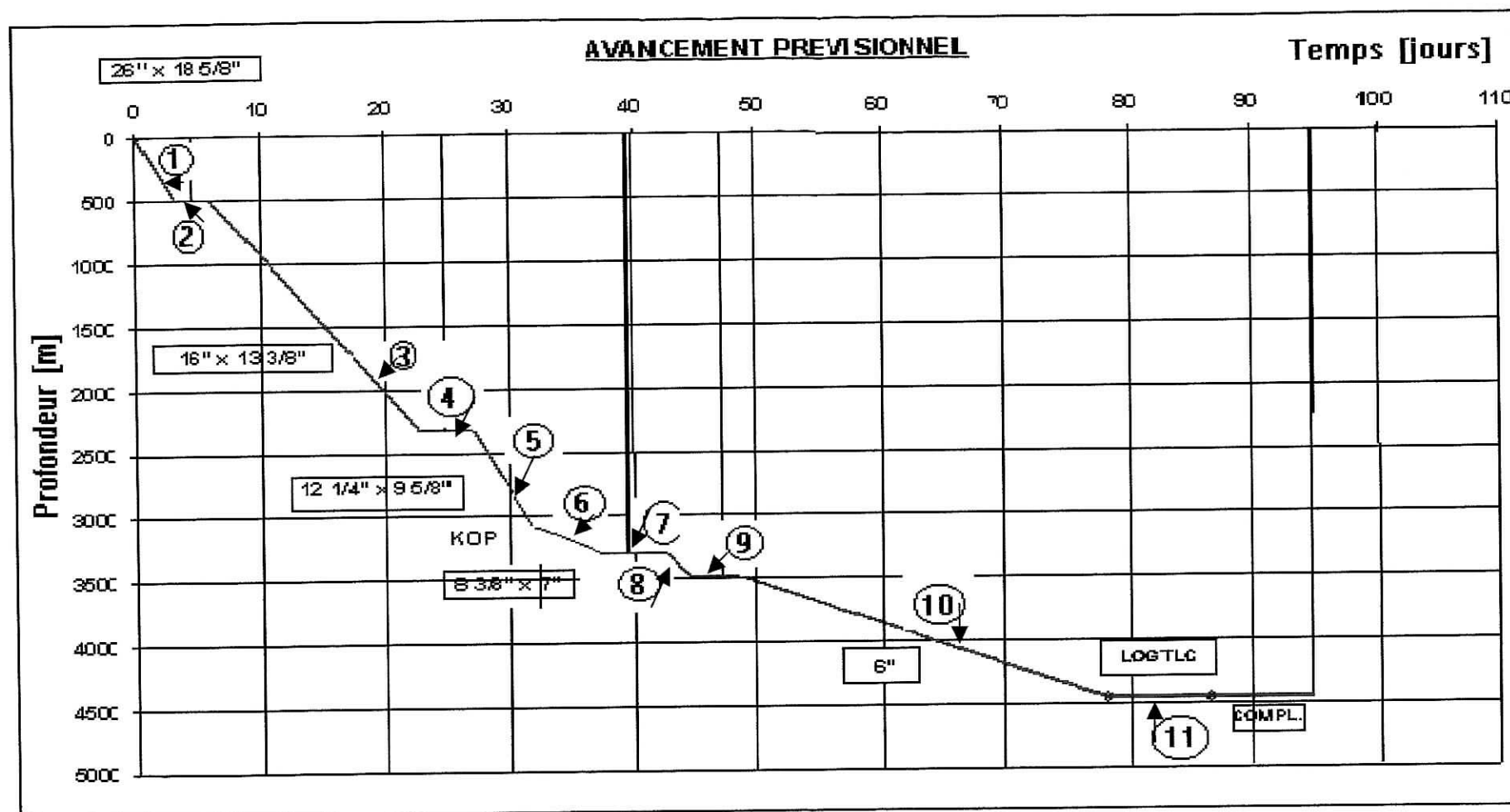


Fig17 : Organigramme des phases et interphases.

5-2-1) Phase 26" : étape (1) de l'organigramme**Stratégie:**

- Forage vertical en 26" depuis la surface jusqu'à 40m dans le Sénonien anhydritique.
- Avant le démarrage du forage, gerber (assembler) des DP 5" (DP = drill pipe = tige de forage) et les stocker en longueurs (1 longueur = 3 tiges assemblées) dans le mât.
- Les deux pompes de forage sont chemisées en $\varnothing 6 \frac{1}{2}$ " ou en $\varnothing 7$ "(suivant le type de pompes).
- Maintien de la densité de boue sortie avant vibrateurs à une valeur inférieure ou égale à 1.10 par:
 - Utilisation continue des équipements de dessablage ;
 - Mesure de la densité de sortie avant le dispositif d'épuration des solides ;
 - Dilution et éjection de boue, pour conserver la densité, aussi fréquemment que nécessaire ;
 - Application stricte des débits de forage

Boue de forage

Type	Bentonitique simple
Densité entrée	1.05 – 1.08
Densité sortie	< 1.10

5-2-2) InterPhase 26"-16" : étape (2) de l'organigramme

- Dès réception du tubage sur chantier, contrôler et mesurer les tubes ;
- Vérifier la hauteur table de rotation / cave, et bien choisir le dernier tube afin d'ajuster la côte en fonction du type de casing head housing disponible ;
- Pour la descente utiliser un élévateur de capacité 150 T et des cales de tubage ;

- Une fois les 2 premiers joints sous la table de rotation, vérifier avec une lampe torche que l'anti-retour du sabot fonctionne bien ;
- Remplissage de la colonne pendant la descente tous les 5 tubes ;
- Visser la tête de circulation sur le dernier joint ;
- S'assurer que le retour de boue est de 100 %.
- On a préalablement
 - vérifié la compatibilité stinger / sabot ;
 - vérifié et changé si nécessaire les joints d'étanchéité.
- Descendre et engager le stinger dans le sabot ;
- Démarrer la circulation pour vérifier l'étanchéité des équipements ;
- Cimenter suivant le programme de cimentation ;
- Purger, vérifier qu'il n'y a pas de retour et désancrer le stinger ;
- Après la remontée du stinger au jour, centrer et ajuster le tubage ;
- Visser le casing head housing sur le dernier tube ;
- Le test du BOP et de la colonne 18 5/8" se fera à 1000 psi ;
- Chemiser les deux pompes de forage en \varnothing 6" ou en \varnothing 6 1/2" pour démarrer la phase suivante .

5-2-3) Phase 16" : étape (3) de l'organigramme

Stratégie

- Forage vertical du sabot du tubage 18 5/8" en 16" jusqu'à pénétrer de 110 m dans le Dogger lagunaire.

Boue

Augmenter la densité de la boue de façon à être impérativement à 1,25 au toit de l'Albien. Cette densité est ensuite maintenue jusqu'à la fin de la phase.

Type	Émulsion inverse, saumure salée saturée
------	---

	NaCl
Densité	1,25

Reforage du ciment et accessoires de cimentation

- Gerber et stocker dans la tour le complément de tiges de forage 5" nécessaire pour atteindre la côte finale de la phase 16".
- Gerber la garniture et descendre jusqu'au top du ciment.
- Reforage du ciment et du sabot avec les paramètres suivants :

WOB	RPM	Débit l/mn
0 - 15 T	60 – 80	3000

- Forage sous le sabot 18 5/8" avec des paramètres réduits, le temps que tous les stabilisateurs soient sortis du tubage.

WOB	RPM	Débit l/min
10-15 T	80	3200

- Poursuivre le forage avec les paramètres optimaux :

WOB	RPM	Débit l/mn
10 - 25 T	80 - 120	3400

5-2-4) InterPhase 16"- 12"^{1/4} : étape (4) de l'organigramme

En fin de forage une circulation est effectuée jusqu'au nettoyage complet du puits, et faire les opérations électriques.

- Prévoir 3-4 tubes 13 3/8" (les plus courts) pour faciliter l'ajustage de la colonne ;
- Utiliser un élévateur à machoires ;

- Le forage de la phase suivante avec une boue de densité 2.05 impose que le sabot 13 3/8" puisse résister à une pression de densité équivalente à 2.22 minimum. La cimentation se doit donc d'être réussie ;
- Une fois la colonne au fond, circuler au moins un cycle ;
- Cimenter en un ou deux étages suivant le programme joint à la fiche puits ;
- Tester la colonne en fin de cimentation du 1er et du 2ème étage à 3000 psi ;
- Après la cimentation du tubage 13 3/8" , ancrer la colonne ;
- Couper et ajuster le dernier joint 13 3/8" ;
- Mise en place du Casing House Spool (CHS) ;
- Test du CHS à 1350 psi ;
- Montage et test BOP 13 5/8" ;
- Chemiser les deux pompes de forage en \varnothing 5 1/2" ou en \varnothing 6".

5-2-5) Phase 12^{1/4} : étape (5) et (6) de l'organigramme

Stratégie

- Forage vertical puis section build-up (dévié) jusqu'au repère G35.

Le but de cette phase est de tuber les terrains allant du Dogger lagunaire jusqu'au Trias argileux.

La présence de l'eau chlorurée calcique dans le LD2 et d'argiles fluentes dans le TS2 impose l'utilisation d'une boue lourde de densité comprise entre 2,00 et 2,07.

Par contre le TAG (Trias argilo-gréseux) sous-jacent est fragile, nécessitant une boue plus légère.

Partant du fait que le déclenchement de pertes dans le TAG pourrait être délicat pour la poursuite du forage avec une inclinaison élevée, il convient de tuber cette phase au G35.

Forage vertical : étape (5) de l'organigramme

- Jusqu'au KOP (Kick Off Point), qui représente le point de déviation.

Outil	WOB	RPM	Débit
PDC	10-15 T	100-150	2500 l/mn

Forage dirigé (ou dévié) : étape (6) de l'organigramme

On appelle puits dirigé (ou dévié) celui dont le point du front de taille est éloigné de la projection verticale du point d'origine. Le forage dirigé s'emploie surtout pour l'exécution des puits sous des zones inaccessibles par forage vertical (couvertes par des ouvrages de génie civil, sous les marais, du bord de la mer sous son fond).

Les puits déviés peuvent être forés aussi bien en rotary (forage rotatif) que par des moteurs de fond en sliding (glisser). Ces moteurs ayant un bras incliné la force appliquée sur l'outil est orientée suivant l'azimut nécessaire. En général, le mode sliding est utilisé pour effectuer les déviations élémentaires dans différentes directions (nord, sud, est, ouest) , tandis que le mode rotary est utilisé pour maintenir l'angle de déviation .

Section build up (déviée) :

- La réussite du puits dépend essentiellement du profil final de cette section build up ;
- Le débit de boue doit être optimum afin d'assurer un bon nettoyage du trou ;
- Procéder au test de surface du moteur et du MWD aux débits minimum et maximum ;
- Une fois la côte de KOP atteinte, orienter dans l'azimut théorique et démarrer la déviation ;
- Les mesures de déviation sont prises tous les 10 m forés avec le MWD ;
- Dans le cas où le gradient obtenu est trop élevé, alterner les passes de sliding et de rotary de façon régulière afin de corriger la trajectoire sans remonter en surface pour changer la valeur de l'inclinaison ;

- En cas de difficulté pour monter en inclinaison, il est impératif de remonter au jour pour augmenter la valeur du bent housing (angle de déviation du moteur de fond).

Section stabilisée (Hold)

- Cette section droite est réalisée avec la même garniture et le même outil.
- Il suffit donc de mettre la garniture en rotation et de poursuivre le forage jusqu'à la côte prévue ;
- Poursuivre le forage de la phase stabilisée jusqu'à ce que le repère G35 soit confirmé par le géologue sur site ;

Boue

Type	Emulsion inverse, saumure salée saturée NaCl
Densité	2,00 - 2,08

5-2-6) InterPhase 12^{1/4}-8^{3/8} : étape (7) de l'organigramme

- Nettoyer et inspecter visuellement les filetages des tubes 9 5/8" ;
- Calibrer les tubes aux mandrins ;
- Sélection du rang des tubes (court ou long) ;
- Dans la mesure du possible, mettre dans la section build-up les plus grands tubes possible, afin d'obtenir une bonne flexibilité ;
- Vitesse de descente préconisée : à peu près 20 secondes par tube ;
- Remplissage tous les cinq tubes ;
- Changer l'élévateur à porte par l'élévateur à mâchoires ;
- Au fond, circuler en pompant de la boue de faible rhéologie ;
- La Cimentation est réalisée en un seul étage conformément au programme de cimentation établi pour le puits ;
- Test de la colonne en fin de chasse à 3500 psi ;
- Monter le BOP et réaliser les tests en pression, avant le reforage des accessoires ;
- Chemisage des pompes de forage inchangé .

5-2-7) Phase 8" ^{3/8} : étape (8) de l'organigramme

Stratégie

Les formations sont forées en \varnothing 8 3/8" jusqu'au top du Cambrien, et couvertes par un liner (tubage) 7" (top dans le LS1).

Le point d'atterrissage au top du réservoir Ra est la côte prévisionnelle du top de la discordance hercynienne.

- Le but de cette phase est d'atteindre la cible en traversant avec une boue de densité 1,50 ;
- Build up jusqu'à atteindre l'inclinaison finale ;
- Descente et reforage anneau, ciment et sabot.
- Le changement de la boue lourde par de la boue plus légère se fera en deux paliers à 1700m et au top de l'anneau.
- Tester en surface le moteur de fond et le MWD avant de descendre au fond.
- Le MWD comprend les modules de déviation et gamma-ray, et éventuellement la résistivité (en fin de section).

Le but est de permettre au géologue de déterminer exactement et en temps réel le top du Cambrien. Cela évite également le run (la manœuvre) de diagraphies différées du découvert

8 3/8" en fin de phase ;

- Les mesures de déviation MWD se font tous les 10 m forés.

Hold (Section stabilisée)

- Cette section rectiligne a pour objet de pénétrer le Cambrien ;
- Procéder aux tests de rotation de la garniture de forage ;
- Enregistrer les diagraphies relatives à la cimentation du 9 5/8" . Les diagraphies différées relatives au découvert 8 3/8" ne sont qu'une option, puisque normalement enregistrées avec le LWD pendant le forage ;
- Descendre le liner 7".

5-2-8) InterPhase 8^{3/8}-6" : étape (9) de l'organigramme

- En vue de la cimentation du liner, calibrer les tiges de forage lors de la descente ;
- Circuler au moins un cycle indépendamment du traitement de boue à faire ;
- Faire des tests en rotation à 10 rpm et 20 rpm avec la garniture de forage
 - au-dessus du fond ;
 - à la cote prévue du top du liner ;
- Nettoyer et inspecter visuellement les filetages ;
- Calibrer les tubes au mandrin, ainsi que tous les autres équipements ;
- Relever les dimensions des différents équipements. L'ensemble composant le liner hanger a été préalablement testé à la base de la compagnie de service ;
- Vérifier que l'outil de pose est parfaitement vissé à la tête du liner ;
- Préparer et assembler la tête de cimentation, préalablement contrôlée et testée ;
- Tests en rotation à 10 rpm et 20 rpm : noter les valeurs du couple en surface ;
- Descente et encrage du liner ;
- La Cimentation est réalisée en un seul étage, et en rotation (10-15 rpm) (Le top du ciment est au top du liner) ;
- Test BOP;
- Chemisage des pompes de forage inchangé .

5-2-9) Phase 6" : étape (10) de l'organigramme**Stratégie**

Le drain est foré soit dans les réservoirs Ra et R2, soit dans le réservoir Ra uniquement. La hauteur disponible (épaisseur du Ra + R2) est égale à ± 80 m.

- Forage stabilisé ou en drop-off (inverse du build up) ;
- Descente et reforage des équipements liner ;
- Changement de la boue lourde par de la boue légère .

Drain

Gradient de build up = zéro dans le Ra, puisque on cherche à maintenir l'inclinaison du drain constante ;

- Ajuster le bent housing du moteur à une valeur faible (0.75° à 1.25° max) afin de pouvoir utiliser le forage en mode rotary et corriger si nécessaire la trajectoire (en cas de chute de l'inclinaison dans le R2) ;
- Le MWD comprendra uniquement les modules de déviation et de Gamma-ray ;
- Tester en surface les moteur et MWD ;
- Lors de chaque descente après un changement d'outil, faire une mesure de vérification du MWD à 25 m sous le sabot 7" et au fond du trou. Le maximum d'écart autorisé entre les mesures est de 1° pour l'azimut et 0,2° pour l'inclinaison ;

Recommandations technique pendant le forage

- Durant toute la phase 6", contrôler minutieusement les points suivants :
 - la valeur des frottements (poids au crochet à la descente, en rotation au-dessus du fond, à la remontée),
 - le volume des déblais remontés en surface,
 - les indices gazeux,
 - l'enregistrement du Gamma-ray,
 - les pertes partielles,
 - les gains éventuels (venues).
- Pendant le forage pomper des bouchons de nettoyage toutes les longueurs (27 m).
Même chose si l'on a des difficultés à orienter la face de l'outil en mode sliding.
- Manœuvre de remontée, faire systématiquement du back-reaming (rotation en remontant) dans le découvert.

Boue

Type	Boue à émulsion inverse
Densité	0,88

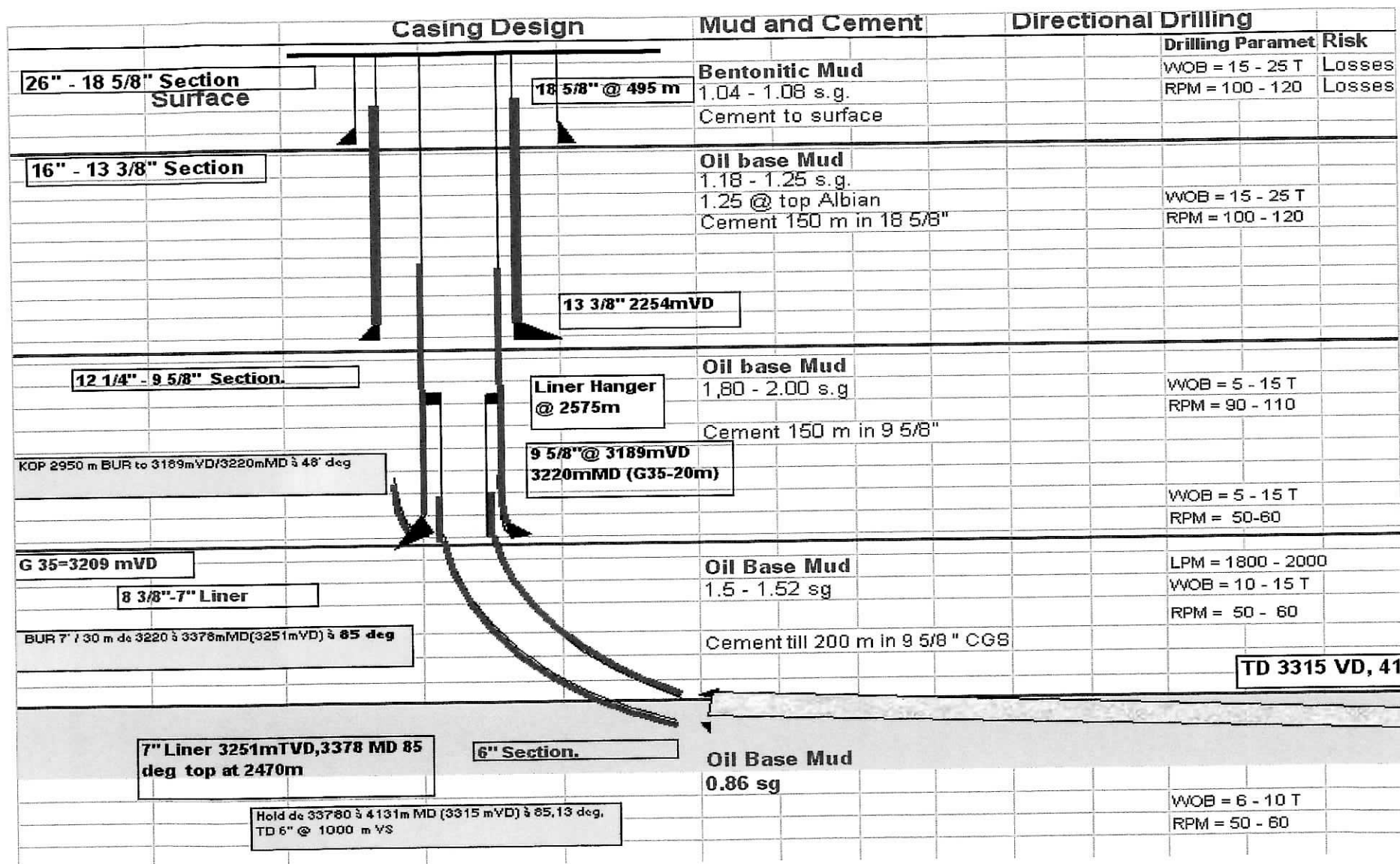


Fig18 : Architecture de puits .

II. Problématique:

La rentabilité économique de l'extraction est largement tributaire des prix du pétrole brut, or ces prix sont fixés par le marché et varient constamment. Le problème est important à cours terme où une baisse des cours peut affecter rapidement et de manière sensible la rentabilité économique de l'extraction.

A long terme le problème est différent. En effet une baisse des cours de manière prolongée peut remettre en cause la rentabilité des exploitations. Ceci est valable surtout pour les exploitations ayant un coût de production élevé : extraction dans des zones difficiles d'accès, en offshore ou nécessitant un traitement complexe avant l'obtention de pétrole brut.

L'Algérie est un pays producteur et exportateur du pétrole, membre de l'OPEP (Organisation des Pays Exportateurs du Pétrole). Sonatrach est une compagnie pétrolière dont la part dans la production mondiale de pétrole s'élève à 2,1 %, cependant malgré son important chiffre d'affaire, cette entreprise n'est pas à l'abri des problèmes dus aux nombreuses fluctuations du marché pétrolier, ce qui pousse cette compagnie à s'engager résolument dans des recherches dans la réduction des coûts et notamment dans les activités d'exploitation, et plus précisément de forage.

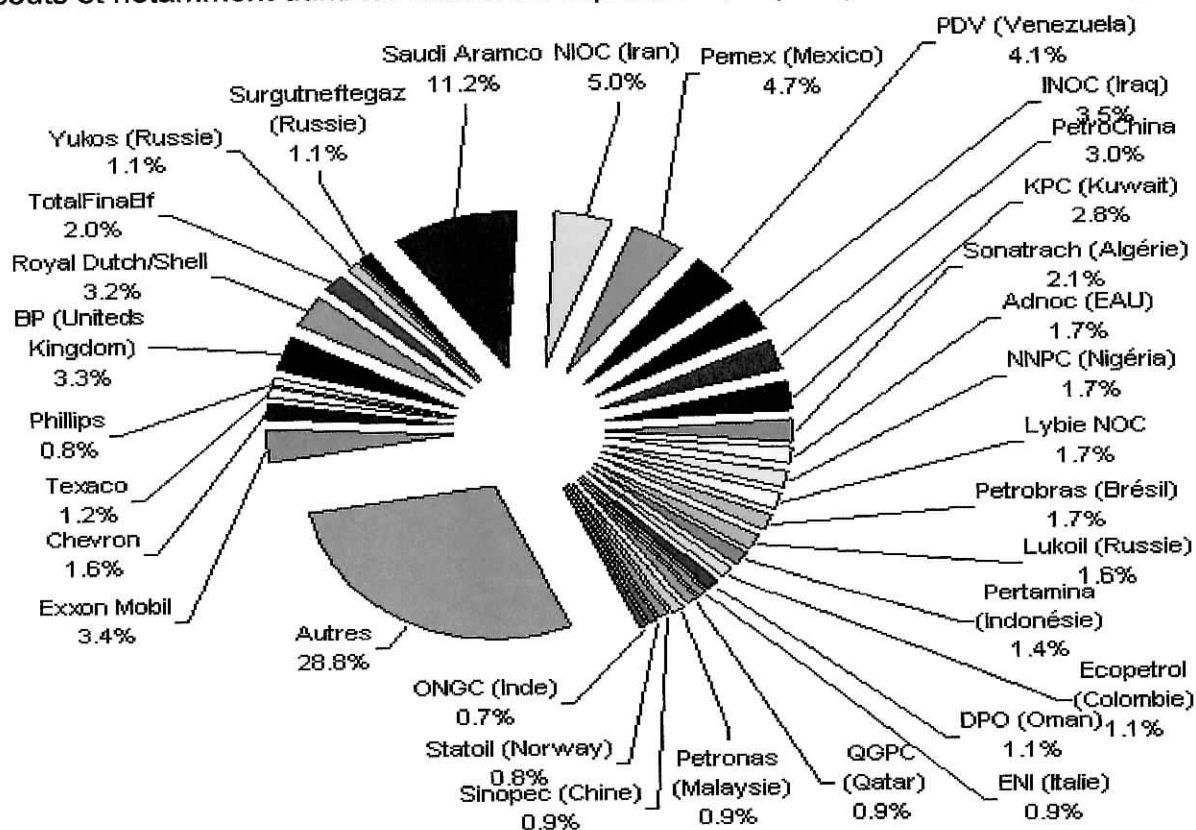


Fig19: Part des compagnies pétrolières dans la production mondiale.

Pourquoi le forage horizontal ?

Les forages horizontaux , de nouveaux types de forages qui sont actuellement utilisés et dont le principe repose sur le fait de creuser un puits à terminaison déviée, une légère courbure étant imprimée à la direction du puits lors de son forage.

Les deux avantages de cette méthode sont une réduction des nuisances faites sur l'environnement et une réduction de coût. En effet, là où une dizaine de puits séparés étaient nécessaire, impliquant par là-même autant de constructions routières, de réservoirs, de hangars...etc ; un seul de ces complexes est requis, tout en exploitant le même volume de nappe de pétrole. Les infrastructures à mettre en place sont donc beaucoup moins nombreuses, limitant d'autant les frais d'exploitation.

La technique du forage horizontal est utilisée par la Sonatrach dans le champs de Hassi Messaoud dont l'unique but est d'avoir une longueur maximale du drain dans la couche réservoir qui est d'une faible épaisseur et ainsi augmenter la production du brut du site, mais malgré les avantages que présente cette technique, le coût d'un forage horizontal reste élevé d'où la nécessité de le réduire.

Répartition des coûts :

En s'intéressant aux coûts engendrés par le forage , on peut les répartir ainsi :

- 1- Les coûts dus à l'emplacement , la préparation du terrain , les travaux de génie civil, ils représentent 8% à 12% du coût total .
- 2- Les coûts fixes, concernant les compagnies de services pour le tubage, la cimentation, les diagraphies électriques...etc, ils représentent 23% à 27% du coût total .
- 3- Les coûts proportionnels au temps, ils représentent 55% à 65% du coût total .
- 4- Le coût de la complétion, il représente 4% à 6% du coût total .

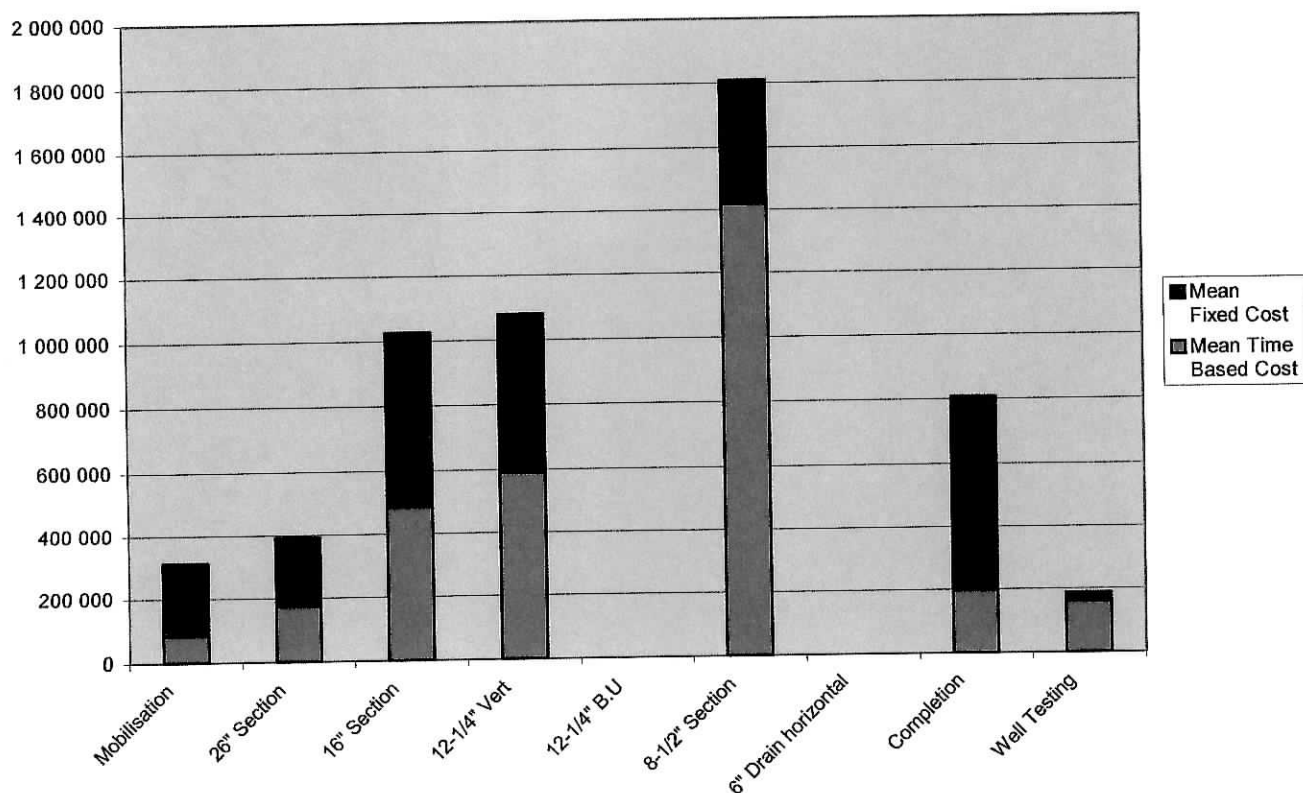


Fig20 : Répartition des coûts par phase

En analysant les taux et le graphe précédents, on s'aperçoit que les coûts les plus importants sont proportionnels au temps, ces coûts horaires sont engendrés par les différents appareils et équipements dont la location est facturée en heure de mise à disposition ou d'utilisation.

Il est évident que la moindre attente ou perte de temps sera dommageable pour la compagnie. Cependant cette dernière est souvent confrontée à ce genre de problèmes causés par les attentes pour différentes réparations sur top drive, sur pompes...etc. Ce type d'incident conduit obligatoirement à un arrêt momentané du forage, ces temps d'arrêt figurent parmi les NPT (Non Productif Time) que la Sonatrach désire éliminer , mais le problème principal de l'entreprise reste les coûts journaliers.

On peut voir dans le schéma suivant la répartition des temps dans un forage horizontal à Hassi Messaoud :

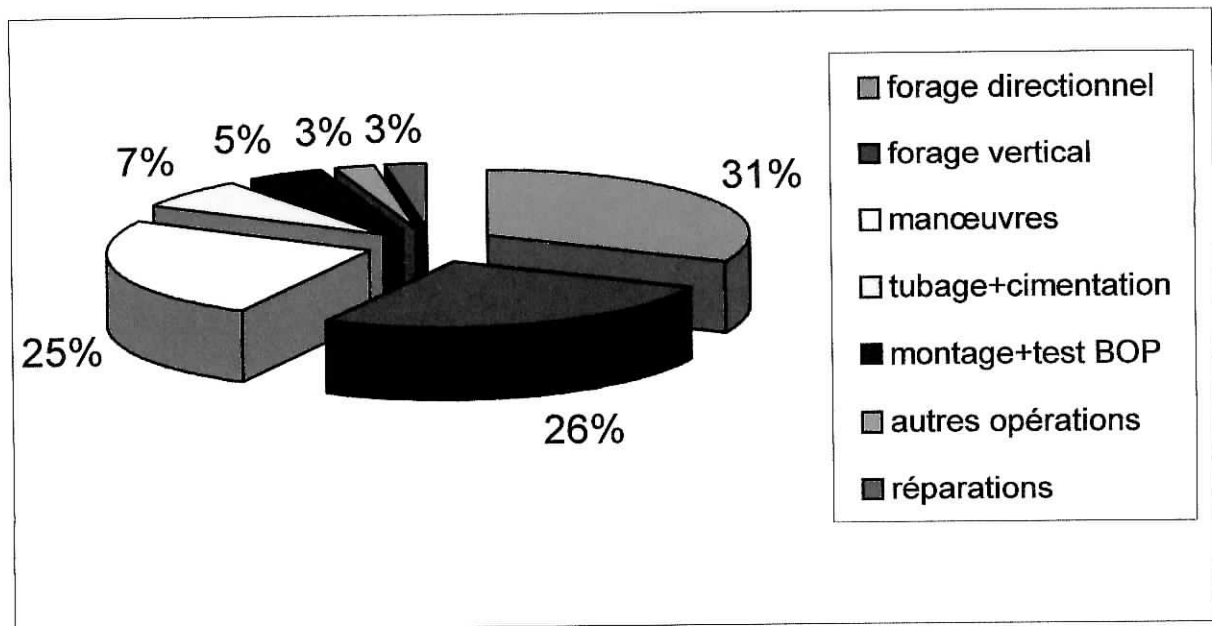


Fig21: Répartition des temps dans le forage.

Le forage directionnel, le forage vertical et les manœuvres sont les trois opérations principales qui constituent plus de 80% du temps nécessaire à un forage horizontal, l'impact d'un programme de réduction des coûts sur ces opérations sera positif et d'un bénéfice très important pour l'entreprise.

Notre travail consistera à trouver le moyen le plus efficace pour réduire le temps de ces trois opérations, on procédera comme suit :

Dans un premier temps on travaillera sur le forage (directionnel et vertical), dont l'avancement doit respecter des paramètres qui sont fonctions de la nature des terrains traversés, de l'outil utilisé...etc.

Durant notre séjour à Hassi Messaoud, on a pu constater que la différence existante pour le temps de forage entre un chantier et un autre se situait dans les connexions, c'est à dire au niveau des ajouts de tiges. En effet les terrains traversés étant de même nature vue qu'il s'agit du même champ, que les outils ont des paramètres mécaniques sensiblement identiques, cette différence dans les temps de connexions est d'autant plus palpable quand un chantier effectue

son ajout en 8 mn, alors que l'autre distant de ce dernier de quelques kilomètres, le faisait en 16 mn.

Dans un deuxième temps nous nous intéresserons de près aux manœuvres effectuées dans un forage horizontal, une manœuvre complète est composée d'une remontée de la garniture de forage au jour et d'une descente jusqu'au front de taille pour reprendre le forage. Généralement on procède à une manœuvre soit lorsqu'on a terminé le forage d'une phase pour entamer l'interphase, soit lorsque l'outil est usé pour le remplacer par un autre, ou pour d'autres problèmes tel qu'une correction de l'angle de déviation .

Le temps alloué aux manœuvres est important, cela est visible dans le graphe suivant. En effet, en moyenne il est de 18,59 jours soit 446,16 heures , sur une durée totale moyenne de 70 jours de forage.

Nous viserons alors la réduction des temps de manœuvres et de forage, et nous comptons y arriver par optimisation des connexions durant les opérations précités.

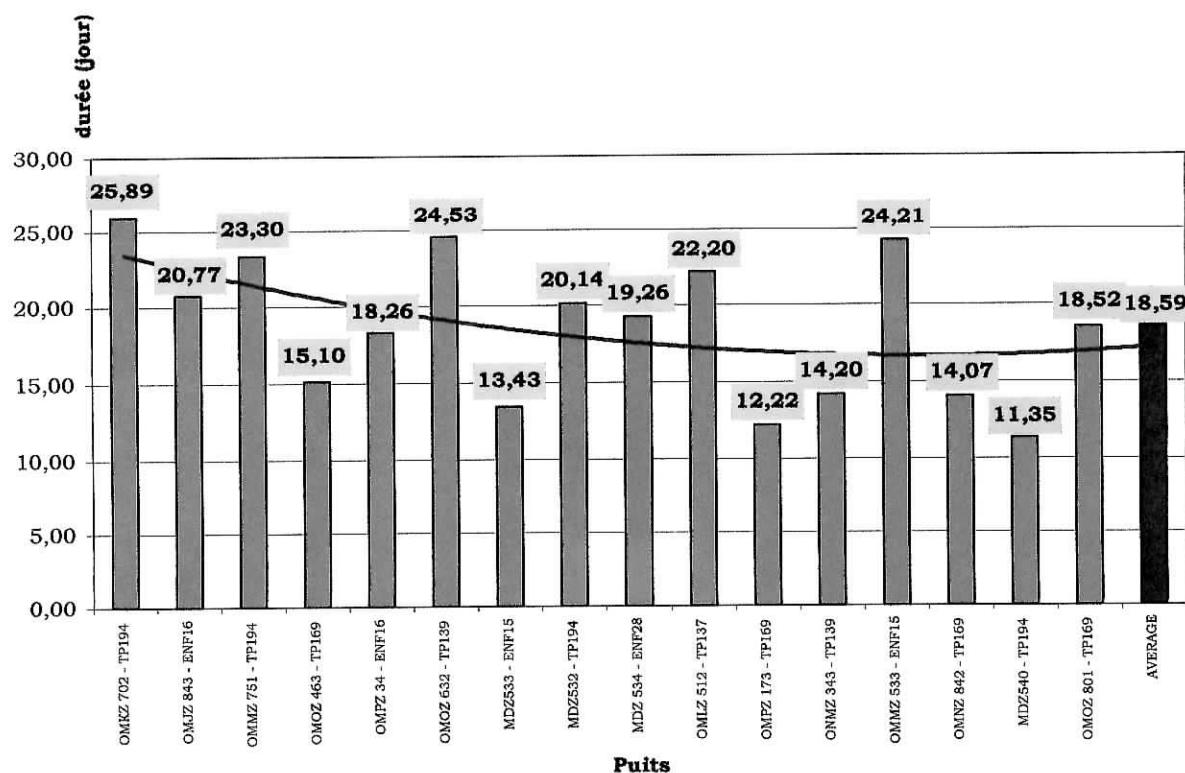


Fig22 : Durée totale des manœuvres pour plusieurs puits.

III. Analyse économique:

1) Introduction : [2]

Dans la terminologie consacrée, un projet est défini comme étant un ensemble d'actions à réaliser, pour satisfaire un objectif défini, dans le cadre d'une mission précise, dans lequel on identifie un début et une fin .

Un projet est caractérisé par un certain nombre d'actes fondamentaux , dont les conséquences vont dicter la conduite à tenir pour sa gestion :

- un projet répond à une demande, à un besoin exprimé.
- un projet a un début, l'expression du besoin, et une fin.
- le projet est une activité identifiée, et de ce fait le résultat doit être jugé non pas sur une période conventionnelle (hebdomadaire, trimestrielle ,....), mais globalement entre son début et sa fin . Ce jugement doit porter sur la satisfaction globale de trois objectifs : coûts, délais et qualité .

Le fait qu'un projet ait un début et une fin, qu'il est initié puis géré introduit deux intervenants :

- Le maître d'ouvrage (en l'occurrence Sonatrach dans le cas qui nous préoccupe), est celui qui, définit le cahier de charge et s'assure que la réalisation y est bien conforme .C'est aussi lui qui s'assure de la disponibilité des fonds nécessaires à la réalisation de l'ouvrage.
- Le maître d'œuvre (ENAFOR,ENTP,ENSP,SCHLUMBERGER) , est celui qui va se charger des actions définies, à réaliser. Le maître d'œuvre est en générale différent du maître d'ouvrage , qui n' a d'ailleurs pas toujours la compétence ou la disponibilité .

Pour notre mémoire de fin d'étude , SONATRACH est le maître d'ouvrage , laquelle a définie un cahier de charges au maître d'œuvre (ENTP, ENAFOR..) pour la réalisation d'un forage. Nous ferons, sur certaines opérations que doit réaliser le maître d'œuvre, un travail de consulting pour le compte du maître d'ouvrage , notamment sur les connexions et interphases que nous chercherons à optimiser . En effet , sachant qu'une minute de forage sur le champs de Hassi Messaoud revient à 1000 DA, un gain de temps entraîne automatiquement une réduction des coûts .

2) Optimisation des connexions :

Méthodes et outils : [2], [4]

Ayant défini un projet et ses traits fondamentaux, notre but est d'en maîtriser la réalisation sur le plan de la gestion des délais et par conséquent du contrôle des coûts, comme il est dit supra.

Avant de développer plus avant notre travail, pour être clair, donnons quelques définitions :

- Une méthode est un processus logique permettant d'atteindre un but, celui de savoir à l'avance, avec une bonne précision, dans quelle direction s'oriente le projet.
- Un outil est un moyen de suivre l' application de ce processus, sous forme de graphique, tableau, diagramme. C'est cet outil qui est la partie visible de la méthode .

Il reste bien entendu que la maîtrise d'un outil, aussi puissant soit-il, ne sert à rien sans une connaissance parfaite de la méthode, d'où la nécessité d'une méthode d'analyse.

Le but d'une partie de notre projet est de trouver un ordonnancement d'opérations cohérent en vue d'optimiser les temps de connexion, le diagramme PERT (la théorie

des graphes) et le diagramme de Gantt, conviennent parfaitement à la réalisation de l'objectif assigné.

La multiplicité des sources d'information et des quantités de données, est d'autant plus grande que le projet est important. Il est donc clair, qu'il faut disposer d'une puissance de calcul et de moyens informatiques capables de les traiter.

Nous distinguerons les catégories d'outils informatiques suivantes :

- **Les tableurs** : Ils offrent une grande souplesse d'utilisation quant à la présentation des documents et une facilité de traitement de l'information pour la partie calcul, l'exemple le plus connu et le plus utilisé est un membre de la famille Ms Office, Microsoft EXCEL.
-
- **Les bases de données relationnelles** : Ce sont des outils permettant de mettre en liaison différentes informations stockées dans des fichiers à l'intérieur du système. Ils sont développés pour communiquer avec d'autres outils, et sont adaptables aux besoins de l'utilisateur. Nous citerons un autre membre de la famille Office, c'est Microsoft ACCESS.
-
- **Les outils de gestion de projet** : Ils servent en premier lieu au planificateur, qui, grâce à eux, apporte des informations sur les délais au chef de projet. Notre souci étant la relation « calcul – gain de temps » cette catégorie d'outil est la mieux adaptée à nos besoins, et c'est tout naturellement que notre choix s'est porté sur un autre membre, moins connu celui là, de la famille Ms Office, en l'occurrence Microsoft Projet. C'est un outil qui utilise le diagramme PERT (la théorie des graphes) et le diagramme de Gantt. C'est un outil très intéressant, malheureusement méconnu et sous-utilisé à l'heure actuelle, il nous a semblé complet à beaucoup de points de vue.

3) Présentation de Microsoft Project : [2], [4], [10]

Microsoft Project constitue un outil informatique de gestion de projets à la fois puissant et souple, il permet de contrôler des projets simples ou présentant une certaine complexité. Grâce à lui, nous aurons la possibilité de planifier et d'effectuer le suivi de l'ensemble des tâches (nous définirons plus loin ce qu'est une tâche), de manière à en maîtriser l'avancement.

Le Win Project utilise les méthodes suivantes :

3-1) La méthode PERT :

PERT signifie Program and Evaluation Review Technic, « Technique d'élaboration et de contrôle des projets ».

L'utilisation du PERT a permis de ramener la durée globale de réalisation du projet SOLARIS (programme de fusées spatiales américain) de 7 à 4 ans .

Les disciplines PERT utilisent une terminologie assez précise qui leur est particulière.

En langage PERT, on parle de tâches, de contraintes, de réseaux ou de graphes, de marges ou de latitudes ; il est donc évident, pour la bonne compréhension, de définir ces notions, certes simples, mais basiques.

Tâches :

Nous appelons tâche l'opération unitaire devant satisfaire les deux critères suivant

- être parfaitement défini en constitution ainsi qu'en durée
- N'ayant aucun autre élément en commun avec une autre tâche.

Une tâche est donc une action qu'il convient d'accomplir dans des conditions fixées, pour obtenir un résultat attendu, d'ampleur généralement limitée. Elle nécessite à cet effet l'allocation de ressources humaines, financières et matérielles, ainsi qu'une durée.

Elle ne doit être gérée que par une seule personne, le chef de projet, par contre il peut exister plusieurs planificateurs.

Contrainte :

Est appelée contrainte, la relation entre 2 tâches. Elle peut être de plusieurs natures :

- contrainte financière ;
- contrainte matérielle ;
- contrainte humaine ;
- contrainte technique ;

Au stade de l'élaboration du planning, toutes ces contraintes s'expriment le plus généralement sous forme de contrainte temporelle du type : pour réaliser la tâche B, il faut que la tâche A soit terminée, en d'autres termes tâche B suit la tâche A.

Marge ou latitude :

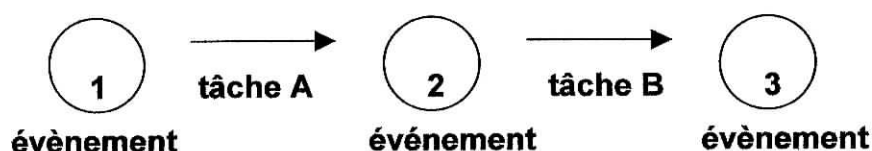
C'est une notion très utilisée dans Ms Project, elle fait apparaître sur un graphe, une tâche avec un délai d'exécution, et donc une marge de décision dans le début de cette dernière.

Représentation graphique possible :

C'est tout simplement une représentation graphique des ensembles de liens Tâches/Contraintes .

Le graphe PERT est un schéma maillé, avec des côtés appelés arcs, et des nœuds dit sommets. Comme nous venons de le voir, un graphe PERT doit présenter deux éléments, les tâches et les contraintes, il existe donc, deux façons de voir les choses :

- **Arcs tâches** : dans ce graphe l'évènement qui doit arriver est représenté par un nœud et la tâche par un arc d'où le nom de arcs tâches.



- **Potentiel tâche** : Ici par contre, le nœud représente la tâche et l'arc, l'événement



Bien que les deux graphes soient de formes différentes, ils expriment la même chose.

Historiquement, le type arcs tâches a été le premier utilisé par les Américains, notamment dans les programmes spatiaux. Il est aussi facilement assimilable par les opérateurs habitués, mais il présente un danger, celui de représenter des longueurs d'arcs proportionnelles à la durée de la tâche, ce qui le rendrait complètement incompréhensible.

Au contraire, le système potentiel tâche, prévient ce risque, il ne viendrait à l'idée de personne de dessiner des pavés proportionnels à la durée de la tâche. De plus c'est sous cette forme que l'établissement du chemin critique est la plus simple sur le plan du calcul et de la notation d'information sur le graphe, d'où sa commodité.

PERT Probabilisé: [11]

La détermination des durées des différentes opérations composant un projet peut s'effectuer de plusieurs manières :

- Par chronométrage ;
- Par expérience des temps passés ;
- Par simulation ...

On s'aperçoit que bien souvent la courbe des temps correspondant à une tâche particulière a la forme suivante :

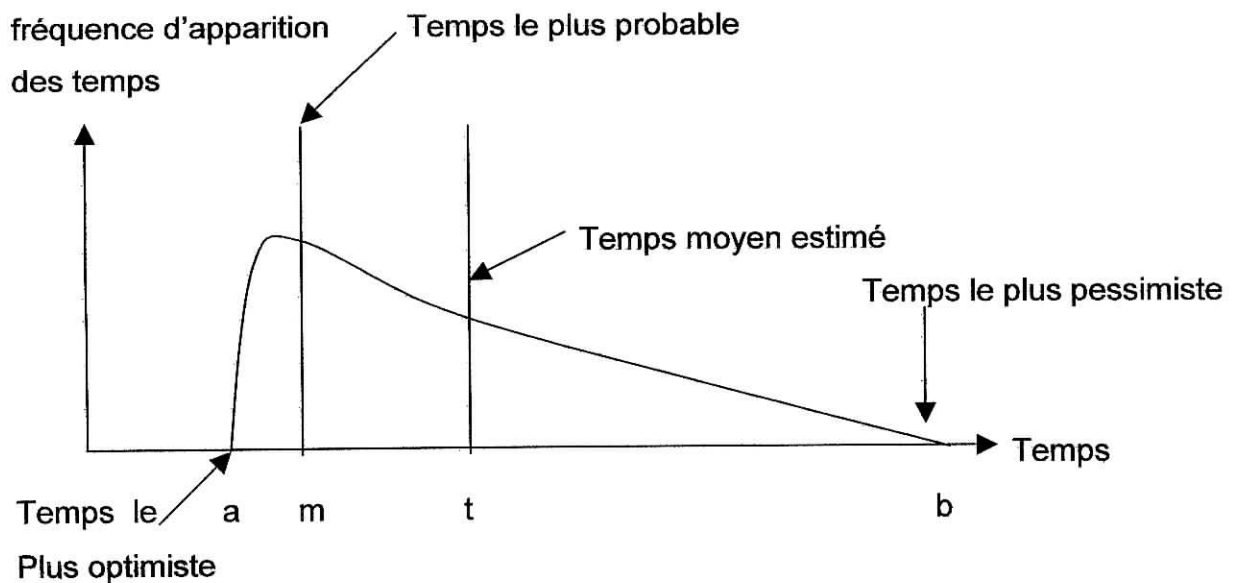


Fig23 : Graphe des temps en fonction de leur apparition.

Ce qui correspond à une distribution de probabilité du type β .

Pour la durée de chaque tâche, on peut ainsi définir :

- le temps le plus optimiste = a
- le temps le plus probable = m
- le temps le plus pessimiste = b

Ce qui nous permet de calculer , dans le cas de cette loi , un temps moyen estimé de chaque tâche :

$$T = (a + 4 m + b) / 6$$

Pour établir le graphe PERT et le diagramme de Gantt, on utilisera le temps moyen estimé de chaque tâche à l'aide de cette loi.

3-2) La méthode Gantt:

Historique :

Le diagramme de Gantt introduit au début du siècle dans la gestion des ateliers par H.Gantt, qui fut un temps, le collaborateur de F.W.Taylor , est un outil plus ancien que le PERT , mais connaît un plus vif succès en raison de sa facilité d'utilisation .

Le Gantt, une méthode pour suivre le déroulement des tâches :

Au début du projet on introduit les estimations sur le diagramme de Gantt, à un instant donné on effectue la mise à jour. Le responsable des délais regarde ou en est le déroulement de la tâche .

Il constate que

- Elle s'est achevée dans les temps impartis : tant mieux ;
- Elle a pris du retard mais est terminée ; il n'y a plus qu'à constater l'écart du réalisé par rapport au prévisionnel ;
- Elle a pris du retard et n'est pas terminée. Il le signale au chef de projet qui tente de combler le retard en prenant des mesures correctives, en accord avec les responsables de la tâche et le décideur de l'allocation des ressources. Il réajuste en conséquence .

La période de mise à jour a une importance cruciale. Plus elle est fine, plus le responsable des délais dispose d'une meilleure visibilité et par là même d'une meilleure maîtrise des délais. Mais il doit effectuer la révision du Gantt plus souvent . plus la période de mise à jour est étendue moins la visibilité est grande. La période peut être fixe ou non, dans la pratique elle est déterminée par la durée moyenne des tâches et du projet. Si les tâches ont des durées faibles, pour pouvoir maîtriser les

délais il faut effectuer des mises à jour plus souvent. On retrouve ici également l'importance du découpage en tâches .

Le Gantt est un outil simple de planification qui peut être couplé avec les budgets, les fiches de responsabilité et servir ainsi de base à un contrôle des coûts. Pour cette raison il connaît un franc succès , qu'il soit réalisé manuellement comme c'est encore le cas dans certains projets de travaux publics, sur un simple tableur, ou à l'aide d'un logiciel de gestion de projet .

Construire un Gantt à l'aide d'un logiciel:

Le logiciel utilisé dans notre projet est le MS Project qui sert à réaliser les diagrammes de Gantt, un système informatique de management de projets et un véritable système de gestion de base de données dont l'autonomie et la simplicité au niveau opérationnel, l'existence d'un module de communication pour un travail en réseau, la compatibilité avec le système d'information existant, l'homogénéité des logiciels au sein d'une même société, semblent être des critères de choix importants.

On entre toutes les activités du projet sans se préoccuper de leur nature , on représente le phasage et les tâches élémentaires à l'aide de tabulations permettant des retraits. On entre les durées des tâches. Les jalons, par convention ont une durée nulle. On indique pour chaque tâche ses prédécesseurs et ses successeurs. Le diagramme ne visualise pas les liens entre les tâches mais le logiciel les enregistre. On indique les dates de début et de fin en partant soit au début du projet (raisonnement au plus tôt), soit à partir de la fin (raisonnement au plus tard). Selon les raisonnements, une tâche a sa date de début imposée par la fin de ses prédécesseurs ou sa date de fin imposée par ses successeurs .

Si l'on impose à la fois la date du début de projet et la date de fin, le logiciel pointe les impossibilités pour certaines tâches d'être accomplies en respectant la durée imposée au projet, il faut donc soit revoir la durée du projet, soit revoir la durée des tâches.

Les durées des tâches récapitulatives (étapes et phases) sont déduites automatiquement des tâches élémentaires. On peut modifier l'échelle et les périodes de temps du calendrier pour les adapter à la durée du projet et des tâches.

Un Gantt informatisé remédie aux trois inconvénients majeurs d'un Gantt réalisé à manuellement ou sur un tableur :

- Un Gantt n'a pas vocation à visualiser les liens entre les tâches, par conséquent on ne peut en théorie mesurer les conséquences du retard d'une tâche sur les autres tâches. Il faut rectifier à la main les durées pour toutes les tâches dépendantes de la tâche retardée. Le logiciel, en faisant préciser à l'utilisateur les liens d'antériorité entre les tâches, effectue une correction automatique.
- Si l'on veut faire des simulations, en modifiant les durées des tâches, il faut construire autant de Gantt que des simulations souhaitées. Le logiciel permet une simulation rapide.
- Le Gantt ne montre pas le caractère d'urgence d'une tâche par rapport à une autre. Dans un projet, certaines tâches, si elles prennent du retard, risquent d'entraîner du retard sur le projet. On appelle ces tâches des tâches critiques, il faut donc les suivre de près. Le Gantt ne distingue pas, en théorie, les tâches critiques des autres. Il les place sur un même plan, la plupart des logiciels de gestion de projet proposent, sur le diagramme de Gantt, un repérage des tâches critiques et non critiques grâce à un grisé différent.

Nous allons mettre en application ce que nous venons de voir, en utilisant la méthode Gantt qui repose sur les mesures de temps, faites sur différents chantier équipés des mêmes outils, pour pouvoir comparer les temps effectués par différentes équipes de foreurs .

Nous avons donc décidé de décortiquer chaque type d'opération en tâches élémentaires (voir page 23), et de reconstituer ensuite leur agencement avec MS Project. La reconstitution des tâches nous permettrait d'optimiser la durée totale des connexions par suppression des pertes de temps dues à une mauvaise organisation. La finalité de notre travail, est de proposer une procédure pour chaque genre de connexion dont l'application concrétiserait sur le terrain les résultats obtenus par le logiciel utilisé.

Ces résultats seront comparés aux temps moyens afin de quantifier le gain de temps, ces temps seront calculés par moyenne arithmétique. Nous n'utiliserons pas le PERT probabilisé car nous ne pouvons pas démontrer que les valeurs chronométrées suivent une loi du type β . En effet, nous avons à faire à des valeurs continues et le nombre d'échantillons n'est pas suffisant.

- Moyenne connexion forage : 14min18 ;
- Moyenne manœuvre montage : 4min36 ;
- Moyenne manœuvre démontage : 4min48 ;

Operations	Timing								
lever garniture	30 s	35s	32s	30s	39s	33s	41s	36s	34s
caller garniture	40 s	46s	41s	47s	46s	42s	48s	41s	45s
montée accrocheur	1min	1min10	1min13	1min	1min21	1min09	1min17	1min11	1min15
dévisser top drive	40 s	40s	43s	47s	44s	45s	41s	47s	46s
Graissage filetage mâle Top Drive	3s	5s	4s	3s	4s	3s	3s	3s	3s
enlever crépine 1	2 s	2 s	3s	3s	4s	2 s	2 s	3s	3s
Accrocher crépine 2 au collier	2 s	2 s	3s	3s	2 s	2 s	3s	3s	2s
nettoyer crépine 1	2 s	2 s	2 s	2 s	2 s	2 s	2 s	2 s	2 s
accrocher la crépine à la Top Drive	2 s	2 s	2 s	3s	2 s	2 s	2 s	2 s	3s
monter la Top Drive	35 s	41s	38s	40s	41s	39s	36s	44s	41s
sortir la tige	1min 30	1min36	1min31	1min34	1min39	1min34	1min41	1min33	1min31
Mettre la tige dans la Top Drive	10 s	14s	17s	12s	10 s	16s	10 s	18s	18s
graissage filetage femelle tige calée	2 s	2 s	2 s	3s	4s	3s	3s	2 s	2 s
dégager la tige et la mettre dans mouse hole	15 s	19s	16s	14s	15s	18s	21s	15s	17s
Mettre la crépine 2	5 s	8s	5s	5s	8s	7s	9s	7s	7s
remonter tige	5 s	8s	7s	9s	7s	7s	8s	6s	5s
Mettre la tige et visser avec la Top Drive	1min 30	1min34	1min38	1min33	1min36	1min42	1min36	1min33	1min37
lever la garniture	2 s	2 s	2 s	3s	2 s	3s	2 s	2 s	2 s
Retirer la cale	3 s	5s	4s	3s	4s	3s	4s	5s	3s
descendre la garniture	35 s	39s	38s	40s	41s	41s	36s	48s	41s
Remplissage colonne	2 min	2min08	2 min	2min11	2 min	2min07	2min16	2min12	2min08

Tableau 1(a): description des étapes et durées de la connexion forage

Opérations	Timing						
lever garniture	33s	33s	36s	35s	38s	34s	31s
caler garniture	42s	40s	40s	43s	47s	44s	45s
montée accrocheur	1min20	1min16	1min19	1min26	1min04	1min12	1min18
devisser top drive	42s	48s	41s	40 s	42s	47 s	44s
Graissage filtage mâle tds	5s	5s	4s	3s	3s	4s	4s
enlever crepine	2 s	2 s	2 s	2 s	3s	2 s	2 s
nettoyer crepine	2 s	2 s	2 s	2 s	2 s	2 s	2 s
accrocher la crepine à la top	2 s	2 s	2 s	3s	2 s	3s	2 s
monter la top	42s	41s	44s	48s	45s	43s	46s
sortir la tige	1min38	1min30	1min33	1min38	1min34	1min37	1min39
mettre la tige ds la top	13s	11s	10 s	18s	15s	14s	16s
graissage filtage femelle tige calée	3s	3s	3s	2 s	4s	2 s	3s
dégager la tige et la mettre dans mouse hole	14s	15s	18s	21s	16s	19s	18s
mettre la crepine	8s	6s	5s	5s	6s	9s	7s
remonter tige	6s	9s	7s	6s	8s	8s	9s
mettre la tige et visser avec la top	1min31	1min35	1min30	1min38	1min30	1min35	1min40
lever la garniture	2 s	2 s	2 s	3s	3s	4s	2 s
retirer la cale	5s	5s	4s	3s	3s	3s	3s
descendre la garniture	42s	41s	44s	37s	45s	43s	46s
remplissage colonne	2 min	2min07	2min14	2 min	2min11	2min04	2min15

Tableau 1(b): description des étapes et durées de la connexion forage (suite)

Opérations	Timing									
	1min40	1min50	1min45	1min55	1min38	1min42	1min48	1min41	1min43	1min48
descente garniture	6 s	8 s	7 s	8 s	9s	8 s	7 s	9 s	8 s	8 s
calage garniture	35s	34s	38s	42s	36s	36s	35s	34s	34s	38s
monter élévateur	1min30	1min34	1min36	1min31	1min37	1min30	1min36	1min36	1min31	1min37
préparation tige	10s	10s	11s	13s	9s	10s	12s	10s	12s	12s
mettre la tige dans l'élévateur	2s	2s	2s	3s	2s	2s	3s	3s	2s	2s
graissage filetage de la tige calée	15 s	14 s	15 s	21s	17s	23s	14 s	16s	24s	19s
vissage tige avec clé Hydraulique	25 s	24 s	16 s	17 s	15s	20s	17s	19s	17s	17s
serrage tige avec clé Manuelle	2s	3s	2s	3s	3s	2s	3s	3s	2s	2s
lever garniture	3s	4s	2s	3s	3s	3s	2s	2s	3s	3s
retrait de la cale										

Opérations	Timing									
	1min46	1min42	1min39	1min50	1min47	1min40	1min55	1min51	1min56	1min49
descente garniture	9 s	7 s	9 s	8 s	8 s	8 s	7 s	6 s	9 s	11 s
calage garniture	38s	40s	41s	37s	37s	34s	39s	41s	39s	36s
monter élévateur	1min36	1min31	1min37	1min34	1min30	1min30	1min31	1min34	1min30	1min35
préparation tige	9s	13s	13s	11s	12s	10s	9s	12s	9s	11s
mettre la tige dans l'élévateur	3s	2s	2s	3s	2s	3s	2s	3s	3s	2s
graissage filetage de la tige calée	15s	16s	22s	20s	14s	15s	19s	25s	15s	17s
vissage tige avec clé Hydraulique	15s	21s	20s	24s	22s	22s	18s	18s	19s	23s
serrage tige avec clé Manuelle	3s	2s	2s	3s	2s	3s	2s	3s	3s	2s
lever garniture	3s	2s	3s	3s	2s	3s	3s	2s	3s	2s
retrait de la cale										

Tableau 2 : Description des étapes et durées de la manœuvre-montage

Opérations	Timing									
	1min46	1min42	1min39	1min50	1min47	1min40	1min55	1min51	1min56	1min49
monter garniture	6 s	8 s	7 s	8 s	9s	8 s	7 s	9 s	8 s	8 s
calage garniture	25 s	24 s	16 s	17 s	15s	20s	17s	19s	17s	17s
dévissage tige avec clé Manuelle	15 s	14 s	15 s	21s	17s	23s	14 s	16s	24s	19s
dévissage tige avec clé Hydraulique	2 s	3 s	2 s	10s	4s	3s	4s	2s	3s	3s
dégager la tige de l'élévateur	40 s	30 s	33 s	1 min	40s	38s	40s	41s	37s	37s
Rangement tige	15 s	19 s	25 s	26 s	27s	15s	20s	17s	19s	17s
descente élévateur	20 s	14 s	14 s	18 s	18s	15 s	19s	16s	14s	15s
placer tige dans le plancher										

Opérations	Timing									
	1min40	1min50	1min45	1min55	1min38	1min42	1min48	1min41	1min43	1min48
monter garniture	9 s	7 s	9 s	8 s	8 s	8 s	7 s	6 s	9 s	11 s
calage garniture	15s	21s	20s	24s	22s	22s	18s	18s	19s	23s
dévissage tige avec clé Manuelle	15s	14s	14s	15s	14s	15s	14s	15s	15s	15s
dévissage tige avec clé Hydraulique	3s	2s	2s	3s	3s	4s	2s	2s	3s	2s
dégager la tige de l'élévateur	34s	39s	41s	39s	36s	38s	36s	39s	41s	36s
Rangement tige	17s	24s	22s	22s	20s	21s	21s	23s	19s	16s
descente élévateur	18s	21s	15s	17s	15s	18s	21s	16s	19s	18s
placer tige dans le plancher										

Tableau 3 : Description des étapes et durées de la manœuvre-démontage

5) Calcul du nombre des connexions et des manœuvres par phase:

Puits	Phase 26"	Phase 16"	Phase 12 1/4" Vertical	Phase 12 1/4" BU	Phase 8 3/8"	Phase 6"
OMMZ 751	1	2	1	2	3	11
OMOZ 463	1	1	2	2	3	8
OMPZ 34	1	2	1	2	7	7
OMOZ 632	1	3	1	4	3	12
MDZ533	1	1	2	1	2	4
MDZ532	2	1	1	3	3	9
MDZ 534	1	2	4	1	3	10
OMLZ 512	1	1	1	1	2	12
OMPZ 173	1	2	1	2	2	5
ONMZ 343	1	1	1	2	4	10
OMMZ 533	1	1	1	4	3	14
OMNZ 842	1	1	1	2	1	9
MDZ540	1	2	1	4	4	6
OMOZ 801	1	1	1	2	3	9
Moyenne	1	2	1	2	3	9

Tableau 4: Nombre de manœuvres par puits

Phase	L(m)	BHA (m)	Diff (m)	C. forage	C. BHA	C. Tiges de forage	C. Manœuvre
Phase 26''	500	232,17	267,83	9	24	9	33
Phase 16''	2300	250,84	2049,16	67	24	75	99
12 ¼''(Vertical)	3000	254,29	2745,71	26	25	101	126
12 ¼'' (Dirigé)	3300	392,81	2907,19	11	40	107	147
Phase 8 3/8''	3380	557,02	2822,98	3	58	113	171
Phase 6''	4500	1887	2613	41	118	96	214

Tableau 5: Nombre de connexions par Phase

Tableau 5 :

L : longueur forée en mètres (m).

BHA : longueur de BHA * en mètres (m).

Diff : différence entre la longueur forée et la longueur du BHA, en mètres,
Diff = L – BHA (m).

C. forage : nombre de connexions pendant le forage, C. forage = Diff / 27 (une longueur = 27m).

C. BHA : nombre de connexions du BHA .

C. tiges de forage : nombre de connexions des tiges de forage pendant la manœuvre.

C. Manœuvre : nombre de connexions dans la manœuvre du jour jusqu'à la profondeur finale de chaque phase .

C. Manœuvre = C. BHA + C. tiges de forage .

(*) BHA = Bottom hole assembly : partie inférieure de la garniture contenant les masses tiges, les stabilisateurs, la coulisse, l'amortisseur et l'outil.

6) Calcul des moyennes de temps :

Le calcul des moyennes des temps de réalisation de chaque tâche est fait par moyenne arithmétique .

Opérations	Moyenne (sec)
Lever garniture	34,5
Caler garniture	43,6
Montée accrocheur	72,8
Dévisser top drive	43,8
Graissage filetage mâle top drive	3,7
Enlever crépine	2,44
Nettoyer crépine	2
Accrocher la crépine à la top drive	2,3
Monter la top drive	41,4
Sortir la tige	94,9
Mettre la tige dans la top drive	13,8
Graissage filetage femelle tige calée	2,6
Dégager la tige et la mettre dans mouse hole	17
Mettre la crépine	6,9
Remonter tige	7,2
Mettre la tige et visser avec la top drive	94,7
Lever la garniture	2,4
Retirer la cale	3,8
Descendre la garniture	40,8
Remplissage colonne	127,2

Tableau 6: Moyenne des temps de la connexion forage

Opérations	Moyenne (sec)
descente garniture	106,3
calage garniture	8
monter élévateur	37,25
préparation tige	93,3
mettre la tige dans l'élévateur	10,9
graissage filetage de la tige calée	2,4
vissage tige avec clé Hydraulique	17
serrage tige avec clé Manuelle	19,45
lever garniture	2,5
retrait de la cale	2,7

Tableau7: Moyenne des temps de la connexion manœuvre montage

Opérations	Moyenne (sec)
monter garniture	106,25
calage garniture	8
dévissage tige avec clé Manuelle	19,45
dévissage tige avec clé Hydraulique	17
degager la tige de l'élévateur	3,1
rangement tige	38,75
descente élévateur	20,25
placer tige dans le plancher	17

Tableau 8: Moyenne des temps de la connexion manœuvre démontage

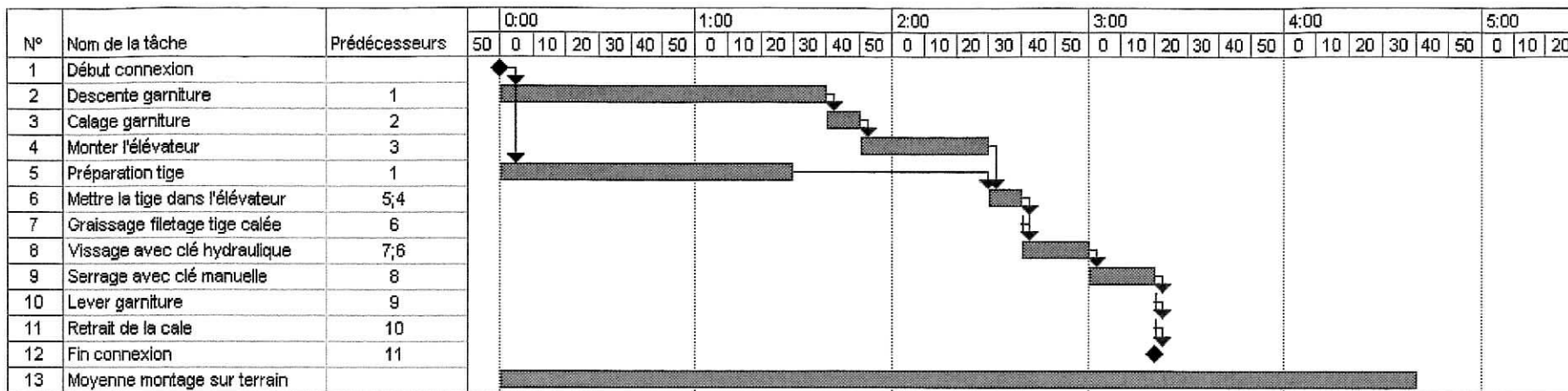


Fig24 : Diagramme de Gantt « manœuvre montage ».

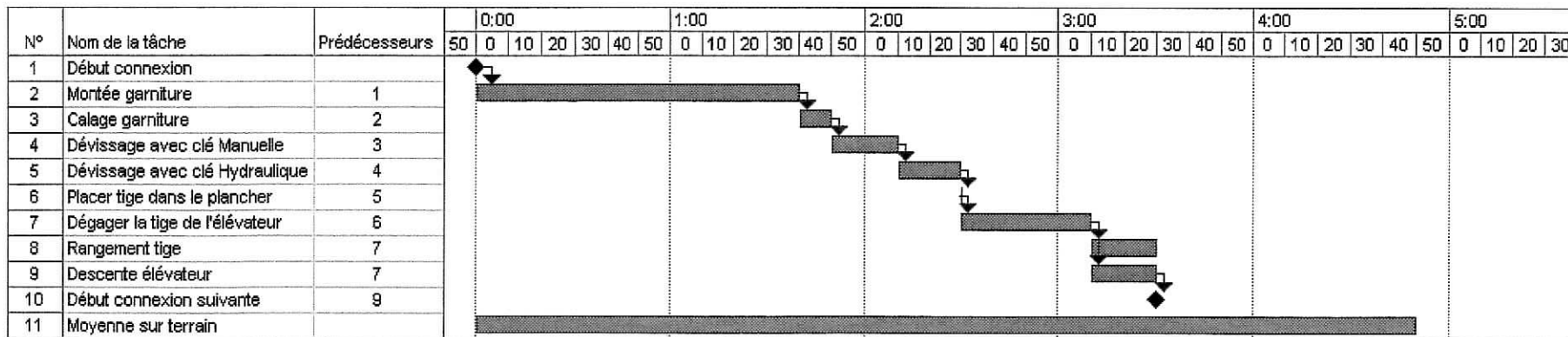


Fig25 : Diagramme de Gantt « manœuvre démontage ».

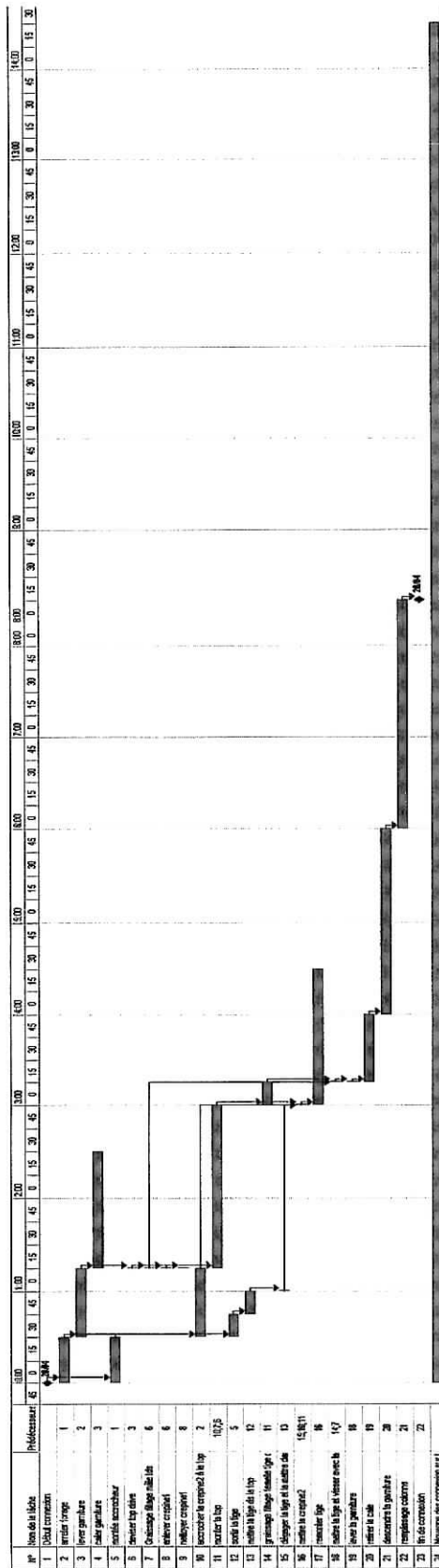


Fig.35 - Diagramme de GANTT " Concession forage"

Pour concrétiser sur le terrain les résultats obtenus grâce à Microsoft Project , nous proposons une procédure pour chaque type de connexion (forage , manœuvre montage et démontage). Cette procédure utilise toujours la même ressource humaine, c'est à dire, trois opérateurs, un chef de poste et un accrocheur (l'accrocheur est la personne chargée de monter au balcon et de préparer la tige par son point supérieur). Pour faciliter la compréhension nous nommerons les trois opérateurs par op1, op2 et op3.

7) Procédure de connexion forage :

Etape	Raison de la perte de temps	solution
Caler la garniture	<ul style="list-style-type: none"> - Attente entre l'arrêt du forage et la pose de la cale; - Coincement de la cale dans la table de rotation 	Avant l'arrêt du forage op1 graisse la partie externe de la cale puis op2 l'aide à la déplacer à proximité du trou.
Montée accrocheur	Tige pas encore prête	L'accrocheur monte au balcon deux minute avant la fin du forage et débute la préparation de la tige. L'ordre doit lui être donné par le chef de poste
Graissage du filetage de la top drive	Le pinceau de graisse n'est pas prêt .	Dés que le chef de poste commence le dévissage de la top drive op1 doit préparer le pinceau de graisse et l'appliquer à la machine dès la libération du filetage.
Enlever , nettoyer et accrocher la crépine	Attente pendant les trois opérations	<p>Nous préconisons l'utilisation de deux crépines (déjà fait sur quelques chantiers) et un collier d'accrochage adapté à celle-ci prévu sur la machine. Pendant que op1 graisse la machine, op2 accroche le crépine2 au collier et fait signe au chef de poste de monter la top drive.</p> <p>Pendant la montée op3 extrait la crépine1 de la tige calée et la nettoie.</p>

Etape	Raison de la perte de temps	solution
Mettre la tige dans la top drive Récupération de la crépine2	Attente	Ce problème est réglé par l'étape « montée de l'accrocheur ». Et la crépine est plus facile à décrocher grâce à son collier.
Graissage filetage tige calée	Arrêt	Pendant la montée de la machine, op2 prépare le pinceau et graisse la tige qui est calée au plancher.
Dégager la tige et la mettre dans le mouse hole. Mettre la crépine. Remontée de la nouvelle tige.	Arrêt	Op1 et op3 doivent être déjà à côté de la tige à soulever. Et guident la tige pendant son levage, descente et mise sur la tige calée. Les trois mouvements doivent être continus et ne subir aucun arrêt. L'accrocheur doit être prêt à mettre la crépine2 dans la nouvelle tige dès que celle-ci est accessible (au plus bas) .
Eviter le tuyaux boue	Le tuyaux boue gêne le mouvement de la tige à cause d'un capteur posé par l'entreprise de déviation (il décale le tuyaux)	Utiliser le seconde sortie pour mettre le capteur et le tuyau boue. Dans les chantiers visités cette seconde sortie est cassée, il faut donc exiger qu'elle soit opérationnelle lors de la réception de l'appareil de forage.
Mette la nouvelle tige sur la tige calée et visser avec la top drive.	Coincement.	Problème résolu grâce au graissage préalable.
Lever garniture	Sortie du carré d'entraînement De la table de rotation à cause du coincement de la tige dans la cale (normal) et de la cale dans le carré .	Ce problème est réglé Par le graissage de la cale.

8) Procédure de manœuvre montage :

Étape	Raison de la perte de temps	solution
Descente garniture	Descente lente. Descente trop rapide , ce qui crée une surpression sur la boue de forage qui peut craquer les couches et provoquer une perte de boue. La perte en boue de forage engendre un arrêt prolongé	Il faut appliquer à la lettre les paramètres de vitesse de descente.
Calage de la garniture	Attente et coincement.	Op1 et op2 pose la cale à coté du trou à chaque retrait. Op3 la graisse chaque 5 connexions
Montée de l'élévateur	Monter lente	Aucun risque pour une montée à pleine vitesse
Préparation et mise de la nouvelle tige dans la top drive.	Attente	L'efficacité de l'accrocheur est indispensable. Il doit faire en sorte que la nouvelle tige soit prête avant chaque arrivée de la top drive.
Graissage et filetage de la tige calée	Attente	Op3 graisse la tige calée pendant la montée de la top drive.
Vissage nouvelle tige avec clé hydraulique	Durée trop importante	(Les clés très lourdes sont accrochées à l'appareil par un câble et restent suspendus en l'air. Elle peuvent être montées et descendues par un système de contre poids. Une manipulation aisée passe donc par un contre poids adéquat et une bonne lubrification du la poulie.) Op2 ramène la clé à proximité de la tige prête à être utilisée par op1 Dés la fin du vissage op1 écarte lui même la clé.

Etape	Raison de la perte de temps	solution
Serrage avec les clé manuelle	Durée trop importante	Pendant que op1 visse la tige, op2 approche une des clés manuelles prête à l'emploi dès la fin du vissage. Op3 place la seconde clé à la tige calée A la fin du vissage op1,2 et 3 accroche les clés aux tige et donne le signe au chef de poste d'actionner le treuil. A la fin du serrage op2 écarte les deux clés.
Levage garniture Retrait cale	Sortie du carré d'entraînement De la table de rotation à cause du coincement de la tige dans la cale (normal) et de la cale dans le carré .	Ce problème est régler par le graissage de la cale.

9) Procédure de manœuvre démontage :

Etape	Raison de la perte de temps	solution
Montée garniture	Trop lente , donc perte de temps. Trop rapide : peut provoquer des dégâts sur la garniture en cas de coincement des stabilos ; ce qui provoque un arrêt total du forage de plusieurs jours, pour réparation et instrumentation éventuelle.	Appliquer les paramètres de vitesse de remontée suivants : - 400 m/h en open hole (partie du puits non tubée) ; - 600 m/h en closed hole (partie tubée)
Desserrage avec les clés manuelles	Mauvaise organisation	Op2 et 3 rapprochent les clés pendant la montée de garniture. Dès la fin de la montée les trois op accroche les clés et op1 fait signe au chef de poste pour activer le treuil.

Etape	Raison de la perte de temps	solution
Dévisser avec clé hydraulique	Mauvaise organisation	Dés que le chef de poste commence le desserrage, op1 rapproche la clé hydraulique, et l'utilise dés que les op2 a écarté la clé manuelle qui se trouve du même coté que la clé hydraulique.op3 écarte l'autre clé
Rangement de la tige	Mauvaise organisation	Op2 et 3 pousse la tige vers le rack dés la fin du dévissage par op1.Ils doivent donc se tenir prêt à coté de la tige.
Dégager la tige de l'élévateur	Accrocheur	Ceci repose la question de l'efficacité de l'accrocheur. Il faut vraiment choisir la bonne personne à ce poste.
Descente de l'élévateur	Manque de coordination entre le chef de poste et l'accrocheur	Le chef de poste doit surveiller l'accrocheur et descendre l'élévateur dés que ce dernier a pris la tige
Placer la partie supérieur de la tige dans le rack sur le balcon d'accrochage.	Lenteur de l'accrocheur	L'accrocheur doit avoir fini de ranger la tige avant l'arrivée de la tige suivante.

Le Diagramme de Gantt, pour les différentes connexions, prouve que l'application de la procédure sur le terrain permet de réaliser les temps suivants :

- connexion forage : faisable en 8min12 ;
- connexion manœuvre montage : faisable en 3min28.
- connexion manœuvre démontage : faisable en 3min30.

Le gain de temps sera alors :

ΔT_c = différence (temps connexion sur chantier – temps connexion résultat de MS Project).

ΔT_m = différence (temps montage sur chantier – temps montage résultat de MS Project).

ΔT_d = différence (temps démontage sur chantier – temps démontage résultat de MS Project).

$$\Delta T_c = 14\text{min}18 - 8\text{min}12 = 6\text{min}06, \text{ Pour une connexion forage .}$$

$$\Delta T_m = 4\text{min}36 - 3\text{min}28 = 1\text{min}08, \text{ Pour une connexion manœuvre montage.}$$

$$\Delta T_d = 4\text{min}48 - 3\text{min}30 = 1\text{min}18, \text{ Pour une connexion manœuvre démontage.}$$

10) Calcul du nombre de connexion :

Phase	C. Forage	C. Manœuvre	Nbre Manœuvres	C. Manœuvre totale
Phase 26 "	9	33	1	33
Phase 16"	67	99	2	66 + 99
12 ¼" vertical	26	126	1	126
12 ¼" dévié	11	147	2	137 + 147
Phase 8 ^{3/8} "	3	171	3	155 + 163 + 171
Phase 6"	41	214	9	175 + 179 + 184 + 189 + 194 + 199 + 204 + 209 + 214

Tableau 9: Nombre et type de connexions par phase**Remarque :**

Le nombre total des connexions de manœuvres est proportionnel à la profondeur atteinte, nous diviserons donc le nombre de connexions faites uniquement dans chaque phase (de la profondeur de début de phase, jusqu'à la profondeur de fin de phase) par le nombre de manœuvres.

On aura donc le nombre total des connexions de manœuvres :

- Phase 26" : 33 connexions.
- Phase 16" : 165 connexions.
- Phase 12 ¼" vertical : 126 connexions.
- Phase 12 ¼" dévié : 284 connexions.
- Phase 8 ^{3/8} " : 489 connexions.
- Phase 6" : 1747 connexions.

11) Calcul du gain de temps par type de connexion et par phase:**Tableau 10 : Coûts estimés par phase en (KDA/jour)**

APPAREIL	Phase 26"	Phase 16"	Phase 12 1/4" vert	Phase 12 1/4"dévié	Phase 8 3/8 "	Phase 6"
Tarif Appareil	1 379	1 379	1 379	1 379	1 379	1 379
Supervision	96,78	96,78	96,78	96,78	96,78	96,78
Tarif Mud Logging	130	130	130	130	130	130
Top Drive	224	224	224	224	224	224
Hydraulique	2	2	2	2	2	2
Sécurité	112	112	112	112	112	112
Tarif fluide de forage	33,24	84,14	84,14	84,14	84,14	84,14
Tarif Coulisse	0	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7
Tarif Amortisseurs	32,6	32,6	32,6	32,6	32,6	32,6
Tarif HWDP	0	69,5	69,5	69,5	69,5	69,5
Tarif déviation	0	0	0	1 440	1 440	1 440
Coût total par phase (KDA/jour)	2 010	2 136	2 136	3 576	3 576	3 576
Coût total par phase (KDA/mn)	1,4	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5

Pour connaître la valeur de la réduction du coût, nous procéderons comme suit :

- calculer le gain de temps sur chaque connexion ;
- en le multipliant par le nombre de connexion de chaque phase nous obtiendrons le gain de temps sur celle ci;
- en le multipliant par le coût de chaque phase (KDA/jour) cela donne la réduction du coût par phase
- La somme de la réduction de toutes les phases donne le gain par type de connexion
- La somme des réductions des trois types de connexion donne « LA REDUCTION DES COÛTS FINALE ».

11-1) Connexion forage:

Le gain de temps pour les connexions forage par phase sera calculé comme suit :

$$T_C = N_c \times \Delta T_c$$

Tel que :

T_C = Gain de temps sur les connexions par phase ;

N_c = Nombre de connexions par phase ;

ΔT_c = différence (temps connexion sur chantier – temps connexion résultat de MS Project) ;

Gain de temps par phase :

- Phase 26" : $T_C = 9$ connexions x 6 min 06 = 54 min 54
- Phase 16" : $T_C = 67$ connexions x 6 min 06 = 408 min 42
- Phase 12 ¼" vertical : $T_C = 26$ connexions x 6 min 06 = 158 min 36
- Phase 12 ¼" dévié : $T_C = 11$ connexions x 6 min 06 = 67 min 06
- Phase 8 ^{3/8} " : $T_C = 3$ connexions x 6 min 06 = 18 min 18
- Phase 6" : $T_C = 41$ connexions x 6 min 06 = 250 min 06

Le gain de temps totale est : **15, 96 heure**

11-2) Connexion manœuvre:

Une manœuvre est composée de connexions montage et démontage (remontée et descente de la garniture de forage). Le gain de temps sera calculé par la formule suivante :

$$T_{\text{man}} = N_m (\Delta T_m + \Delta T_d)$$

Tel que:

- T_{man} = Gain de temps sur les manœuvres par phase;
- N = nombre de connexions par phase ;
- ΔT_{m_i} = différence (temps montage sur chantier – temps montage résultat de MS Project) ;
- ΔT_{d_i} = différence (temps démontage sur chantier – temps démontage résultat de MS Project) ;

Gain de temps par phase :

- Phase 26" : $T_{\text{man}} = 33 \text{ connexions} \times (1 \text{ min } 08 + 1 \text{ min } 18) = 80 \text{ min } 18$
- Phase 16" : $T_{\text{man}} = 165 \text{ connexions} \times (1 \text{ min } 08 + 1 \text{ min } 18) = 401 \text{ min } 30$
- Phase 12 ¼" vertical : $T_{\text{man}} = 126 \text{ connexions} \times (1 \text{ min } 08 + 1 \text{ min } 18) = 306 \text{ min } 36$
- Phase 12 ¼" dévié : $T_{\text{man}} = 284 \text{ connexions} \times (1 \text{ min } 08 + 1 \text{ min } 18) = 691 \text{ min } 03$
- Phase 8 3/8" : $T_{\text{man}} = 489 \text{ connexions} \times (1 \text{ min } 08 + 1 \text{ min } 18) = 1189 \text{ min } 54$
- Phase 6" : $T_{\text{man}} = 1747 \text{ connexions} \times (1 \text{ min } 08 + 1 \text{ min } 18) = 4251 \text{ min } 01$

Le gain total en temps égale : **115,34 heures**

Le Gain de temps total que nous avons réussi à réaliser est égal à la somme des deux gains (optimisation des connexions et des manœuvres).

$$T = 115,34 + 15,96 = 131,30 \text{ heures}$$

$$\boxed{T = 5 \text{ jours et } 11 \text{ heures}}$$

La réduction des coûts est égale à la somme des gains de temps par optimisation des manœuvres et des connexions (minutes), multipliée par le coût minute de chaque phase (KDA/min).

$$\boxed{\Delta A = (T_{\text{man}} + T_c) \times \text{Coût minute par phase}}$$

- Phase 26" : $\Delta A = (80 \text{ min } 18 + 54 \text{ min } 54) \times 1,4 = 189,3 \text{ KDA}$
- Phase 16" : $\Delta A = (401 \text{ min } 30 + 408 \text{ min } 42) \times 1,5 = 1215,3 \text{ KDA}$
- Phase 12 ¼" vertical : $\Delta A = (306 \text{ min } 36 + 158 \text{ min } 36) \times 1,5 = 697,8 \text{ KDA}$
- Phase 12 ¼" dévié : $\Delta A = (691 \text{ min } 03 + 67 \text{ min } 06) \times 2,5 = 1895,37 \text{ KDA}$
- Phase 8 ^{3/8}" : $\Delta A = (1189 \text{ min } 54 + 18 \text{ min } 18) \times 2,5 = 3020,5 \text{ KDA}$
- Phase 6" : $\Delta A = (4251 \text{ min } 01 + 250 \text{ min } 06) \times 2,5 = 11252,8 \text{ KDA}$

Il ne reste plus qu'à sommer pour obtenir la réduction totale.

Nous avons réussi à réduire les coûts de :

$$\boxed{\Delta A = 18 \ 271 \ 070 \ \text{DA}}$$

Conclusion :

Les opérations du forage horizontal engendrent des coûts très élevés vu l'importance des équipements qu'elles mettent en œuvre, et dont la location est facturée en heure de mise à disposition ou d'utilisation. En général, les foreurs travaillent pendant plus de deux mois pour achever un puits de pétrole, un temps énorme et dont l'optimisation a fait l'objet de notre étude . En effet, en proposant une procédure pour les trois types de connexions, on a prouvé qu'on peut réduire ce temps de 7%, et par conséquent réduire les coûts d'un forage de développement de 2,6 %.

Phase	Coût (KDA/mn)	Temps optimisée (mn)	Temps réel (mn)	Gain (mn)
Phase 26"	1,4	304,6	439,9	135,3
Phase 16"	1,5	1698,9	2509,1	810,2
Phase 12"1/4 vert	1,5	1091,1	1556,2	465,1
Phase 12"1/4 BU	2,5	2071,6	2829,9	758,3
Phase 8"3/8	2,5	3431,3	4639,5	1208,2
Phase 6"	2,5	12507,1	17008,1	4501

Phase	Réduction de coût (KDA)	Coût réel (KDA)	Coût Optimisé (KDA)
Phase 26"	189,42	615,86	426,44
Phase 16"	1215,3	3763,65	2548,35
Phase 12"1/4 vert	697,65	2334,3	1636,65
Phase 12"1/4 BU	1895,75	7074,75	5179
Phase 8"3/8	3020,5	11598,75	8578,25
Phase 6"	11252,5	42520,25	31267,75

Tableaux récapitulatifs

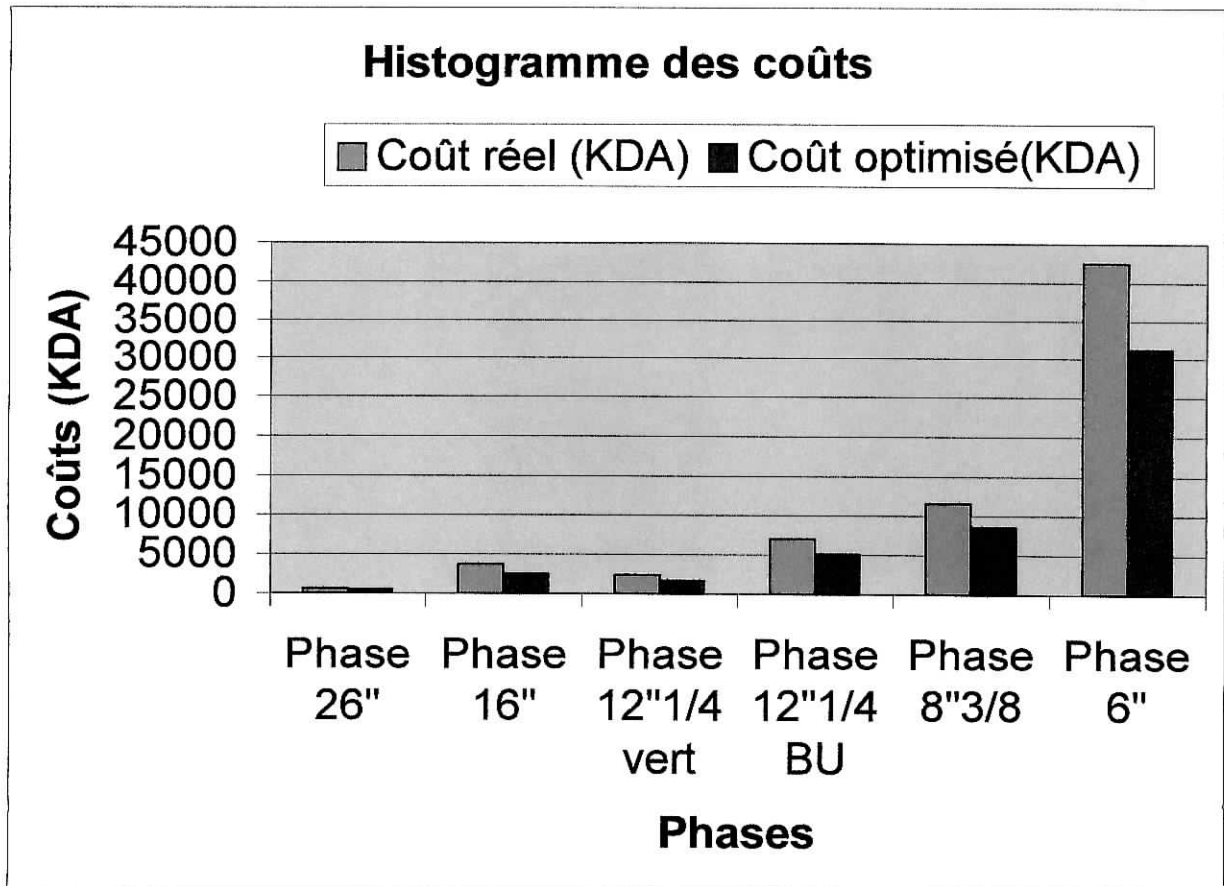
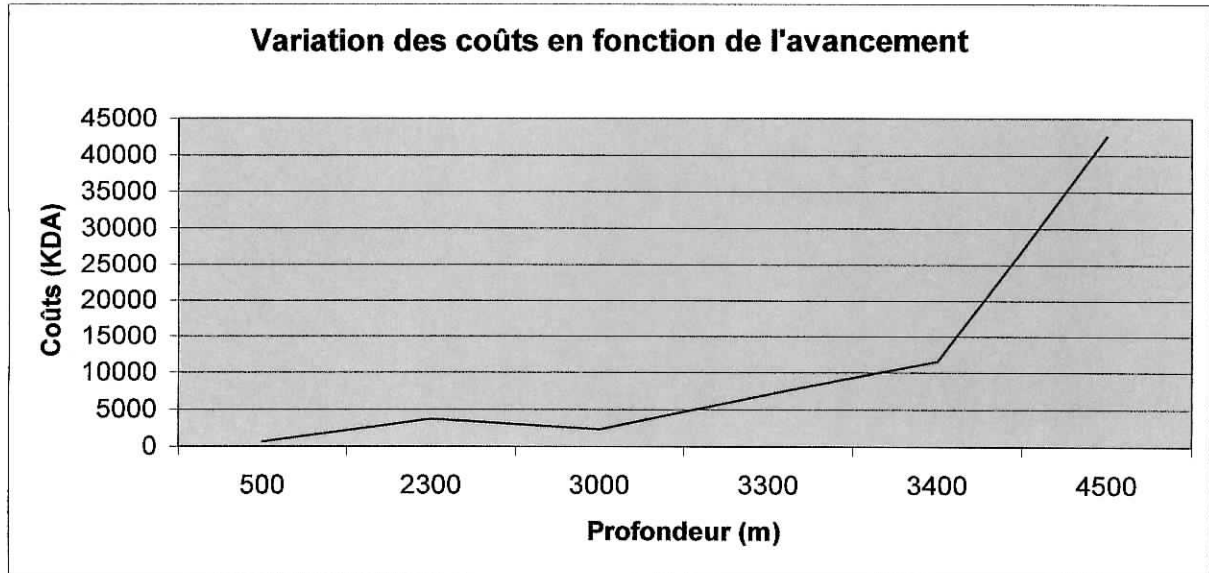


Fig27 : Histogramme et courbe de variation des coûts

IL apparaît clairement sur l'histogramme et la courbe que la réduction de coûts est notable. Ceux-ci augmentent avec la profondeur et donc la multiplication du nombre de connexions proportionnellement à l'avancement des travaux . En effet, plus on se trouve proche de la fin du puits, plus les terrains sont durs, ce qui entraîne une augmentation du nombre de manœuvres et donc du nombre de connexions.

La simplicité des solutions proposées fait que leur mise en application ne requière pas d'investissements supplémentaires, il faudra juste prendre le temps, une seule fois, pour faire le briefing des opérateurs afin de bien leurs expliquer ce qu'il faut faire et comment il faut le faire .

L'utilisation de MsProject sur une petite opération du forage, en l'occurrence les connexions, a permit un gain de plus de 5 jours et une réduction des coûts de plus de 18 millions de DA. Une application de ce logiciel à tout le processus de la mise en production du gisement, permettra d'obtenir des résultats à plus grande échelle . C'est pourquoi nous recommandons à Sonatrach l'intégration de cet outil, au niveau de la cellule ingénierie, pour la réalisation de ses futurs projets.

Une bonne gestion de projets et une maîtrise parfaite des coûts assurera à l'entreprise, dans un contexte de mondialisation, sa compétitivité et sa pérennité face aux multinationales du secteur pétrolier .

Mots clés :

WOB (Weight On Bit) : Poids sur l'outil.

RPM : Rotation Par Minute.

Top Drive : tête d'injection motorisée.

Drill Collar : Masse Tige .

HWDP (Heavy Weight Drill Pipe) : Masse tige.

Rig : Lieu de forage.

Manœuvre : Ensemble d'ajout et retrait de tiges.

Connexion Forage : Ajout de tige pendant l'opération de forage.

PDC : Outil à Diamant Poly Cristallin.

EMD : Electric Motor Diesel.

Stinger : Tête d'injection de ciment qu'on descend au fond du puits.

Kelly : Tige carrée de la Table de rotation.

Cuttings : Déblais.

Kick : Venue d'un fluide sous pression.

BOP (Blow Out Prevention) : Block Obturateur de Puits.

MudCleaner : nettoyeur de boue.

TVD (Total Vertical Depth) : Profondeur verticale totale.

Mud : La boue de forage.

26" : 26 Pouces (1" = 2,54 cm).

CHH (Casing Head Housing): tête de puits.

CHS (Casing Head Spool) : Tête de tubage .

Casing : Tubage.

Psi : Pressure per square inch (unité de pression).

Build Up Section : Section Déviée.

KOP (Kick Off Point) : Point de déviation.

MWD (Measurement While Drilling): Appareil de mesure durant le forage.

Forage rotary : Forage rotatif.

Forage sliding : Forage en glissé avec moteur de fond.

Liner : Tubage de diamètre 7".

Bent Housing : Angle de l'inclinaison du bras du moteurs.

Offshore : Plate forme de forage en mère.

Jalon : tâche unitaire de durée 0 min .

BHA (Bottom Hole Assembly) : Assemblage de l'ensemble de la Garniture de forage.

Rack : Lieu de Rangement des tiges.

Bibliographie:

- [1]. La réduction des coûts dans les activités d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures : Saïd AKRETCHE.
Communication JST4 2000
- [2]. Maîtrisez le coûts de vos projets : Le BISSONNAIS / JOLY / MULLER.
Edition AFNOR 1995.
- [3]. Le forage aujourd'hui
Edition TECHNIP 1970.
- [4]. Management de nouveaux projets : Sandrine Fernez-Walch.
Edition AFNOR
- [5]. Le forage : J.P NGUYEN
Edition TECHNIP 1993.
- [6]. Forage et exploitation des puits de pétrole et de gaz: N.SIDOROV.
Editions Mir 1986.
- [7]. Programme type HMD forage Horizontal (document Sonatrach).
- [8]. Procédure HMD forage vertical (document Sonatrach).
- [9]. Fiche puits et drilling daily reports (documents Sonatrach).
- [10]. Aide du logiciel Ms Project .
- [11]. Gestion de production : A.COURTOIS, C.MARTIN et C.PILLET .
Les éditions d'organisation 1989.