

N° d'ordre : / Faculté / UMBB / 2017

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme :

MASTER

Présenté par :

YAHIAOUI SOFIANE

GUERROUDJ FAROUK

Filière : Hydrocarbures

Option : Forage des puits

Thème

**ETUDE COMPARATIVE ENTRE LES PERFORMANCES DES OUTILS
PDC DANS LA PHASE 12^¼ DANS LE CHAMP
DE HASSI MESSAOUD**

Devant le jury :

MELLAK Abderrahmane	Professeur	UMBB	Président
HADJADJ Ahmed	professeur	UMBB	Encadreur
BOUMAZA Nadia	MC (A)	UMBB	Examineur
CHIEB Bachir	DGA	ENTP	Examineur

Année universitaire 2016 / 2017

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je remercie le bon Dieu de m'avoir donné la puissance pour achever mes études supérieures.

Je tiens à remercier en premier lieu mon promoteur Pr. HADJADJ AHMED pour ses remarques, ses conseils considérables et ces critiques constructives.

J'adresse mes remerciements à mes enseignants qui m'ont encadré durant mon cursus universitaire.

Mes remerciements vont également à tout le personnel de l'ENSP pour leurs interventions et leur aide.

Ainsi qu'à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Liste Des Figures

Fig. I.1 : Différents types d'outils utilisés en forage.....	7
Fig. I.2 : OUTILS PDC #SP619A.....	11
Fig. II. : 1Situation géographique du champ de Hassi Messaoud	12
Fig. II.2 : Situation géographique du champ de Hassi Messaoud	13
Fig. II.3 : Situation Géologique du champ Hassi Messaoud	14
Fig. II.4 : Stratigraphie du champ Hassi Messaoud.....	15
Fig. II.5 : Zones et Numérotation des Puits	19
Fig. III.1 : Outils à molettes (Tricône)	23
Fig. III.2 : Nomenclature des éléments constituant Un outil à molettes.....	24
Fig. III.3 : Mécanisme d'action d'un outil à molettes sur la roche	25
Fig. III.4 : Offset et inclinaison des cônes	26
Fig. III.5 : Numérotation des cônes et répartition les outils à molettes	27
Fig. III.6 : Action d'un outil à diamant naturel.....	31
Fig. III.7 : Les outils PDC	32
Fig. III.8 : Outil PDC Steel body	33
Fig. III.9 : Outil PDC Matrix body	34
Fig. III.10 : Principe de fonctionnement d'un outil PDC	35
Fig. III.11 : Angles caractéristiques d'un PDC	37
Fig. III.12 : Longueur utile L_d	38

Fig. III.13 : Des outil TSP	38
Fig. IV.1 : influence de Densité et viscosité sur La V d'avancement.....	44
Fig. IV.2 : Influence du pourcentage de solides dans la boue sur ROP	45
Fig. IV.3 : Courbe d'avancement de l'outil	47
Fig. IV.4 : Outil-SP619A	49
Fig. V.1 courbe de rentabilité.....	54
Fig. V.2Comparaisons des Pm et ROP entre les outils PDC (ALDIM)	56
Fig. V.3Comparaisons des Pm et ROP entre les outils PDC HYCALOG.....	58
Fig. V.4Comparaisons des Pm et ROP entre les outils (HALLIBURTON)	60
Fig. V.5Comparaisons des Pm et ROP entre les outils PDC VAREL.....	62
Fig. V.6Comparaisons des Pm et ROP entre les outils (SCHLUMBERGER)	64
Fig. V.7Comparaisons des Pm et ROP entre les outils Baker Hughes.....	66
Fig. V.8Comparaisons des Pm et ROP entre les Meilleur Outils PDC	68
Fig. V.9L'outil SP619A vue de coté	68
Fig.11, 12,13Outil SP619A usé	72
Fig. V.14 Courbe de rentabilité de L'outil DSX619M-E11 dans la phase 12 ^{1/4} ...	74
Fig. V.15 Courbe de rentabilité de L'outil VTD613DGX dans la phase 12 ^{1/4}	76
Fig. V.16Courbe de rentabilité de L'outil FM2663 dans la phase 12 ^{1/4}	78
Fig. V.17Courbe de rentabilité de L'outil MI616 dans la phase 12 ^{1/4}	80
Fig. V.18Courbe de rentabilité de L'outil HC508 dans la phase 12 ^{1/4}	82

Liste Des Tableaux

Tableau I.1 Facteurs affectant les performances des outils de forage.....	3
Tableau III.1 Caractéristiques principales du diamant naturel.....	30
Tableau IV.1 Paramètre hydrauliques et mécanique	41
Tableau V.1 Dull Grading Chart	53
Tableau V.1 Prix / mètre des outils PDC dans la phase 121/4" de champ HMD (Société ENSP Aldim)	55
Tableau V.2 Prix / mètre des outils PDC dans la phase 121/4'' du champ HMD HYCALOG (NOV)	57
Tableau V.3 Prix / mètre des outils PDC dans la phase 121/4'' du champ HMD HDBS (Haliburton)	59
Tableau V.4 Prix / mètre des outils PDC dans la phase 121/4'' du champ HMD VAREL	61
Tableau V.5 Prix / mètre des outils PDC dans la phase 121/4'' du champ HMD SMITH(SCHLUMBERGER)	63
Tableau V.6 Prix / mètre des outils PDC dans la phase 121/4'' du champ HMD Baker Hughes	65
Tableau V.7 Prix / mètre des outils PDC dans la phase 121/4' du champ HMD..	67
Tableau V.8 montre les performances du meilleur outil dans champ HMD dans chaque formation de la phase 12 ^{1/4}	69
Tableau V.9 Dull Grading Chart	70

Tableau V.10 Performance de forage de l'outil DSX619M-E11	74
Tableau V.11 Performance de forage de l'outil VTD613DGX	76
Tableau V.12 Performance de forage de l'outil FM2663 dans la phase 12 ^{1/4}	78
Tableau V.13 Performance de forage de l'outil MI616 dans la phase 12 ^{1/4}	80
Tableau V.14 Performance de forage de l'outil HC508 dans la phase 12 ^{1/4}	82
Tableau V.15 Aire totale des duses en fonction du diamètre/du nombre de duses ...	86

Résumé

L'objectif de travail porte sur la recherche de performance des outils de forage dans le champ du HASSI Messaoud, et ceci dans le souci de réduire au maximum le cout de forage, à cet effet, nous avons réalisé une étude comparative de performance entre des outils de différents type sur la base d'une banque de données de puits forés dans la région de HASSI Messaoud .

L'étude consiste de prendre comme référence la vitesse d'avancement (ROP) et le prix de mètre foré afin de déterminer la performance des outils de forage et par conséquent, proposer une approche économique pour forer la phase 12^{1/4} ".

Les problèmes liés au mauvais choix de l'outil de forage engendrent des pertes des millions de Dinars chaque année malgré que ces problèmes puissent être réduits si les conditions des terrains et les signes des problèmes associés à l'outil sont bien maitrisés.

Summary:

The objective of work focuses on research performance drill bits in the Hassi Messaoud field, and this in order to minimize the drilling cost, for this purpose, we performed a comparative study between performance bits of different types on the basis of a well drilled database in the region of Hassi Messaoud.

The study consists of taking as reference the forward speed (ROP) and the meter fare drilled to determine the performance of drill bits and, therefore, propose an economic approach to drill 12^{1/4} phase ".

The problems related to poor choice of the drilling tool generate losses millions of Dinars each year despite that these problems can be reduced if the conditions of the land and the signs of the problems associated with the bit are well under control.

Liste des Symboles

BHA : Bottom Hole Assombly

d : Densité de fluide de forage [ppg]

HMD : Champ de Hassi Messaoud

M : Pente

m : longueur forée avec l'outil [m]

PDM : Positive Déplacement Motors

Pb : Perte de charge au niveau de l'outil de forage [psi]

Pm : Prix de revient du mètre foré [\$/m]

Po : Prix de l'outil de forage [\$]

Ph : Prix horaire de l'appareil de forage [\$/h]

P max : Pression surface maximale [psi]

Popt : Perte de charge optimale [psi]

Q : Débit de forage [gpm]

Q opt : Débit optimale [gpm]

ROP : Vitesse de d'avancement de l'outil [m/h]

TSD : Thermally Stable Diamond

TSP : Thermally Stable Poly –cristallin

Tf : Temps de rotation de l'outil [h]

Tm : Temps de manœuvre exprimé [h]

WOB : Poids sur l'outil [ton]

ϕ_i : Diamètre de chaque Duse l'outil forage [in]

SOMMAIRE

Introduction 1

Chapitre I : PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Introduction..... 2
II. Historique des outils de forage 4
III. Présentation de l'entreprise ENSP 9
IV. Présentation du groupe ALDIM 10

Chapitre II : GENERALITES SUR LE CHAMP DE HASSI- MESSAOUD

I. Historique du champ Hassi Messaoud 12
 I.1 Cadre géologique 13
II. Description Lithologique 15
 II.1 Cénozoïque 15
 II.2 Mésozoïque 15
 II.3 Paléozoïque 17
 II.4 Le Socle 18
III. Zones et numérotation des puits 19
IV. Représentation du gisement de Hassi Messaoud 20
 IV.1 Réservoir R3..... 20
 IV.2 Réservoir R2..... 20
 IV.3 Réservoir Ra 21
 IV.4 Réservoir Ri 21
V. Les problèmes rencontrés dans les différentes phases 21

***Chapitre III : GENERALITES SUR LES OUTILS DE FORAGE**

I. Introduction	23
II. Différents types des outils de forage	23
II.1 Outils à molettes	23
II.1.1 Principe de fonctionnement des outils tricône	25
II.1.2 Structure de coupe	27
II.1.3 Classification IADC des outils à molettes	28
II.2 Outils à éléments de coupe fixes	29
II.2.1 Propriétés du diamant	29
II.2.2 Types d'outils diamantés	29

Chapitre IV : PARAMETRES QUI INFLUENT LES PERFORMANCES DES OUTILS

I. Introduction	41
II. Vitesse d'avancement (ROP)	41
II.1 Paramètres mécaniques	42
II.2 Poids sur l'outil(WOB)	42
II.3 Vitesse de rotation de l'outil	42
II.4 Paramètres hydrauliques	43
III. Prix de mètre foré	46
IV. Codification Des Outils	48
V. Critères de remontée de l'outil	50

***Chapitre V : PARTIE CALCUL**

I. Introduction	51
II. Choix de l'outil par la méthode de Break Even	52
III. Résultats pratiques (Etude statistique)	55
III.1.1 Analyse des résultats ALDIM (ENSP)	56
III.1.2 Commentaires sur les Performances de meilleur outil ALDIM(ENSP) ..	57
III.2.1 Analyse des résultats HYCALOG (NOV)	57
III.2.2 Commentaires sur les Performance de meilleur outil HYCALOG NOV ...	58
III.3.1 Analyse des résultats HDBS (Haliburton)	59
III.3.2 Commentaires sur les Performance de meilleur outil HDBS Haliburton ...	60
III.4.1 Analyse des résultats (VAREL)	61
III.4.2 Commentaires sur les Performances de meilleur outil (VAREL)	62
III.5.1 Analyse des résultats SMITH(SCHLUMBERGER)	63
III.5.2 Commentaires sur les Performances de meilleur outil SMITH (Schlumberger)	64
III.6.1 Analyse des résultats Baker Hughes	65
III.6.2 Commentaires sur les Performances de meilleur outil (Baker Hughes)	66
III.7.1 Analyse des résultats des meilleurs outils dans le champ HMD	67
IV. Caractéristique du meilleur Outil	68
V. Procédure de suivi des outils de forage à l'ENSP	70
VI. Dull Grading	71
VII. Calcul de rentabilité dans la zone HMD	73
VII.1 rentabilité de l'outil HYCALOG	73
VII.2 Rentabilité de l'outil de VAREL	75
VII.3 Rentabilité de l'outil HALLIBURTON (HDBS)	77

VII.4 Rentabilité de l’outil de Schlumberger (SMITH)	79
VII.5 Rentabilité de l’outil de Baker Hughes	81
VIII. Optimisation des paramètres hydrauliques de forage	84
VIII.1 Calcul de la surface totale des duses (TFA)	84
VIII.2 Calcul des pertes de charge au niveau des duses	84
VIII.3 Calcul perte de charge	84
VIII.4 Calcul la pente M.....	85
VIII.5 Calcul la Popt pour l’énergie hydraulique	85
VIII.6 Calcul le débit optimal	85
VIII .7 Calcul des Popt au niveau de l’outil	85
VIII .8 Calcul la surface totale des duses de l’outil forage	85
*CONCLUSION	89
*RECOMMANDATION	91
*BIBLIOGRAPHIE	93
*ANNEXE	95

Introduction

Depuis le début de l'aire industrielle, le premier souci des pays est d'assurer l'approvisionnement de leurs industries en énergies. Actuellement les hydrocarbures (notamment le pétrole) tiennent une place prépondérante dans la consommation énergétique mondiale, cette forte demande des hydrocarbures à l'échelle mondiale pousse les entreprises pétrolières à des concurrences dans la découverte, le développement de nouvelles réserves de pétrole pour satisfaire la demande croissante de l'énergie.

Cependant les recherches, et l'exploitation des gisements engendrent des coûts énormes que les compagnies pétrolières cherchent à les diminuer à travers des différents leviers dont l'une d'entre elle est l'investissement destiné à la réalisation du puits (forage).

Le forage est une opération délicate et coûteuse son but est d'atteindre un objectif avec un prix de revient le plus bas possible avec le respect strict de l'aspect sécuritaire. A Hassi-Messaoud, avec plus de 1200 puits forés les sociétés pétrolières essayent toujours d'améliorer les méthodes de travail, les techniques de forage et les produits utilisés dans le but de réduire les coûts d'un forage.

Pour la réalisation de cette objectif, il faut choisir l'outil le mieux adapté au type de la formation à forer afin d'obtenir une vitesse optimale d'approfondissement de l'outil.

La destruction de la roche et la vitesse d'avancement dépendent essentiellement du type d'outil et des paramètres de forage qui lui sont appliqués, la rentabilité d'un outil dépend de tous les facteurs qui contribuent à l'augmentation de la ROP, elle s'exprime par un aspect économique défini par le prix de revient du mètre foré.

Ce mémoire présente une étude générale sur le choix des outils de forage utilisés dans la phase 12^{1/4}" dans le champ de Hassi-Messaoud, il est composé de cinq chapitres dont le premier consiste à une recherche bibliographique, le deuxième et le troisième présentent des généralités sur HMD et sur les outils de forage, le quatrième sur les paramètres qui influent sur les performances des outils et le dernier chapitre est une partie calcul.

I.Partie recherche

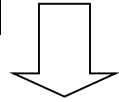
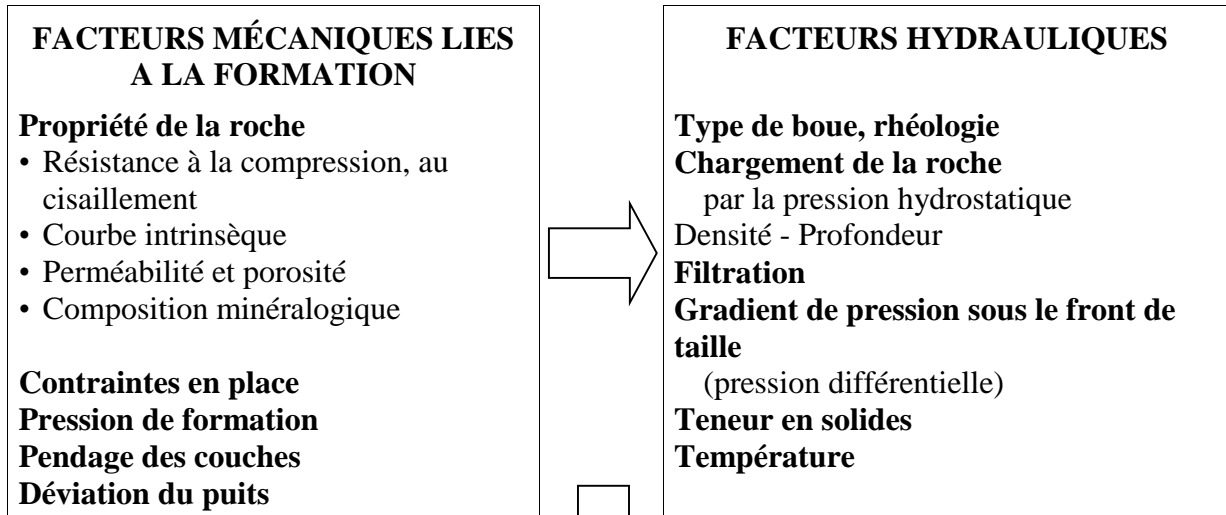
Le but d'un forage est de parvenir à l'objectif final de la manière la plus économique possible.

Le coût du forage proprement dit (coût estimatif), c'est-à-dire le coût total de l'opération lorsque l'outil au fond est en train de détruire la roche, représente environ 30 % du coût global du puits. Il est donc important d'optimiser le moyen utilisé pour détruire la roche afin de réduire les coûts du puits.

La facilité avec laquelle une roche est détruite dépend de nombreux paramètres ; ce sont en particulier (tableau 1.1) :

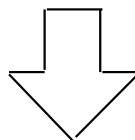
- la nature de la roche (dureté et abrasivité du minéral la constituant, etc...),
- les caractéristiques du milieu environnant (contraintes en place, diagenèse du sédiment, pression de formation, pendage de la couche, etc...),
- la trajectoire du puits qui agit sur la répartition des contraintes dans la roche,
- les moyens utilisés pour réaliser le puits (type d'outil, d'usage de l'outil, type de boue, de BHA, de garniture, etc...),
- les paramètres appliqués pour détruire la roche (poids sur l'outil, vitesse de rotation, débit de forage, etc.).

CONDITIONS DU PUIT [1]



MOYENS DE FORAGE

<p>OUTILS DE FORAGE</p>	<p>Éléments de coupe</p> <ul style="list-style-type: none"> • Forme, structure, disposition <p>Conception de l'outil</p> <ul style="list-style-type: none"> • Forme, composition, dimension • Puissance hydraulique spécifique <ul style="list-style-type: none"> - répartition et vitesse de la boue sous l'outil - impact sur la formation
<p>PARAMÈTRES DE FORAGE</p>	<p>Mécaniques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Poids sur l'outil en dynamique (voir paragraphe 5.5.2) • Vitesse de rotation • Couple disponible • Composition garniture <p>Hydrauliques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stabilisation - Élasticité • Débit de circulation • Puissance hydraulique surface



AVANCEMENT / DURÉE DE VIE DE L'OUTIL

TABLEAU. I.1 Facteurs affectant les performances des outils de forage

Différents types d'outils sont utilisés (figure 1.1) :

- ceux qui détruisent complètement la roche,
- les couronnes qui permettent de prélever des carottes.

Dans ce document, nous nous limiterons à l'étude du premier type.

Ces outils se classent en deux catégories :

- **Les outils à molettes** : ils sont constitués de trois cônes tournant de façon indépendante et montés sur trois bras réunis entre eux par soudure constituant le corps de l'outil. Plusieurs types de roulements sont utilisés (rouleaux avec ou sans étanchéité, paliers de friction, système de lubrification, etc.). Ces outils travaillent principalement en compression.
- **Les outils diamant** : ils ne possèdent pas de pièces tournantes ; ce sont des outils monobloc. Des diamants naturels et de synthèse sont utilisés pour leur fabrication. Les outils à diamant naturel travaillent à la façon d'une lime tandis que les outils à diamants synthétiques travaillent à la façon d'un rabot.

II. Historique des outils de forage : [2]

Les outils de forage ont évolué au cours du temps pour répondre aux problèmes techniques du forage qui s'avèrent de plus en plus complexes.

En 1859, à Titusville en Pennsylvanie, le colonel Drake donnait le véritable coup d'envoi de l'exploitation du sous-sol par forage, en réalisant le premier forage pétrolier à 21 mètres de profondeur. Mais il n'était pas le premier à réaliser un puits à vocation minière. Pour trouver traces des premiers forages, il nous faut remonter loin dans le temps et se rendre de l'autre côté du globe ! Les Chinois sont en effet les précurseurs de notre métier.

Au 3ème siècle avant JC, ils avaient déjà imaginé une méthode de forage par battage, un peu à la manière de ce qui se déroule aujourd'hui A l'aide d'un trépied. Et d'une poulie, ils soulevaient un outil de forage et le lâchaient pour le laisser s'enfoncer dans le sol. Centimètre par centimètre, ils creusaient un trou qu'ils vidaient soit au moyen d'un récipient soit, idée remarquable pour l'époque, à l'aide d'eau ajoutée pour faciliter la pénétration de l'outil et augmenter la capacité de récupération des débris de forage.

Le forage des puits s'est diversifié avec les siècles. A la base, les puits étaient forés pour trouver l'eau nécessaire aux besoins domestiques et à l'irrigation des terres. A cela s'ajoutent aujourd'hui les forages de pétrole ou de gaz Les techniques de forage des puits pétroliers ont commencé à se développer dans la deuxième partie du 19ième siècle. Lorsque le colonel Drake décida de faire le premier forage de l'époque

industrielle en 27 out 1859, il employa le système de forage par battage au câble tant que les terrains à forer sont durs et consolidés. Ce système utilise, pour attaquer le terrain, l'impact d'un lourd trépan suspendu au bout d'un câble depuis la surface. Le mouvement du va et vient du trépan provoque un choc et pénètre dans la roche en la détruisant en déblais. La roche est alors détruite sous l'action de la charge dynamique du trépan. La forme cylindrique du puits est obtenue en faisant tourner le trépan de temps en temps avec un certain angle. Le système de Drake est resté sans concurrence. L'avancement était considérablement gêné lorsqu'on forait des argiles collantes et des sables meubles, à partir de ce moment-là on a eu l'idée du Rotary en 1901.

La méthode Rotary consiste à utiliser des trépan à dents type tricônes ou des trépan monobloc comme les outils diamant ou PDC sur lesquels on applique une force procurée par un poids tout en les entraînant en rotation.

Le turboforage est apparu en 1923. Il consiste à garder le train de tiges fixe, une turbine située au-dessus du trépan lui impose un mouvement rotatif (la boue de forage est utilisée comme source d'énergie). En 1940 on utilisera pour la première fois l'électroforage où le moteur de fond sera alimenté par un câble électrique à partir de la surface.

*Quelques dates importantes sont à retenir dans l'évolution technologique des outils :

1909 : Introduction des premiers outils à molettes (bi-cônes), surtout utilisés dans les formations indurées.

1930 : Introduction de la première couronne diamantée pour le carottage pétrolier.

1933 : Introduction des premiers outils tricônes à dents fraisées offrant une meilleure adaptation au type de formation (offset et dents longues pour les formations tendres, dents courtes et molettes sans offset pour les terrains durs).

1948 : Apparition des outils à duses.

1951 : Introduction du premier outil tricône à picots de carbure de tungstène.

1953 : Introduction des outils diamant à pierres naturelles serties : leur durée de vie et leurs performances à la turbine compensent leur coût élevé dans les terrains moyens à durs situés à grande profondeur. Ils sont concurrencés par les outils à pastille de carbure de tungstène dans les

années 70. Ces derniers sont bien adaptés aux terrains moyennement durs et abrasifs pour des profondeurs intermédiaires.

1959 : Introduction de joints d'étanchéité et de système de lubrification interne des roulements.

1976 : Introduction des outils à diamants synthétiques poly-cristallins (Stratapax).

1979 : Introduction des outils à paliers lisses.

1981 : Introduction des outils à diamants synthétiques poly-cristallins thermostables (TSP).



Outil à dents



Outil à picots



TSP & Diamant



Imprégné



Couronnes
<PDC & TSP >



PDC Corps Acier



PDC corps Matrice

FIG. I.1 Différents types d'outils utilisés en forage

Les anciens outils à molettes étaient très semblables à ceux utilisés de nos jours. Cependant la conception, la métallurgie et la fabrication se sont améliorées de façon significative. Les développements les plus importants ont été l'introduction :

- des duses,
- des picots de carbure de tungstène,
- des roulements lubrifiés et étanches,
- des paliers de friction.

Toutes ces évolutions ont eu pour but d'augmenter la vitesse d'avancement et la durée de vie des outils, et donc de réduire le coût du forage.

Les évolutions actuelles consistent à utiliser de plus en plus le diamant sur les outils à molettes pour éviter la perte de diamètre.

L'une des tâches du superviseur de forage est de choisir l'outil le mieux adapté aux formations à forer. Il lui faudra choisir l'outil qui permet de forer pour un prix de revient minimum. L'outil le plus économique n'est pas nécessairement celui qui permet l'avancement le plus rapide. Il faut prendre en considération sa durée de vie, les temps de manœuvre ainsi que la qualité du puits réalisé (calibrage du trou, trajectoire réalisée, etc.). Le but n'est pas uniquement d'arriver le plus rapidement possible à la cote du tubage, c'est aussi de pouvoir faire des mesures pour évaluer les couches, de descendre un tubage, de compléter le puits, etc.

III. Présentation de l'entreprise ENSP : [3]

L'ENSP est un groupe de services parapétroliers dont la mission est de satisfaire durablement, par l'innovation et l'action, les besoins de SONATRACH et de ses associés étrangers.

Au-delà de son professionnalisme, l'ENSP est un groupe animé par une volonté de dialogue et de transparence.

La compétence et la richesse des expériences de 2700 agents sont des atouts majeurs de l'ENSP.

Avec plus d'une trentaine d'activités, le groupe ENSP est un groupe solide, centré sur ses métiers de base et disposant de perspectives de croissance importante.

Le groupe ENSP évolue autour des valeurs communes ci-après :

- Le professionnalisme
- Le respect des collaborateurs
- Le délai permanent de la sécurité et de la protection de l'environnement

De plus, nous continuerons d'appliquer les normes d'intégrité les plus élevées partout où nous avons des activités. Nous sommes un groupe régi par des principes rigoureux et nous avons une solide réputation en matière de conduite éthique, de responsabilités environnementales.



IV. Présentation du groupe ALDIM : [4]

La direction fabrication et travaux de l'entreprise nationale de services aux puits est née d'un partenariat entre l'entreprise nationale SONATRACH et un groupe mondiale Christensen de l'outil de forage « société algérienne de fabrication et de vente d'outils de forage pour l'industrie pétrolière et minière par abréviation ALDIM) avec 51% des parts détenues par SONATRACH et 49% par Christensen.

L'objectif que s'est assigné cette filiale était la satisfaction des besoins de la SONATRACH en outils de forage diamètres et en second lieu les besoins de la SONATRACH (Actuellement ORGM en outils de carottage).

Les capacités de production installées lui ont permis également d'élargir son marché en s'étendant aux entreprises des laboratoires de travaux public et hydraulique à cela s'est ajoutée une activité de commercialisation des produits pétrolières tels que le stabilisateur Drill Colar et les produits industrielles.

En 1983, à l'orée de la restructuration des entreprises, la société ALDIM a été intégrée à l'entreprise nationale des services aux puits (ENSP) qui décida en 1985, le rachat des parts détenues par CHRISTENSEN dans le capital d'ALDIM (49%) et transforma ainsi ALDIM en Direction Opérationnelle de l'Entreprise National des Services aux Puits.

En 2003, l'ENSP-Aldim signe une alliance technique avec Diamant Drilling Services (DDS), une entreprise Belge spécialisée dans la fabrication des outils PDC et imprégnés.

Cette alliance a pour objectif de transformer l'unité de production de Reghaia pour la rendre capable de produire des outils de forage performant. Ceci inclus la mise en place de l'outillage avec notamment l'installation d'un four à Hydrogène ; la formation du personnel afin de maîtriser les dernières techniques de fabrication ; et l'implémentation de nouvelles procédures de contrôle et de qualité pour répondre aux normes actuelles.

La supervision des opérations de fabrication est réalisée par du personnel DDS afin de garantir la qualité des produits fabriqués et parfaire sur site la formation du personnel.

Cette phase de transfert technologique à une durée plus d'un an et s'achève progressivement. Fin 2004, le premier outil « nouvelle génération » a été lancée en fabrication à Reghaia.

Le second objectif de cette alliance est bien entendu de reconquérir une part non négligeable du marché des outils de forage en Algérie. Et pourquoi pas, de vendre des outils de forage en dehors de l'Algérie.

Pour y arriver, du personnel DDS a été mis en place dans la base opérationnelle de Hassi Messaoud. Car c'est à ce niveau que chaque application est étudiée pour déterminer l'outil à utiliser. La tâche n'est pas aisée car il s'agit de se faire une place là où la concurrence a pris position depuis de nombreuses années.

Plusieurs essais ont déjà pu être menés. Qui ont abouti à des résultats encourageants. Le fruit du travail continu ainsi que l'écoute des clients à aider de réaliser avec SONATRACH un record en phase verticale 12"1/4 sur Hassi Messaoud (plus de 18.5 m/h) (Décembre 2004).

Le développement a continué pour offrir un meilleur produit à des clients c'est là en Avril 2005 où on a réalisé un autre record avec SONATRACH dans un puits en phase verticale 12"1/4 sur Hassi Messaoud (plus de 19.40 m/h).

Atteinte à ces résultats ne veut pas dire quand a atteint notre objectif, nous continuons d'offrir aux clients un meilleur produit de valeur économique, cela a permis de réaliser une performance dans le même type d'outils avec le même client avec un outil réparé d'une vitesse d'avancement de 21.37 M/H, cet outil coûte 40% du prix d'un outil neuf.

Il est à noter que nos outils sont de fabrication algérienne 100% et sont réparables au niveau de nos ateliers.



Fig I.2: OUTILS PDC SP619A



Fig II.2 : Situation géographique du champ de Hassi Messaoud

Le réservoir d'huile est constitué de 4 couches qui sont par ordre croissant de leur profondeur : le Ri, Ra, R2 et R3.

Le Ra constitue en qualité et en épaisseur la partie la plus importante de gisement. La roche est essentiellement constituée de grès quartzitiques, la technique a fait apparaître des failles très importantes allant jusqu'à 100 m. Le champ de Hassi-Messaoud est caractérisé par une hétérogénéité très importante.

I.1 Cadre géologique :

Par rapport aux gisements, le champ de Hassi Messaoud est limité :

- Au Nord-Ouest par les gisements d'Ouargla (Guellela, Ben Kahla et Haoud Berkaoui) ;
- Au Sud-ouest par les gisements d'El Gassi, Zotti et El Agreb ;
- Au Sud-Est par les gisements Rhourde El Baguel et Mesdar.

Le môle de Hassi Messaoud est le résultat d'une histoire paléo tectonique assez compliquée, C'est le prolongement de la dorsale d'Amguid El Biod de plus de 800 km de long. Sa structure fait partie d'un ensemble de structures formant la province triasique Nord orientale.

Géologiquement, il est limité :

- A l'Ouest par la dépression d'Oued Mya
- Au Sud par le môle d'Amguid El Biod
- Au Nord par la structure Djammâa-Touggourt
- A l'Est par les haut-fonds de Dahar, Rhourde El Baguel et la dépression de Ghadamès

Le champ de Hassi Messaoud est divisé en deux parties distinctes : le champ Nord (ex CFP) et le champ Sud (ex SN REPAL), chacun ayant sa propre numérotation.

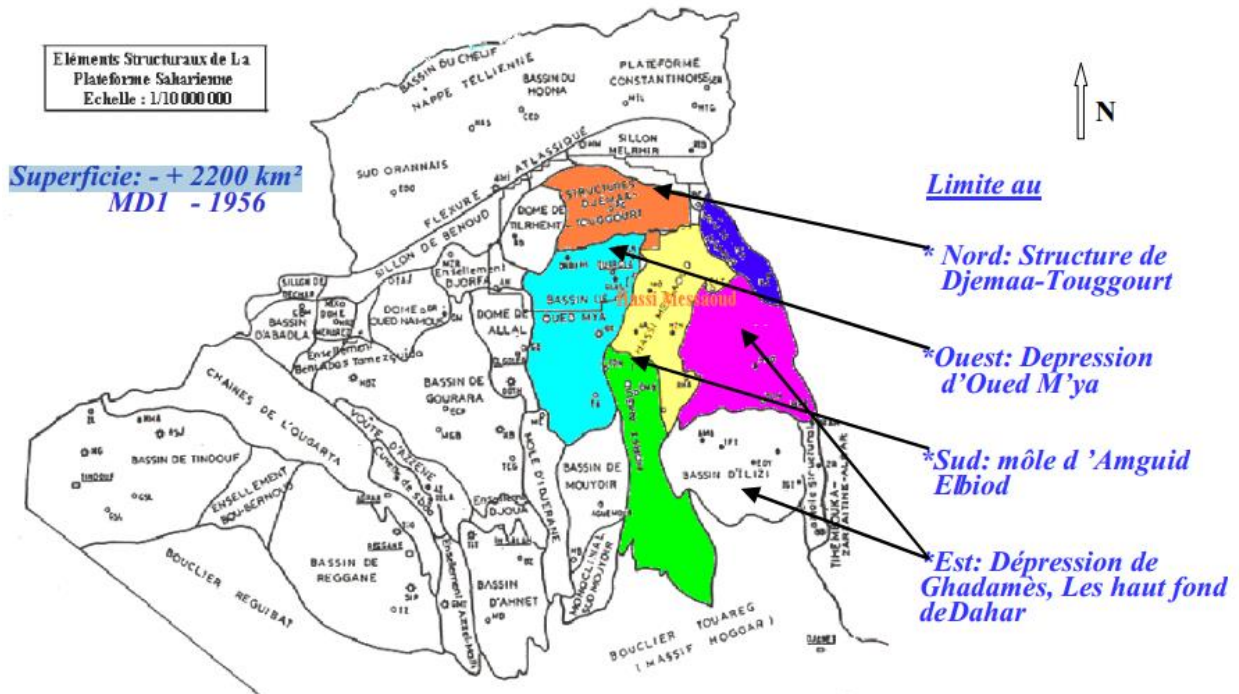


Fig II.3 : Situation Géologique du champ Hassi Messaoud

II. Description Lithologique : [6]

La série stratigraphique du champ de Hassi-Messaoud est représentée de haut en bas par les formations suivantes (e : épaisseur moyenne) :

II.1 Cénozoïque :

II.1.1 Mio-Pliocène : (e = 240 m).

Constitué par :

- Sable blanc avec fines passées d'argile brun rouge, tendre à pâteuse,
- Calcaire blanc, crayeux, tendre avec passées d'argile versicolore,
- Marne gris-brun, fortement sableuse.

Ces terrains formant un recouvrement continental essentiellement sableux, 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'Éocène par une surface d'abrasion.

II.1.2 Eocène : (e = 120 m).

Constitué de :

- Argile brun-rouge, fortement sableuse,
- Marne et fines passées d'anhydrite blanche,
- Calcaire dolomitique crayeux, avec parfois des rognons de silex.

Le tertiaire renferme un complexe aquifère d'eau potable.

II.2 Mésozoïque:

II.2.1 Crétacé:

a- Sénonien : constitué de deux niveaux:

- **Carbonaté** : (e = 107 m). Il est constitué de calcaire dolomitique avec de fines passées d'anhydrite.

- **Lagunaire** : niveau représenté par deux unités à faciès lagunaire :

La première **Anhydritique**, d'une épaisseur moyenne de 219 m, est composée d'anhydrite blanche, cristalline, de dolomie moyennement dure, de marne et de calcaire argilo dolomitique.

La deuxième **Salifère**, d'une épaisseur moyenne de 140 m, est constituée de sel massif à traces d'anhydrite.

b- Turonien : (e = 70 à 120 m). Ce sont des formations carbonatées, constituées de calcaire, craie, dolomie et quelques niveaux argileux.

c- Cénomaniens : (e = 145 m). Constitué par une alternance d'anhydrite et d'argile rouge, de marne grise et de dolomie.

d- Albien : (e = 350 m). Il est représenté par des grés et sables fins avec intercalations d'argiles silteuses.

e- Aptien : (e = 25 m). Représenté par deux bancs de dolomie cristalline encadrant un niveau argileux.

f- Barrémien : (e = 280 m). Représenté par des grés fins carbonatés alternant avec des niveaux d'argiles et grés dolomitiques.

g- Néocomien : (e = 180 m). Représenté par de la dolomie micro-cristalline, des marnes et des argiles avec de fines passées de grés.

2.2.2 Jurassique :

a- Malm : (e = 225 m). Représenté par des dépôts d'argile et de marne avec des intercalations de bancs calcaires et de dolomie accompagnées de quelques traces d'anhydrite.

b- Dogger : Représenté par deux niveaux :

- **Argileux** : (e = 105 m). Argiles silteuses, marnes dolomitiques à fines passées de grés.

- **Lagunaire**: (e = 210 m). Anhydrite, dolomie argileuse, marne.

c- Lias : (e = 300 m). Il est représenté par cinq niveaux :

- **LD1** : dolomie grise, dure, anhydrite blanche avec parfois des passées d'argiles silteuses, (e = 65 m).

- **LS1** : bancs de sels et argiles avec des passées d'anhydrite blanche, (e = 90 m).

- **LD2** : dolomies massives, microcristalline à quelques passées marneuses renfermant des eaux chlorurées calciques, (e = 55 m).

- **LS2** : Sel massif, blanc, translucide avec des intercalations argilo-salifères, (e = 60 m).

- **LD3** : marnes à passées dolomitiques, (e = 30 m).

2.2.3 Trias :

Représenté par quatre niveaux :

a- Salifère : subdivisé en trois horizons.

- **TS1** : Ce niveau est représenté par des sels massifs, des passées d'anhydrite, et des intercalations d'argile dolomitique, (e = 46 m).

•**TS2** : Sel massif à intercalations d'anhydrite blanche et d'argiles gypsifères silteuses, (e = 189 m).

•**TS3** : Sel massif à traces d'argiles silteuses, tendres, (e = 202 m).

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

b- Argileux : Argiles plus ou moins silteuses, dolomitiques et anhydritiques avec des intercalations de banc de sel au sommet, (e = 113 m).

c- Gréseux : Grés fins à ciment argileux, (e = 35 m).

d- Éruptif : Andésites altérées alternant avec des argiles ($0 < e < 92$ m) reposant par l'intermédiaire d'une discordance (hercynienne) sur les terrains du Primaire.

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 champ.

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

II.3 Paléozoïque:

II.3.1 Ordovicien:

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

a- Les quartzites d'Hamra : (e = 12 à 75 m). Quartzites localement grossières présentant parfois des intercalations argileuses.

b- Les grés d'El Atchane : (e = 25 m). Grés fins à ciment argileux, bitumineux.

c- Les argiles d'El Gassi : (e = 50 m). Argiles schisteuses, carbonatées, vertes et noires.

d- Zone des Alternances : (e = 20 m). Argiles indurées, alternant avec des bancs quartzitiques isométriques et de grés moyens à fins.

II.3.2 Le Cambrien :

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

II.3.3 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 grés argileux de couleur rouge, (e = 45 m).

II.4 Le Socle:

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

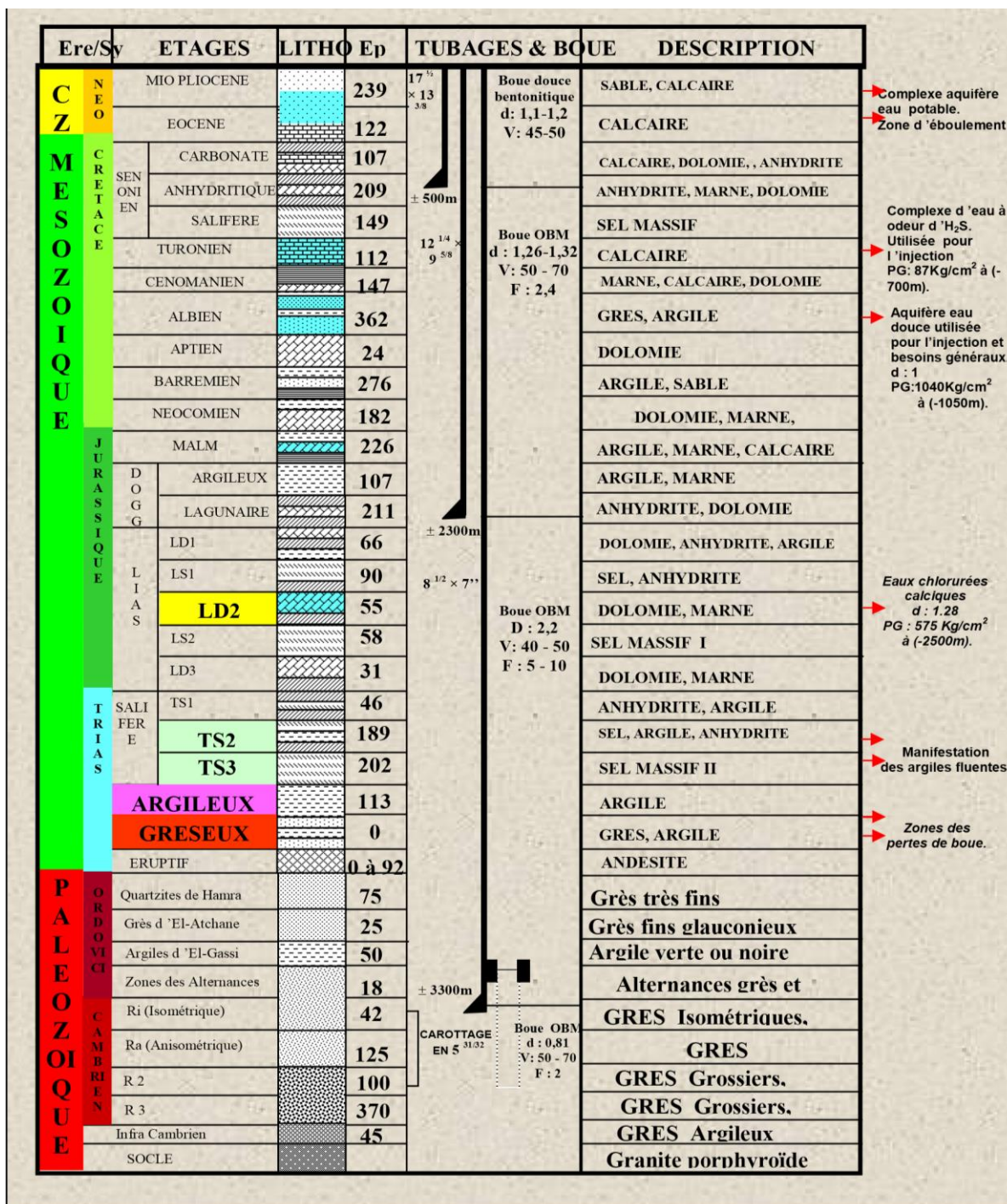


Fig II.4 : Stratigraphie du champ Hassi Messaoud

III. Zones et numérotation des puits : [7]

Ces zones sont relativement indépendantes et correspondent à un ensemble de puits communiquant, le champ de "Hassi Messaoud" est découpé en 25 zones dites de production, d'extension variable, Entre eux et se comportant de la même manière du point de vue pression de gisement. Les puits d'une même zone drainent conjointement une quantité d'huile en place bien établie.

Le champ de "Hassi Messaoud" est divisé en deux parties distinctes : le champ Nord et le champ Sud, chacun ayant sa propre numérotation.

- **Champ Nord** : comporte une numérotation géographique complétée par une numérotation chronologique, exemple Omn 43.

O : majuscule, permis d'Ouargla
m : minuscule, carreau de 1600 km²
n : minuscule, carré de 100 km²
4 : abscisse, et 3 : ordonnée

- **Champ Sud** : la numérotation est chronologique. Ex: Md1, Md2... Md544...

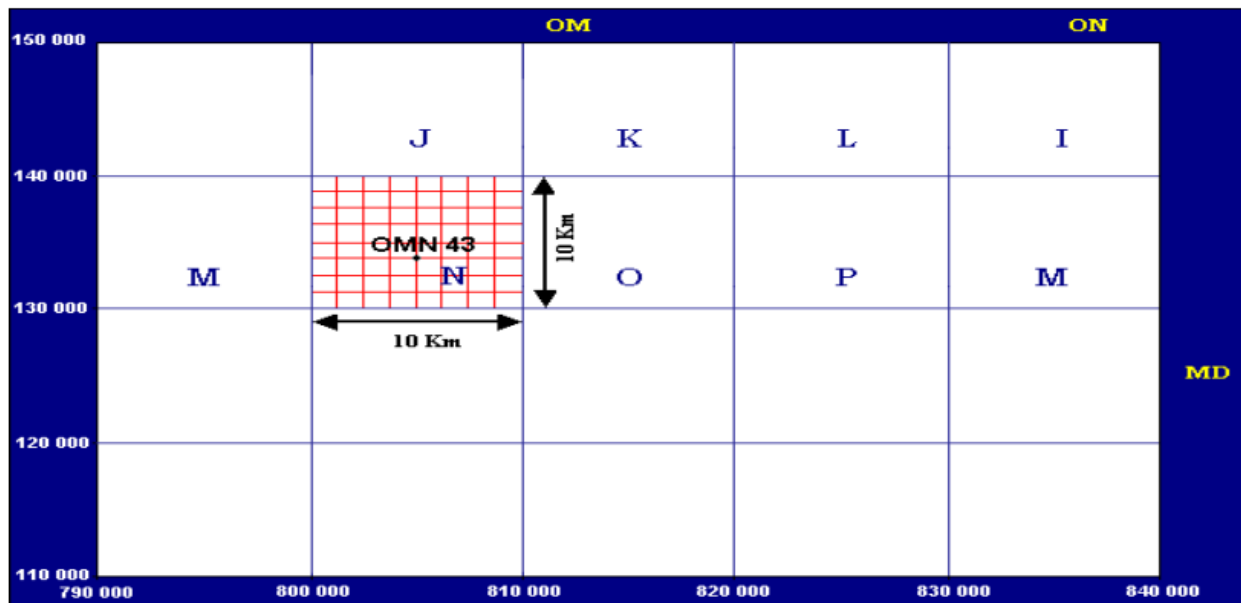


Fig II.5 : Zones et Numérotation des Puits

IV. Représentation du gisement de Hassi Messaoud : [8]

Le réservoir de Hassi Messaoud se situe dans le Cambrio-Ordovicien vers 3300m, il est de forme anticlinale. La roche couverte est constituée par le complexe argilo-gréseux et salifère du trias. La structure développée suivant une direction générale nord et sud est. Ce sont des sédiments cambrien saturés en huile, constitués essentiellement de grès hétérogènes fin à très grossier argenté. Le réservoir est constitué de 4 zones superposées ayant des différences physiques et pétrographiques fondamentales.

Le champ de Hassi-Messaoud de par sa superficie et ses réserves est considéré parmi les plus grands gisements du monde avec une pression de gisement varie entre 120 à 400 kgf/cm², une température de l'ordre de 118°C à 123°C et une perméabilité très faible de 0 à 1darcy.

Le réservoir est lié au grès-quartzitiques du Cambrien, l'horizon le plus productif est lié aux lithozones Ra et RI dont les qualités pétro physiques sont assez bonnes. La couverture est assurée par une épaisse et étanche assise argilosalfère du Trias. Le champ de Hassi-Messaoud est considéré comme une mosaïque de gisement, délimitée par les barrières de perméabilité.

Après plus de 40 années de production et plus d'une centaine de puits forés, la logique géologique de ce champ demeure énigmatique, c'est ainsi que certaines zones produisent en déplétion et d'autres sont en récupération secondaire par injection de gaz et d'eau.

IV.1 Réservoir R3 :

Elle est constituée par un grès moyen, grossier micro-conglomératique ciment argileux illitique (25 à 35%). La granulométrie moyenne comprenant des galets de taille de 1cm. On note 2 % de silice, porosité P=11%, perméabilité K< 0.1m D.

IV.2 Réservoir R2 :

Le minerais argileux de ciment prédominant est l'illite. Il présente le moins de variation d'épaisseur, autour de 80 m. le R2 est considéré comme une zone de transition entre le Ra siliceux et le R3 argileux P= 10%. K= 205 mD.

IV.3 Réservoir Ra :

Il est le principal réservoir productif sur l'ensemble de champ. Il est caractérisé par des grès anisométrique moyens à micro conglomératiques. Le ciment est composé de kaolinites et d'illite en faible quantité et de micas. La silice secondaire varie d'un puits à l'autre et d'un secteur à un autre. Son épaisseur varie, suivant l'érosion, de 90 à 156m. Ses caractéristiques moyennes sont : $K=15 \text{ mD}$; $P=8\%$; les puits fissurés dépassent quelques Darcy.

IV.4 Réservoir Ri :

Il est caractérisé par un grès quartzites isométrique à passe, composé de siltes, et de tigillites avec des fissures et brèches du ciment illitique. ses caractéristiques pétro physique sont : $K= 1\text{mD}$; $P= 7\%$.

V. Problèmes rencontrés dans les différentes phases :

V.1 Phase 26'' :

Les risques particuliers dans la phase 26'' sont les suivants:

- * Mauvaise tenue des sables du Mio-Pliocène;
- * Risque de pertes dans les sables de surface.

V.2 Phase 16'' :

Les risques particuliers dans la phase 16'' sont les suivants:

- * Mauvaise tenue des parois du Mio-Pliocène
- * Risque de Pertes de boue dans les formations Carbonatées

V.3 Phase 12 1/4'' :

Les risques particuliers dans la phase 12 1/4'' sont les suivants:

- * Venues d'eau chlorurée calcique du LD2, déstabilisant par diffusion progressive et en particulier lors des arrêts de circulation.

- * Coincements au niveau des argiles fluentes du TS2.
- * Pertes de circulation en cours de tubage et de cimentation.

V.4 Phase 8 1/2'' :

Les risques particuliers dans la phase 8 1/2'' sont les suivants:

- * Risque d'accrochage au niveau des formations salifères et argileuses;
- * Risque de venue à partir de l'Horizon B (Eaux chlorurées calciques) ;
- * Risque de pertes en cas de pénétration dans le Trias Argilo Carbonaté.- instabilité des parois.
- * La résistance des tiges aux efforts de "torque & drag" ainsi que la force critique de flambage

V.5 Phase 6'' :

Les risques particuliers dans la phase 6'' sont les suivants:

- * risques de pertes dans les zones fissurées ou très perméables.
- * risques de venues de gaz, particulièrement à proximité de puits injecteurs de gaz.
- * risques de coincements par pression différentielle.
- * instabilité des parois.
- * risques de side track en reforge des sections à fort dog legs.

I. Introduction :

L'outil de forage est la pièce la moins volumineuse mais la plus importante pour réaliser un puits de forage. C'est le premier élément à s'attaquer aux terrains. Le choix d'un outil de forage dépend essentiellement de la nature des terrains à traverser. La facilité avec laquelle une roche est détruite dépend de nombreux paramètres :

- *La nature de la roche (dureté et abrasivité du minéral la constituant, etc.).
- *Les caractéristiques du milieu environnant (contraintes en place, diagenèse du sédiment, pression de formation, pendage de la couche, etc.).
- *La trajectoire du puits qui agit sur la répartition des contraintes dans la roche.
- *Les moyens utilisés pour réaliser le puits (type d'outil, d'usage de l'outil, type de boue, de BHA, de garniture, etc.).
- *Les paramètres appliqués pour détruire la roche (poids sur l'outil, vitesse de rotation, débit de forage, etc.).

Différents types d'outils sont utilisés :

- Ceux qui détruisent complètement la roche,
- Les couronnes qui permettent de prélever des carottes.

Les outils ont évolué au cours du temps pour répondre aux problèmes techniques du forage qui s'avèrent de plus en plus complexes.

II. Différents types des outils de forage : [9]

Ces outils se classent en deux catégories :

II.1 Outils à molettes :

Les outils tricônes sont constitués de trois cônes tournant de façon indépendante et montés sur trois bras réunis entre eux par soudure constituant le corps de l'outil. Plusieurs types de roulements sont utilisés (rouleau avec ou sans étanchéité, palier de friction, système de lubrification, etc). Ces outils travaillent principalement en compression.

Les éléments de coupe font partie de la molette; ce sont :

- Des dents usinées dans le cône,
- Des picots de carbure de tungstène emmanchés en force dans des perçages à la surface du cône.



Fig III.1 :
Outils à molettes (Tricône)

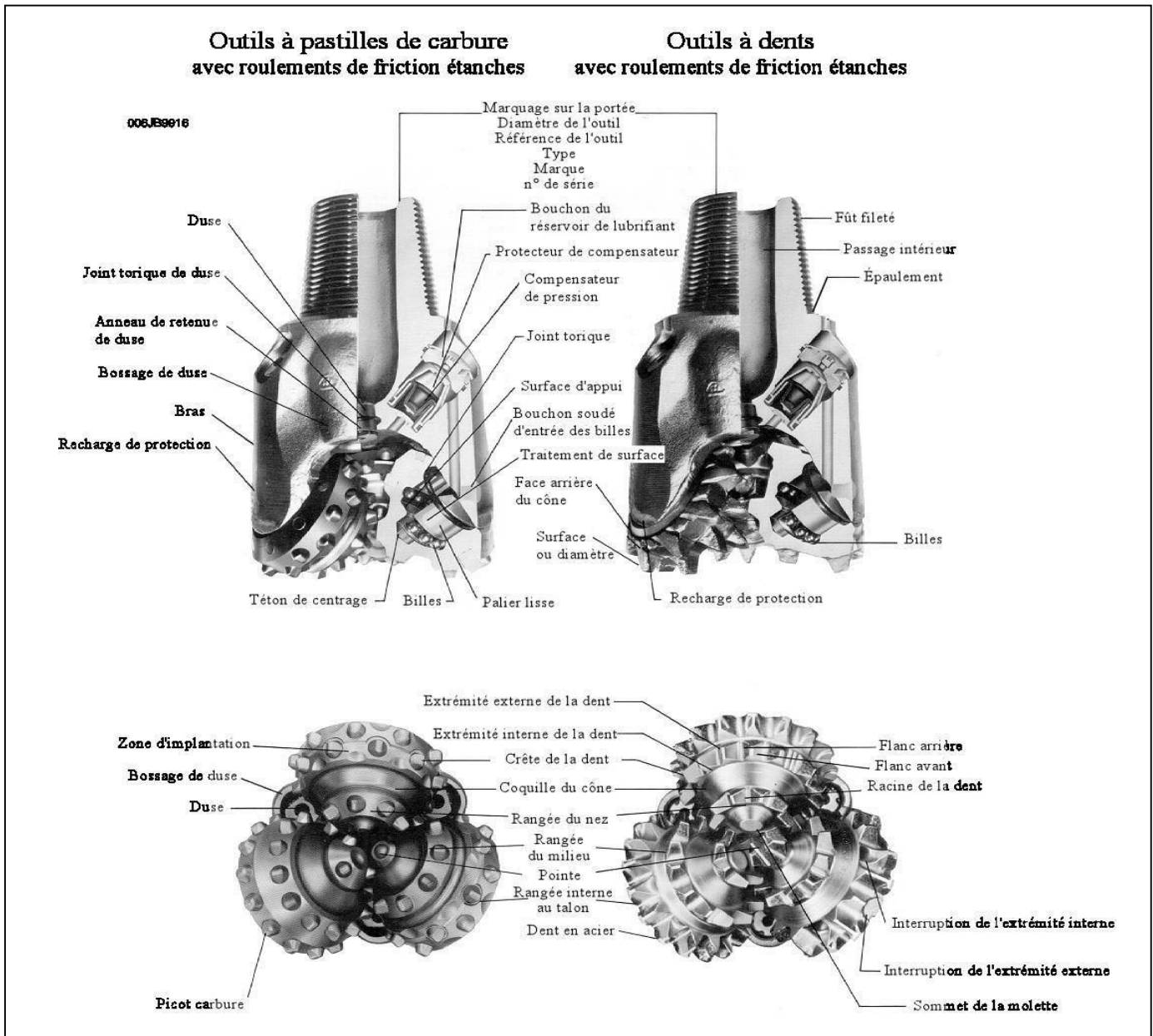


Fig III.2 : Nomenclature des différents éléments constituant un outil à molettes

II.1.1 Principe de fonctionnement des outils tricône :

Un tricône travaille par :

- Percussion et pénétration de la dent dans la formation, pour avoir un meilleur avancement il est donc logique plus le terrain est tendre, plus la dent devra être grande ;
 - Arrachage des "copeaux" de terrain par glissement de la molette sur elle-même.
- Il faut un décalage des rangées de dents sur chaque molette.

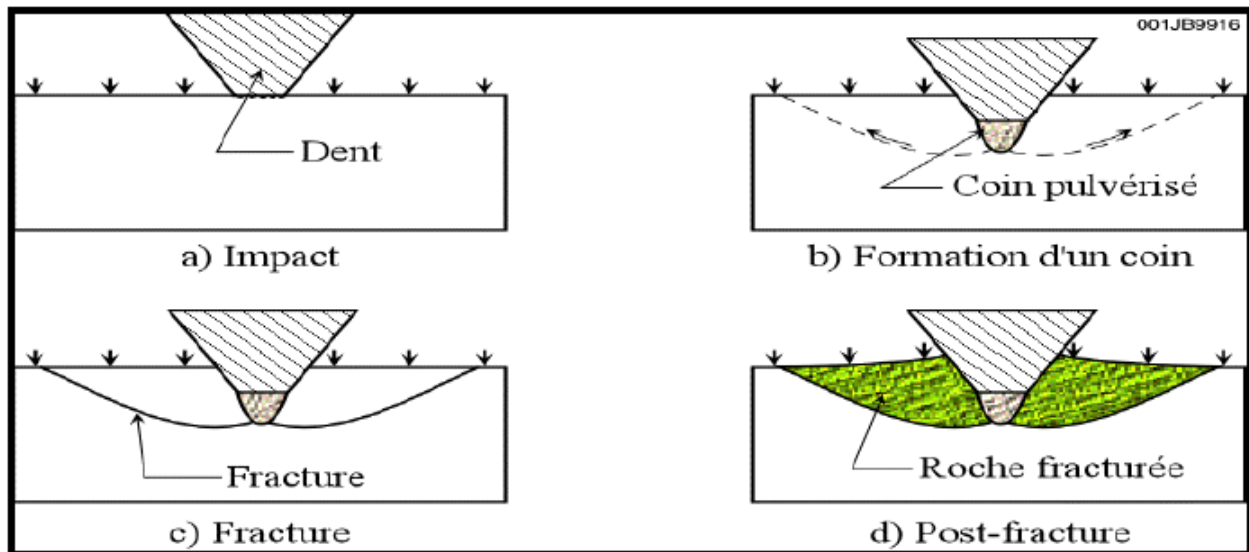
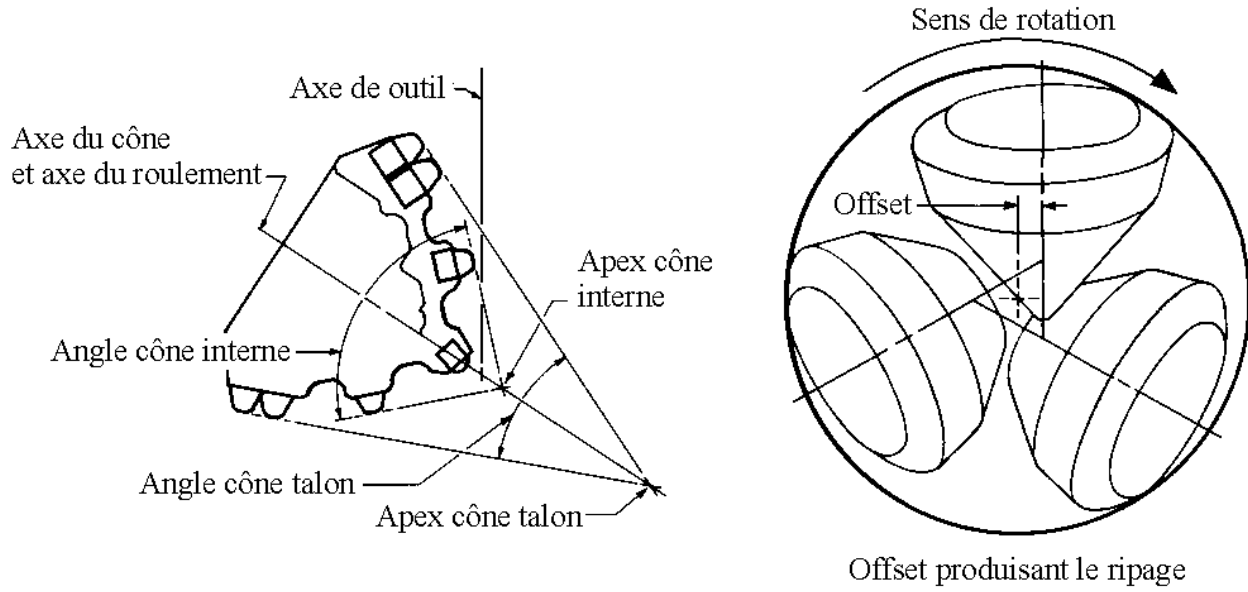


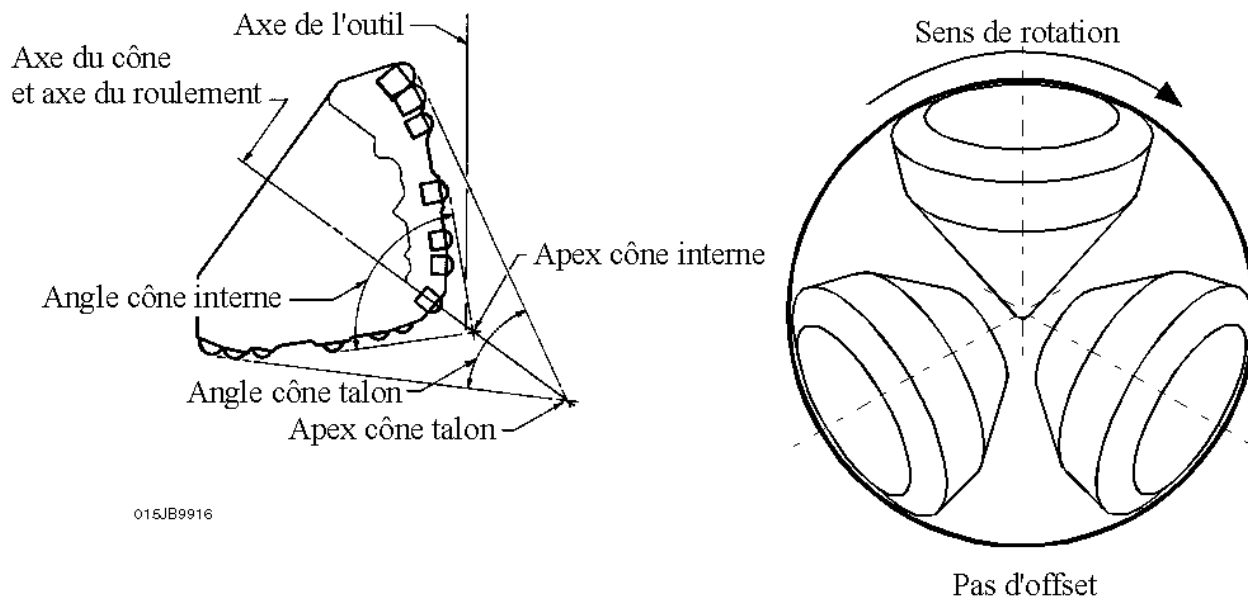
Fig III.3 : Mécanisme d'action d'un outil à molettes sur la roche

Pour obtenir l'effet de glissement ou "ripage" qui permet d'arracher les copeaux de terrain, l'axe de chaque molette est décalé et ne passe pas par l'axe de rotation de l'outil.

C'est ce qu'on appelle "l'offset". Il est d'autant plus grand que l'outil destiné aux terrains tendres, pour devenir nul pour les outils destinés aux terrains durs. Dans les terrains durs, l'arrachage de copeaux n'est plus possible et l'effet de glissement serait au nuisible aux dents de l'outil.



Arrangement pour formation tendre



Arrangement pour formation dure

Fig III.4 : Offset et inclinaison des cônes

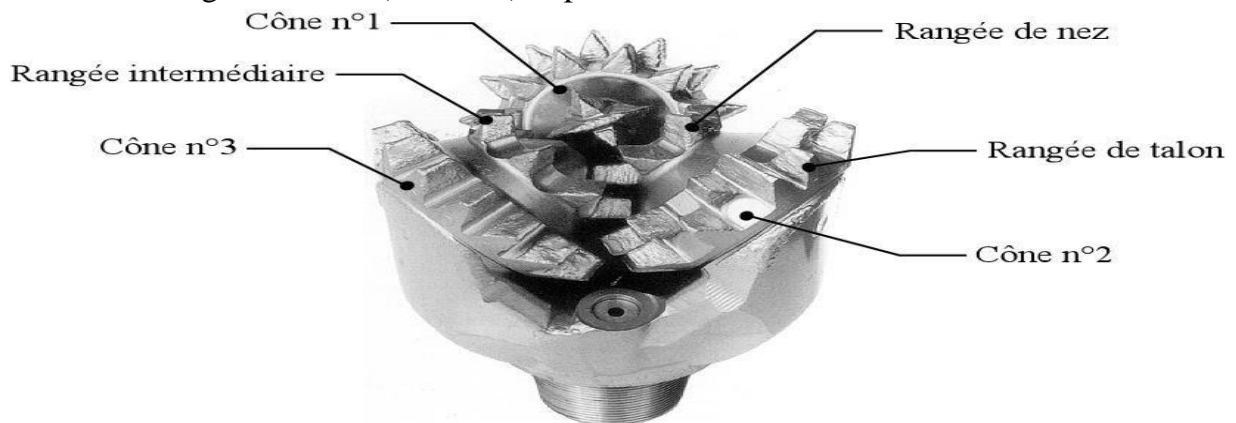
II.1.2 Structure de coupe :

Pour balayer entièrement le front de taille, les rangées de dents et / ou de picots sont décalées sur chaque molette.

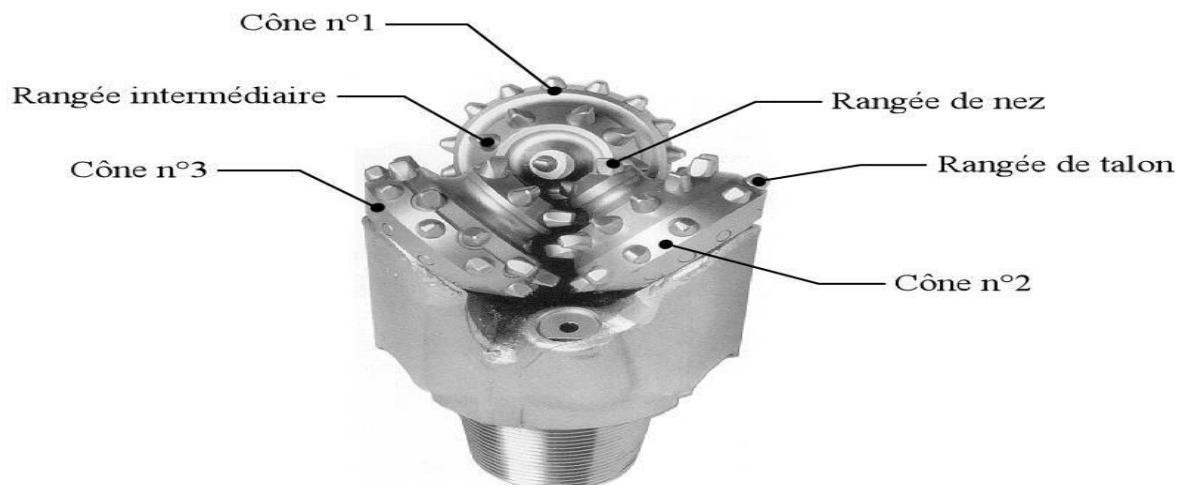
La répartition des éléments de coupe sur chaque cône est importante. Un bon arrangement permet d'améliorer le nettoyage de l'outil et de réduire les risques de bourrage.

Les structures de coupe sont réparties en plusieurs rangées :

1. La rangée de nez (nose row) la plus au centre de l'outil,
2. La rangée médiane (middle row),
3. La rangée de talon (heel row) la plus extérieure.



Outil à dents



Outil à picots

009JB9916

Fig III.5 : Numérotation des cônes et répartition les outils à molettes

II.1.3 Classification IADC des outils à molettes :

Le système de classification des outils à molettes comprend quatre caractères (Trois chiffres et une lettre) et permet de classer tous les outils tricônes à denture fraisée et à pastilles.

II.1.3 .1 Le premier caractère :

A-un chiffre de 1 à 3 : tricône à denture fraisée (terrains tendres).

B-un chiffre de 4 à 8 : tricône à pastilles (terrains durs).

- 1 : Terrains très tendres
- 2 : Terrains moyens tendres
- 3 : Terrains tendres
- 4 : Terrains très légèrement durs
- 5 : Terrains légèrement durs
- 6: Terrains moyens durs
- 7: Terrains durs
- 8 : Terrains très durs

II.1.3.2 Le second caractère : Un chiffre de 1 à 4 qui désigne la dureté de chaque groupe de formations. C'est une sous – classification de la dureté des formations dans chacune des 8 classes déterminées par le 1er chiffre.

II.1.3.3 Le troisième caractère :

Un chiffre de 1 à 9 qui désigne les caractéristiques du tricône.

II.1.3.4 Le quatrième caractère : une lettre de l'alphabet qui définit des caractéristiques additionnelles des outils tricônes.

II.2 Les outils à éléments de coupe fixes (outils diamante) : [10]

Ils ne possèdent pas de pièces tournantes, ce sont les outils monobloc. Des diamants naturels et de synthèse sont utilisés pour leur fabrication. Les outils à diamants naturels travaillent à la façon d'une lime tandis que les outils à diamants synthétiques travaillent à la façon d'un rabot.

II.2.1 Propriétés du diamant

Le diamant est une substance ayant des propriétés physiques remarquables :

* C'est la substance la plus dure (résistance à l'écrasement la plus élevée) que l'on connaisse. Le diamant est environ 10 fois plus dur que l'acier et 2 fois plus que le carbure de tungstène.

* C'est la substance la plus résistante à l'usure (environ 10 fois plus résistant que le carbure de tungstène).

* C'est la substance qui a le plus faible coefficient de friction ; le diamant est plus glissant que le Téflon.

* C'est le meilleur conducteur de chaleur.

* Son coefficient de dilatation est très faible ce qui pose problème lorsqu'il est associé à d'autres matériaux (voir stabilité thermique des PDC).

* Son point de fusion est élevé (3 650 °C), mais il se transforme superficiellement en graphite à partir de 1 300 °C et perd sa résistance mécanique.

* Le poids des diamants s'exprime en carats (1 carat = 0.20 g). Un diamant d'un carat a un diamètre d'environ 5 mm.

II.2.2 Types d'outils diamantés :

A. Le diamant naturel :

C'est une cristallisation du carbure de densité 3,52. Du point de vue chimique le diamant et le graphite sont identiques. Alors que du point de vue physique, ils sont totalement contradictoires. Le graphite est fragile, noir, faible, souvent utilisé comme lubrifiant.

Le diamant par contre est extrêmement dur meilleur conducteur thermique, hautement abrasif; la plupart du temps transparent, il est aussi un excellent isolant.

Tableau III.1 Caractéristiques principales du diamant naturel :

Caractéristiques	Unité	Diamant	PDC	Carbure tungstène	Acier
Dureté	Kg/mm ²	6000-9000	5000-8000	1475	558
Résistance à la compression	10 ³ psi	1260	890	780	238
Conductivité thermique (25°)	W/cm.° C	5.2	5.43	1.00	0.48
Densité	g/cm ³	3.52	3-3.25	14.95	785
Point de fusion	°C	3650	-	2860	1530
Résistance à l'écrasement	Bars	80000	-	50000	15000
Module de Young	10 ⁶ psi	105-152	132	92	29

Le diamant est le matériau le plus dur et a des caractéristiques supérieures parmi les matériaux que l'on connait. Pour cela, c'est l'élément essentiel dans l'outil de forage, qui résiste aux conditions de fond (haute température et haute pression)

A.1. Mode de destruction de la roche par diamant naturel :

Il agit par abrasion en creusant un sillon autant par fracturation que cisaillement, il laboure la roche (voir figure 3.2). L'effort d'écrasement a autant d'importance que l'effort tangent. Il sera nécessaire d'appliquer un poids et une vitesse de rotation relativement élevés pour forer.

Le handicap du diamant naturel est la faible dimension des pierres utilisées. La profondeur de l'entaille produite dans la roche est très faible (de l'ordre de 0.1 mm). Cela limite l'utilisation du diamant naturel aux terrains les plus durs et abrasifs. Les vitesses d'avancement obtenues seront donc relativement faibles (de 2 à 5 m/h).

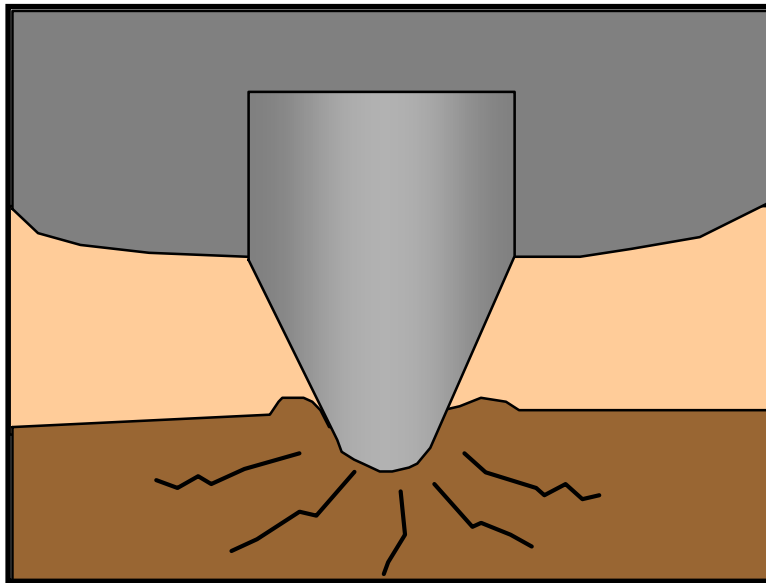


Fig III.6 : Action d'un outil à diamant naturel

B. Diamant synthétique :

On distingue ces deux produits poly cristallins :

- Le diamant synthétique basse température "**PDC**".
- Le diamant synthétique haute température "**TSP**".

B.1. Avantages de diamant synthétique au diamant naturel :

- Les deux produits (PDC, TSD) sont plus résistants à l'abrasion que les diamants naturels mais ils sont moins durs.
- La raison de l'énorme succès des pierres synthétiques et que le scientifique a la possibilité de fabriquer des diamants qui répondent exactement aux exigences des industriels.

*** Diamant synthétique basse température (PDC) :**

Le PDC se présente en général sous la forme d'une fine lamelle de diamant synthétique (épaisseur = 0.5 mm) avec des impuretés de Cobalt Nickel placé sur substrat de carbure de tungstène. Ces mélanges commencent à se détruire vers 7500 c.

* **Diamant synthétique haute température (TSP) :**

Le TSP (thermally stable diamond). Il se compose également de diamants de synthèse mais sans cobalt (il élimine à travers une acidification) et sans substrat de carbure, les TSP sont thermiquement stables jusqu'à 1200° c.

Il existe une autre génération de diamant synthétique, c'est une structure de coupe formée de PDC cutters protégés à l'arrière par TSD et /ou des diamants s'appelles **Quatrocut**.

B.2. Type des outils synthétiques :

B.2.I Les outils PDC : [11]

Les outils à pastilles de diamants poly cristallins existent soit avec corps acier, soit avec matrice. Les corps en acier sont usinés puis recouverts de carbure de tungstène pour limiter l'érosion. Les corps en matrice sont fabriqués à partir du même matériau au carbure de tungstène que les outils aux diamants naturels.

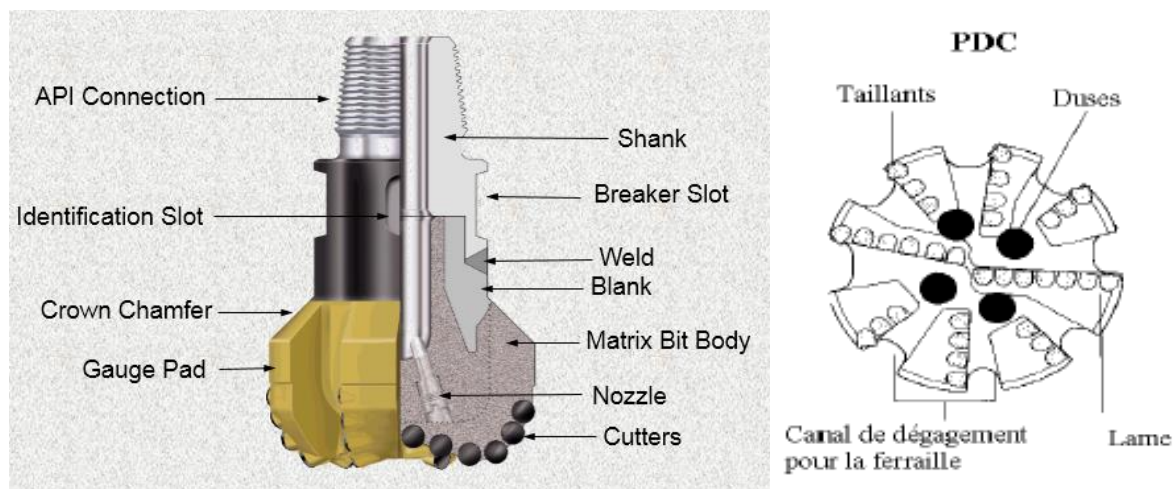


Fig III.7 : Les outils PDC

B-2-I.1. CORPS EN ACIER (Steel body):

Le corps est en acier monobloc obtenu par usinage. Ces outils ont des taillants PDC sertis directement dans le corps sans brasage. Le diamètre est protégé par des barres en carbure de tungstène sur toute la hauteur de la jupe extérieure. Pour réduire le

phénomène d'érosion du corps, la surface d'attaque de l'outil est protégée par une métallisation dure. Ce type d'outils offre la possibilité d'utiliser toute la surface du taillant, étant donné qu'il est entièrement exposé, et de remplacer les taillants après utilisation s'il n'y a pas eu érosion du corps. Par contre, les taillants ne peuvent pas supporter un torque important et se cassent à la base du corps.

*** Avantages de steel body :**

- possibilité de remplacer les cutters périscope après utilisation de l'outil si toute fois il n'y a pas eu érosion du corps.
- possibilité de pouvoir utiliser toute la surface du cutter étant donné que ce type de cutter est entièrement exposé.

*** Inconvénients du steel body :**

Une usure par "Wash out" très rapide du corps acier ce qui limite considérablement sa durée de vie. Cette durée de vie est directement proportionnelle à la quantité de solides de contenus dans la boue, toutefois cette usure par "Wash out" peut être réduite en apportant une métallisation dure sur la surface d'attaque de l'outil.

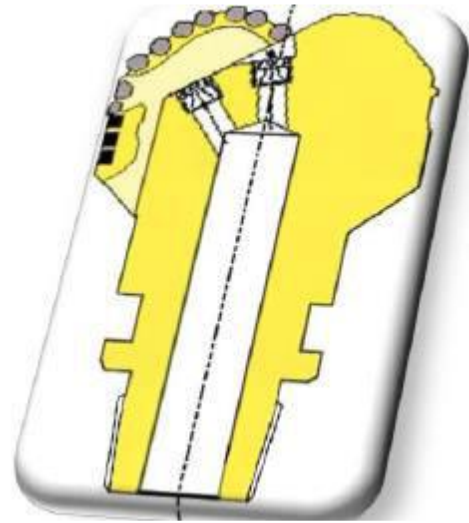


Fig III.8 : Outil PDC Steel body

B-2-.I.2 CORPS EN CARBURE DE TUNGSTENE (Matrix body) :

Le corps, en deux parties soudées, a une âme en acier et une matrice en carbure de tungstène. Ces outils ont des taillants cylindriques brasés directement dans un évidage dans le corps, qui, en plus, les protège contre les chocs. Ainsi, ils peuvent travailler avec des torques très importants.

*** Avantages du Matrix body :**

- La très haute résistance à l'abrasion du corps qui est en carbure de tungstène, ce qui donne une durée de vie toujours supérieure à la durée de vie cutter lui-même.
- L'évidage aménagé dans le corps de l'outil pour recevoir le cutter donné.

*** Inconvénients de Matrix body :**

- son prix qui est sensiblement plus élevé que le steel body.
- une fois utilisé, cet outil ne peut pas être réparé.
- toute la surface de cutter ne peut pas être utilisée du fait de sa position dans la matrice.



Fig III.9 : Outil PDC Matrix body

B-2.I.3 Mode de travail d'un outil PDC :

Les efforts appliqués sur le cutter :

- La force de coupe **F_c** (horizontal force),
- La force normale **F_n** (poids sur l'outil),
- La force latérale **F_L**.

Lorsque un cutter PDC coupe une roche à une profondeur de passe **h**, elle est soumise à un effort résultant **R**, dont la composante normale à la face de la pastille appelée effort de coupe **F_c** est responsable de la rupture de la roche par cisaillement. Cet effort résultant présente également une composante latérale **F_L**.

Les efforts latéraux de chaque pastille sont équilibrés entre eux de sorte que l'effort latéral est nul.

B-2.I.4 Principe de fonctionnement :

Le balayage du fond du trou est obtenu par le mouvement de rotation de l'outil autour de l'axe de forage.

Tous les points de l'outil PDC décrivent dans son mouvement des cercles concentriques, en particulier chacun des éléments de l'outil, qui est maintenu enfoncé dans la roche sous l'effet de la charge verticale, repousse dans ce mouvement de rotation un élément de roche, dont l'épaisseur est égale à la profondeur dont il s'est enfoncé, et à chaque instant il écrase un élément nouveau de roche vierge.

Si la vitesse de rotation de l'outil et la résistance de la roche sont uniformes, chaque élément d'outil, en contact avec le fond du trou, aura une trajectoire hélicoïdale dont le pas sera égal à l'avancement de l'outil par tour.

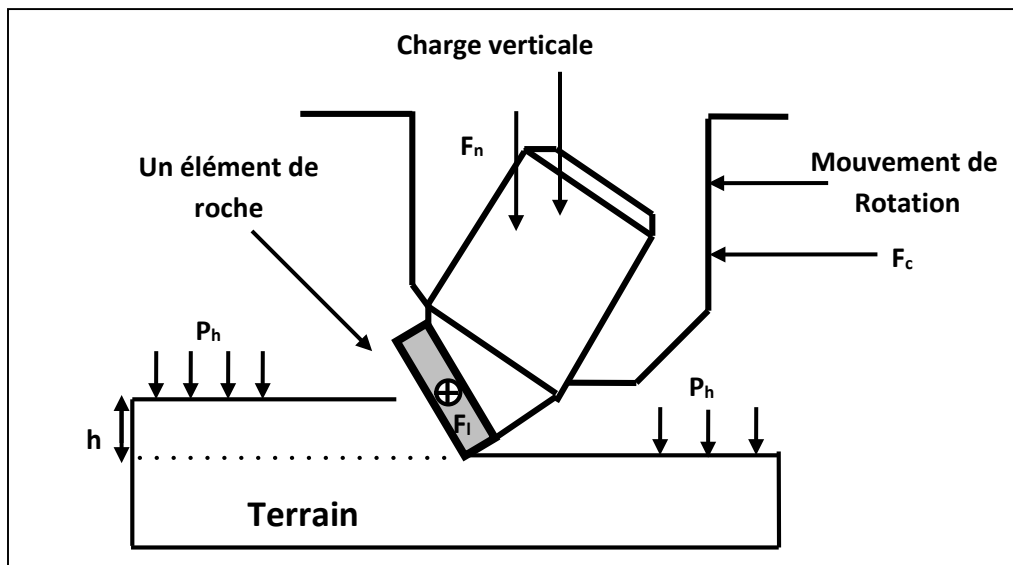


Fig III.10 : Principe de fonctionnement d'un outil PDC

B-2.I.5 Désignation d'un outil PDC :

On désigne un outil par :

- 1- Le corps de l'outil,
- 2- Le profil,
- 3- Densité des cutters,
- 4- Angles caractéristiques de parties,
- 5- Longueur utile (Ledge).

B-2.I.5.1 Corps de l'outil :

Actuellement, il existe deux types de corps d'outils.

- 1- Corps en acier (steel body),
- 2- Corps en carbure de tungstène (Matrix body).

B-2.I.5.2 Profil :

Il existe principalement trois types de profils :

- 1- profil plat ou avec un faible cône intérieur,
- 2- profil double cône (cône intérieur très prononcé),
- 3- profil parabolique.

1. Profil plat :

A utiliser en formation tendre (actuellement ces outils sont généralement des outils à lames qui ont un nombre de cutter limités).

2. Profil double cône :

Ce type de profil étudié généralement pour les formations plus dures, en effet ce a l'avantage d'augmenter le cutter. De plus l'usure des cutters est plus homogène pour les profils en pointe de cône que dans les autres types de profils.

3. Profil parabolique :

Ce profil a les mêmes caractéristiques que les profils double cône mais en plus il est plus facile de diriger avec un moteur de fond dans un puits dévié. Ce profil donne une grande surface sur laquelle un nombre important d'élément peut être fixé.

B-2.I.5.3 Densité des cutters :

Il est possible d'effectuer des mesurés qualitative de la performance d'un outil sur les différentes densités de distribution des cutters.

En général, lorsque la densité des cutters augmente, la vitesse de pénétration diminue. Si on augmente la densité des cutters d'un outil PDC, on réduit la charge effective par cutter.

$$\text{Contrainte Par Cutter (PSI)} = \frac{WOB_{total} / \text{nombre de Cutter}}{\text{La Surfacc de Coupe}}$$

Equat III.1

B-2.I.5.4 Angles caractéristiques des pastilles PDC :

On définit trois angles caractéristiques sur les pastilles PDC :

- 1- L'angle de coupe W_c (back rake angle).
- 2- L'angle de dépouille W_d (clearance angle).
- 3- L'angle lateral W_s (Side rake angle).

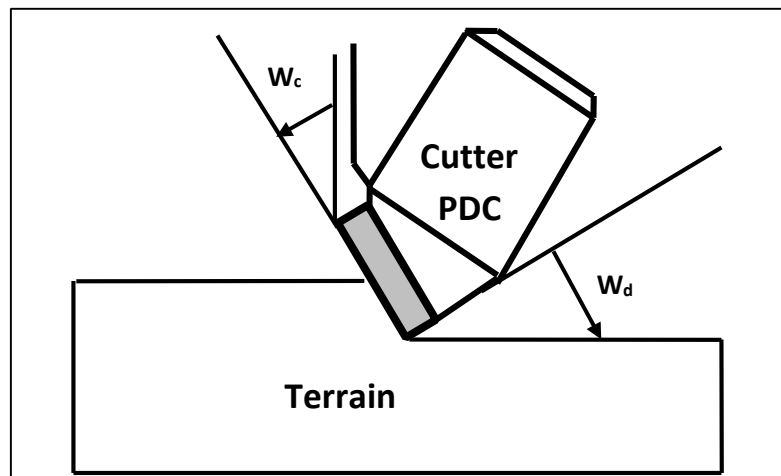


Fig III.11 : Angles caractéristiques d'un PDC

B-2.I.5.5 Longueur utile L_d :

La distance entre la matrice du trépan et le fond de la saignée creusée par le PDC est appelé "Longueur utile" (exposure).

Si L_d est la distance mesurée suivant la verticale entre la matrice du trépan et le centre de la pastille de diamètre D . Alors le rapport L_d/D est appelé L_{edge} .

Ces deux paramètres sont d'une importance capitale dans le système d'évacuation des copeaux et du nettoyage du puits et sur les efforts latéraux.

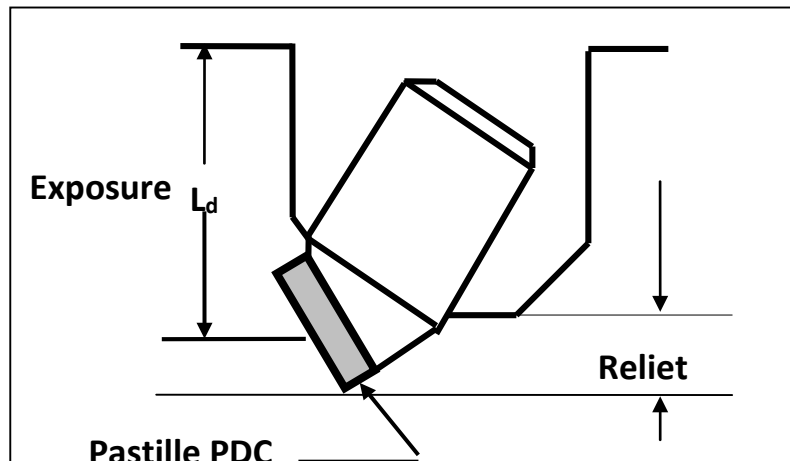


Fig III.12 : Longueur utile L_d

B.2.II. Les outils TSP : [12]

La plus récente nouveauté en matière d'outil diamant est l'utilisation de diamants poly cristallins thermiquement stable.

Contrairement au PDC, les TSP ont subi un traitement pour éliminer les éléments incompatibles d'un point de vue dilatation thermique, ils pourront donc supporter les températures de fabrication d'une matrice carbure. Leur forme triangulaire présente des arêtes agressives pour le cisaillement de la roche. Leur utilisation est souvent associée à l'action de diamants naturels.



Fig III.13 : Des outils TSP

B.2.II.1 Mode de travail d'un outil TSP :

Ce type d'outil travaille d'une façon optimale tant qu'il peut conserver son angle d'attaque. Par la suite, son usure augmente et sa surface de contact devient moins efficace.

Ayant une bonne stabilité thermique (environ 1200°C), ces outils sont utilisés dans des formations moyennement dures à dures à abrasivité faible.

Les taillants PDC de ces outils sont protégés à l'arrière par du TSD et/ou du diamant naturel, afin de ralentir et contrôler leur usure et permettre une dispersion plus rapide de la chaleur à l'arrière du taillant, empêchant ainsi d'atteindre des températures critiques dans la structure poly cristalline.

B.2.II.2. Classification IADC des outils diamants :

Un système de codification à quatre caractères permet de classer tous les outils diamants.

Le premier caractère : Type de diamants et de matrice :

- * **D** : outil à diamants naturels possédant une matrice en carbure de tungstène
- * **M** : outil PDC à matrice en carbure de tungstène ;
- * **S** : outil PDC à matrice en acier ;
- * **L** : outil TSP à matrice en carbure de tungstène ;
- * **O** : autres types d'outils qui seront développés dans le futur.

Le second caractère : Profil d'outils : les profil d'outils sont codifiés à l'aide de neuf chiffres de 1 à 9 qui représentent les formes usuelles des outils diamants

Le troisième caractère : Caractéristiques hydrauliques :

- * **R** : pour sortie radiale du fluide ;
- * **X** : pour sortie avec gorge centrale ;
- * **O** : pour les autres types de sortie du fluide.

Le quatrième caractère : Taille et densité des diamants : neuf chiffres (**1 à 9**) symbolisent le type, la taille et la densité des diamants. La taille des diamants naturels est basée sur le nombre de pierres par carat, alors que la taille des diamants synthétiques est basée sur la dimension du taillant. La densité de diamants donne une indication relative de leur nombre afin de distinguer les outils fortement chargés de ceux faiblement chargés.

B.2.II.2.1 Commentaires sur la classification IADC des outils à éléments de coupe fixes :

Cette classification n'est pas basée sur les caractéristiques des formations mais seulement sur celles des outils :

1. Habituellement, les petits éléments de coupes, les petits diamants sont utilisés pour les formations les plus dures pour lesquelles une bonne couverture de diamants est nécessaire.
2. Les plus grosses pierres sont généralement mises en place en laissant une plus grande surface exposée à la formation (2/5ème du diamètre de la pierre). Ainsi, elles peuvent couper, labourer les formations tendres qui pourraient boucher les petites pierres.
3. Les profils longs sont conçus pour augmenter le volume de diamants, pour des forages à vitesses de rotation élevées dans les formations abrasives.
4. Les profils courts avec une surface de nez importante sont plutôt faits pour des formations compactes et très dures ou des roches intercalées et fracturées.

En réalité, il est nécessaire de s'informer auprès du fournisseur pour déterminer les conditions d'utilisation et les spécificités d'un outil.

Il existe de nombreux paramètres qui influent sur les performances des outils de forage en site :

I. Vitesse d'avancement (ROP) [13] [14] [15]

La meilleure vitesse d'avancement est étroitement liée aux paramètres de forage dans le tableau suivants :

Tableau IV.1: Paramètre hydrauliques et mécanique

Paramètres mécaniques	Paramètres hydrauliques
<ol style="list-style-type: none"> 1. La vitesse de rotation (RPM) 2. Le poids sur l'outil (WOB) 3. Nature de formation 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Debit 2. Pression 3. Densité 4. Yield value

I.1 Paramètres mécaniques :

Les terrains traversés présentent une grande variété de dureté. Les avancements peuvent varier de 80 mètres/heure à quelques dizaines de centimètres par heure. Il est évident que pour détruire des roches ayant de telles différences de forabilité, on utilisera des outils qui travaillent selon des principes différents.

I.2 Poids sur l'outil :

Contrairement aux puits verticaux où appliquer du poids sur l'outil n'est pas un problème, dans les puits horizontaux, spécialement ceux à grands déports, la quantité de

poids réellement appliquée sur l'outil est très faible.

A mesure que l'inclinaison et le déplacement latéral augmentent, le couple et le frottement ne permettent plus que la transmission à l'outil d'un poids de plus en plus faibles. Il en résulte une vitesse d'avancement faible, et éventuellement la fin du forage si le poids à l'outil devient insuffisant pour détruire la roche.

A) Outil à tête fixe :

Les outils PDC/diamant requièrent généralement moins de poids que les tricônes. Les outils à tête fixe présentant une structure de coupe et donc une plus grande pénétration dans la formation.

B) Outil tricône :

Les outils tricônes capables de forer avec des WOB faibles ont peu de dents et un offset importante des molettes.

I.3 Vitesse de rotation de l'outil :

Dans la vaste majorité des cas, on utilise des moteurs de fond pour le forage des puits horizontaux. Par conséquent la vitesse de rotation des outils dans ces puits est différente de la gamme des vitesses classiques.

Selon le type de moteur de fond et diamètre forage, la vitesse de l'outil pourra varier de 100 à 500 rpm avec un PDM, et de 300 à 1500 rpm avec une turbine de déviation.

A) Outil à tête fixe :

Les outils à tête fixe (PDC, diamant) conviennent parfaitement au forage de longue section avec une vitesse d'avancement élevée. La structure de coupe, le profil et la protection du diamètre doivent être sélectionnés en vue de bon parcours avec des moteurs. Eventuellement structure de coupe et gauge protection seront modifiés afin d'augmenter la longévité et la résistance à l'abrasion. Ces outils ont l'avantage de n'avoir aucune partie mobile, ce qui contribue à leur fiabilité et réduit grandement les risques de destruction dans le trou qui pourrait conduire à un repêchage coûteux.

B) Outil Tricône :

Les outils tricônes offrent une bonne performance et un bon contrôle directionnel et ils peuvent être également utilisés à des vitesses de rotation élevées (jusqu'à 450 rpm) avec succès.

I.4 Paramètres hydrauliques :

A) Débit : La vitesse d'avancement croît en proportion directe avec le poids que l'on applique sur l'outil ; pour un débit donné, si on augmente progressivement le poids sur l'outil, il peut arriver un moment où l'avancement ne croît plus proportionnellement au poids et peut même diminuer si on continue à augmenter le poids. Ce phénomène à partir duquel il n'y a plus proportionnalité directe entre avancement et poids est appelé balling up ou point de bourrage de l'outil. Au-delà de ce point le débit n'est plus suffisant pour évacuer la totalité des déblais au fur et à mesure qu'ils sont produits par les dents de l'outil et une partie du poids mis sur l'outil est supportée par les déblais.

On peut retarder l'apparition du balling up en augmentant la vitesse aux duses, ce qui permet un meilleur nettoyage du front de taille. Le débit a donc une influence sur l'avancement mais jusqu'à une certaine valeur limite au-delà de laquelle il n'améliore plus l'avancement et risque au contraire d'être nuisible par la formation de caves (turbulence au niveau des tool joints et des masses-tiges), l'érosion au droit des masse-tiges où la vitesse de la boue est d'autant plus élevée que l'on emploie des masse-tiges surdimensionnées.

Le débit est calculé en fonction de la vitesse de remontée des déblais. Cette vitesse est plus grande en terrain tendre qu'en terrain dur. Quelques-uns préfèrent utiliser des débits moins importants mais forcent par contre sur la vitesse aux duses. Le fait de vouloir retarder l'apparition du balling up ne doit pourtant pas amener à utiliser un débit tel que :

- en terrain tendre il y ait risque de formation de caves,
- en terrain mal consolidé, érosion des parois,
- augmentation des pertes de charges dans l'annulaire produisant au niveau de l'outil le même effet qu'une augmentation de densité, d'où diminution de l'avancement, et provoquant des pertes de circulation.

B) Influence de la densité : Des essais en laboratoires ont confirmés ce que tout foreur a eu l'occasion d'expérimenter lui-même : l'augmentation de la densité ralentit l'avancement.

On conçoit très bien que la roche soit plus difficile à détruire quand la pression hydrostatique agissant sur elle augmente.

Cette influence peut s'interpréter à travers la courbe ci-dessous qui représente la variation de la vitesse de pénétration V en fonction de la pression différentielle ΔP dans le cas des argiles (d'après W.C. Maurer),

- V_0 : vitesse que l'on aurait avec un ΔP nul ;
- ΔP : différence entre les pressions fond de puits et formation.

La pression de fond étant la somme de la pression hydrostatique et des pertes de charge annulaires.

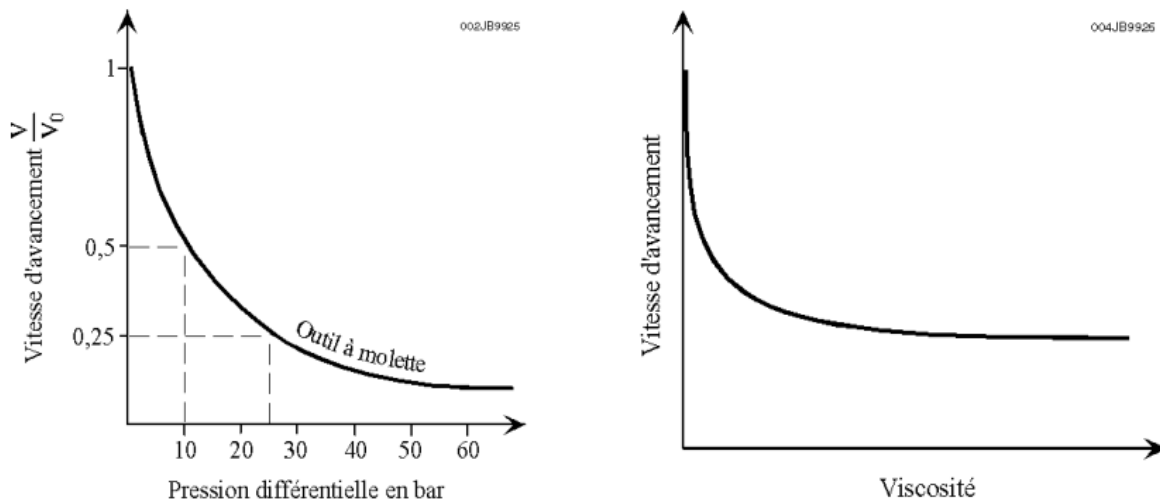


Fig. IV.1 Influence de la Densité et la viscosité sur La Vitesse d'avancement

C) Influence de la viscosité :

Des essais ont mis en évidence l'influence néfaste de la viscosité sur la vitesse d'avancement. Il est assez logique de penser que plus un liquide est visqueux plus il a des difficultés à pénétrer dans les porosités ou les petites fractures produites par l'outil et aider à la destruction de la formation.

La courbe ci-dessus met en évidence cette influence.

D) Influence du pourcentage d'huile dans la boue :

L'expérience a montré que l'huile ajoutée à la boue augmente la vitesse d'avancement. De plus, la lubrification par l'huile prolonge la durée de vie des roulements de l'outil.

E) Influence du pourcentage de solides dans la boue :

L'augmentation du pourcentage en solide dans la boue diminue la vitesse d'avancement et la vie de l'outil. Il est nécessaire de faire des traitements mécaniques corrects de la boue pour évacuer les solides.

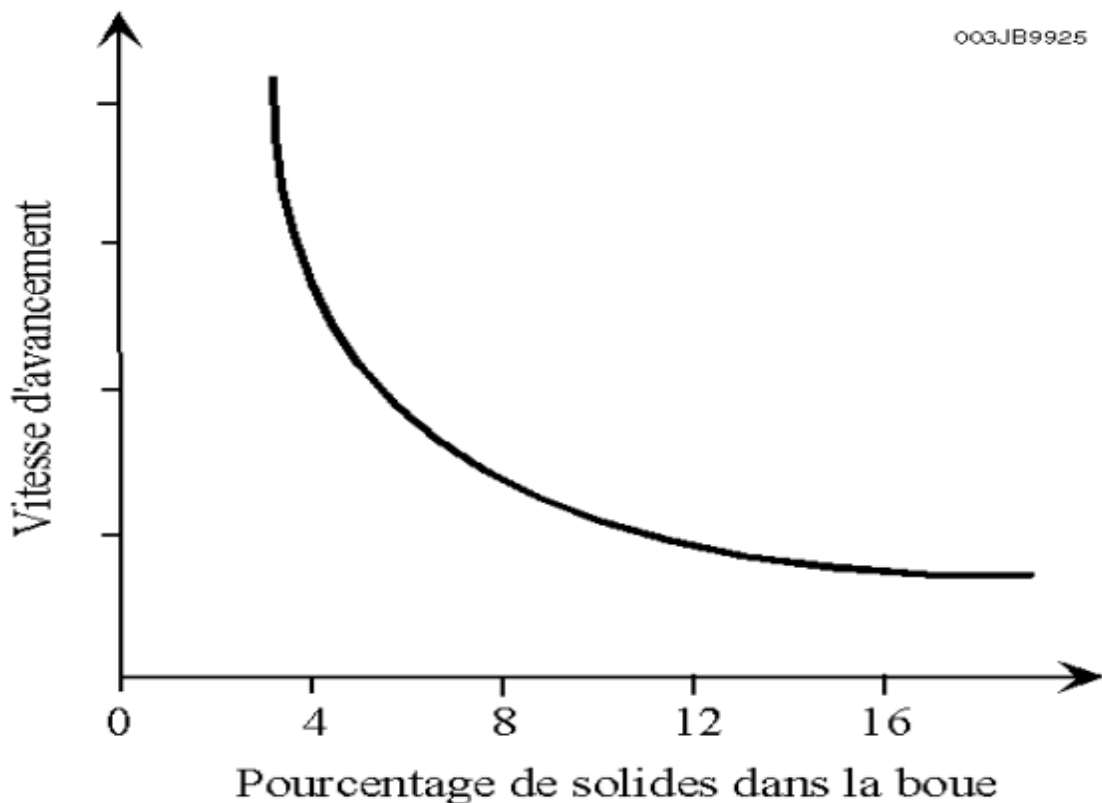


Fig IV.2 Influence du pourcentage de solides dans la boue sur ROP

II. Prix de mètre foré :

Le prix de revient du mètre foré est un critère utilisé pour déterminer à quel moment il est le plus économique de remonter l'outil, mais il permet également de comparer les performances de différents outils et de déterminer, pour un type d'outil donné, les performances qu'il doit réaliser pour être compétitif.

$$P_m = \frac{P_o + P_h(T_m + T_f)}{M} \dots\dots\dots \text{Equat III.1}$$

P_o : est le prix de l'outil

P_h : est le prix de l'heure de l'appareil

T_m : est le temps de manœuvre nécessaire pour descendre et remonter l'outil dont **T_m** Intervalle foré OUT (m)/4 00

T_f : est le temps de rotation de l'outil pour effectuer le métrage **M**.

II.1 Avancement commercial :

Considérons l'inverse du prix du mètre, tel qu'il vient d'être défini :

$$\frac{1}{P_m} = \frac{M}{P_o + P_h(T_m + T_f)} \dots\dots\dots \text{Equat III.2}$$

Chaque terme de cette égalité par le prix de l'heure de sonde $h P$ qui est constant, il vient :

$$\frac{P_h}{P_m} = \frac{M}{\frac{P_o}{P_h} + (T_m + T_f)} \dots\dots\dots \text{Equat III.3}$$

Cette valeur est inversement proportionnelle au prix du mètre, qui sera minimal lorsque l'avancement commercial sera maximal.

II.2 Application :

Le poids et la vitesse de rotation permettant d'obtenir d'un outil le prix minimal ayant été calculé, ces paramètres devront être appliqués rigoureusement sur le chantier dans la mesure où les conditions rencontrées dans le forage le permettent.

Traçons sur un diagramme la courbe représentant l'avancement cumulé en fonction du temps de rotation (voir figure). Sur ce diagramme, en abscisse négative, portons un segment OA égal au temps de manœuvre et un segment AB égal au prix de l'outil divisé par le prix de l'heure de l'appareil de forage : $\frac{P_o}{P_h}$ (prix de l'outil en heure de sonde). Après un temps de rotation OT, l'outil a effectué un métrage M représenté par le point m sur la courbe. La pente de la droite Bm représente l'avancement commercial de l'outil. En effet, nous avons :

$$Bm = \frac{Tm}{BA + AO + OT} \dots\dots\dots \text{Equat III.3}$$

Que l'on peut écrire: $B_m = \frac{M}{\frac{P_o}{P_h} + T_m + T_f}$ Equat III.4 Ce qui est bien l'avancement commercial de l'outil.

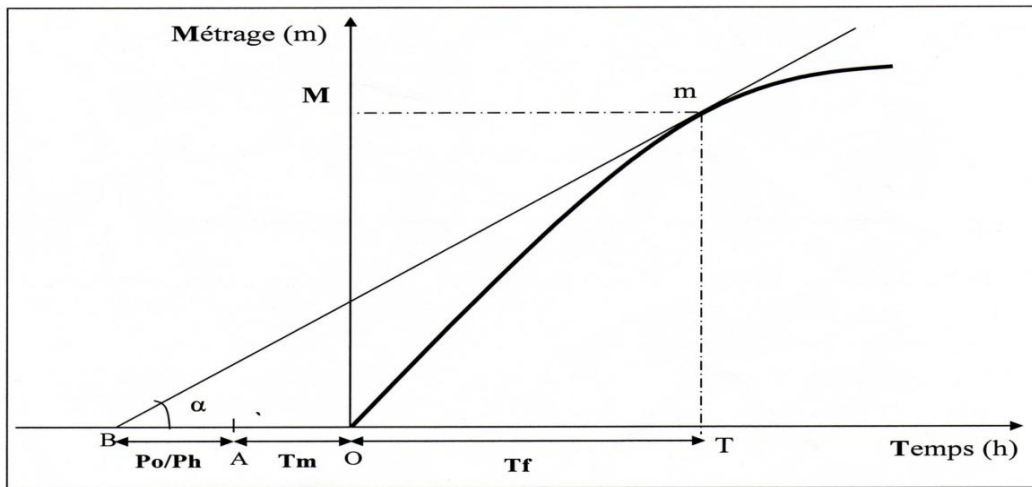


Fig IV.3 Courbe d'avancement de l'outil

Par conséquent, le prix du mètre sera minimal ou l'avancement commercial maximal lorsque la pente de la droite Bm sera maximale, c'est-à-dire lorsque cette droite sera tangente à la courbe d'avancement.

III. Codification Des Outils :[16]

Codification de l'outil ALDIM :

D	P	9	13	W
----------	----------	----------	-----------	----------

- **D**: Lames droites
- **P** : Outil PDC
- **9** : Nombre de lames (09 lames)
- **13** : Diamètre des PDC (13 mm)
- **W** : Corps en matrice (Matrix body)

LAMES :

D – droite
S – spiralée

TYPE PRODUIT : P – PDC

I – imprégné

NOMBRE DE LAMES :

5 – cinq lames 9 – neuf lames
6 – six lames 0 – dix lames
7 – sept lames 1 – onze lames
8 – huit lames 2 – douze lames

DIAMETRE DES PDC :

*08 – 8 mm	*16 – 16 mm
*10 - 10 mm	*19 – 19 mm
*13 – 13 mm	*25 – 25 mm

CORPS : A - tête acier

W – tête matrix

QUALITE DU LIANT (dans le cas de l'imprégné)

01 – liant dur

02 – liant moyen

03 – liant tendre

Exemple : **SP619A** \varnothing 12'' $\frac{1}{4}$ (c'est l'outil qui est déjà proposé à Sonatrach – Direction

Opérations de Forage) :

- **S** : Lames spiralées

- **P** : Outil PDC

- **6** : Nombre de lames (06 lames)

- **19** : Diamètre des PDC

- **A** : Corps de l'outil en acier

Outil PDC à tête d'acier (steel body) avec 6 lames spiralées et cutters de 19 mm



Fig IV.4 Un Outil SP619A

IV. Critères de remontée de l'outil :

La décision de remonter un outil ne doit pas être arbitraire ; les critères sont :

- la chute de la vitesse d'avancement qui peut être due à une usure des éléments de coupe ou à un bourrage de l'outil (la chute d'avancement peut s'accompagner d'une augmentation de la pression de refoulement lorsqu'il y a bourrage) ;
- l'augmentation du couple de rotation qui peut être progressive ou au contraire brutale (coup de torque) ;
- le nombre d'heures de rotation ;
- le prix de revient du mètre foré.

Remarque :

Avec ces différents critères, l'outil remonté ne sera pas nécessairement utilisé.

Le prix de revient du mètre foré est un critère utilisé pour déterminer à quel moment il est le plus économique de remonter l'outil, mais il permet également de comparer les performances de différents outils et de déterminer pour un type d'outil donné, les performances qu'il doit réaliser pour être compétitif.

I. Introduction :

Ce chapitre a pour objectif d'étudier les performances de différents outils de forage utilisés dans la phase 12 ¼'' de champ de HMD, par conséquent une étude détaillée sur le choix judicieux de l'outil de forage doit être fait. A cet effet il faut :

- **Réduire le temps de forage**
- **Optimiser la vitesse d'avancement (ROP optimal)**
- **Améliorer le nettoyage de fond du puits**
- **Minimiser le prix de revient au mètre foré**

Le but de cette sélection est de choisir l'outil qui donnera le prix de revient du mètre foré le plus faible tout en tenant compte des corrections de trajectoire et des passes de reforage ou d'alésage induites par l'outil. Des critères techniques et économiques vont donc intervenir dans cette sélection.

En raison de la grande variété de formations à fore, de la relative méconnaissance des caractéristiques de ces formations, des nombreux types d'outils disponibles sur le marché, de la rapide évolution de la technologie des outils et des coûts très différents des opérations de forage, il est relativement difficile de choisir l'outil le mieux adapté, c'est-à-dire donnant le prix de revient du mètre foré le plus faible.

Quelle que soit la puissance disponible d'un appareil de forage (pour la rotation, l'énergie hydraulique, etc.), seul le type de l'outil choisi fera que cette puissance sera utilisée avec le maximum d'efficacité ou non.

II. Choix de l'outil par la méthode de Break Even :

Avant de décider de l'usage d'un nouvel outil de forage, il est nécessaire de faire une étude économique pour déterminer la performance qu'il faut atteindre, en vue d'améliorer le prix de revient au mètre foré, par rapport à l'outil que l'on connaît. On va utiliser pour le calcul la méthode de break even

C'est une méthode qui permet d'évaluer la rentabilité d'un ou plusieurs outils par rapport à un ou plusieurs autres outils dont la performance est connue. Elle est particulièrement intéressante sur site, en cours de forage, où il est possible à chaque instant d'avoir une idée de la rentabilité de l'outil qui est entraîné de forée.

Principe :

La formule couramment employée pour calculer le prix d'un mètre foré par un outil est la suivante :

$$P_m = \frac{P_o + P_h (T_m + T_f)}{M} \dots\dots\dots \text{Equat V.1}$$

Avec :

P_m = prix du mètre foré ;

P_o = prix de l'outil ;

P_h = prix horaire de l'appareil ;

T_f = temps de forage ;

T_m = temps de manœuvre (descente et remontée) ;

M = longueur forée.

Cette formule ne tient pas compte de certains facteurs qui peuvent influencer sur le prix du mètre foré (traitement de la boue, modification de la BHA, etc...), néanmoins elle donne des chiffres très proches des valeurs exactes. Le cas le plus simple est de comparer deux outils, descendus à la même profondeur, dans des formations identiques, sur deux puits voisins.

Le premier outil A a effectué une performance, dont tous les éléments sont connus. Quelle devra être celle d'un second outil B pour que celui-ci soit plus économique ?

L'outil B sera plus rentable que l'outil A dès lors que $P_{mB} < P_{mA}$.

Pour B, le seuil de rentabilité sera atteint lorsque $P_{mB} = P_{mA}$, donc :

$$P_{mA} = \frac{P_{oB} + P_h(T_{mB} + T_{fB})}{M_B} \Leftrightarrow M_B = \frac{P_{oB} + P_h(T_{mB} + T_{fB})}{P_{mA}}$$

$$\Rightarrow M_B = \frac{P_h}{P_{mA}} T_{fB} + \frac{(P_{oB} + P_h T_{mB})}{P_{mA}} \dots\dots\dots \text{Equat V.2}$$

Il s'agit ici d'une équation du type $Y = a \times X + b$,

Avec : $Y = M_B$: longueur forée par l'outil B au seuil de rentabilité.

$$a = \frac{P_h}{P_{mA}} \dots\dots \text{Equat V.3}$$

$X = T_f$: temps du forage de l'outil B au seuil de rentabilité.

$$b = \frac{P_{oB} + P_h T_{mB}}{P_{mA}} \dots\dots\dots \text{Equat V.4}$$

Dans un repère cartésien où figurent en ordonnée la longueur forée (M) et en abscisse le temps de forage (T_f), le seuil de rentabilité d'un outil par rapport à un autre est donc une droite.

Pour définir une droite, deux points suffisent :

Point X : $Y = 0 \Rightarrow X = -b/a = -\frac{P_{oB} + P_h T_{mB}}{P_h} \dots\dots\dots \text{Equat V.5}$

Point Y : $X = 0 \Rightarrow Y = b = \frac{P_{oB} + P_h T_{mB}}{P_{mA}} \dots\dots\dots \text{Equat V.6}$

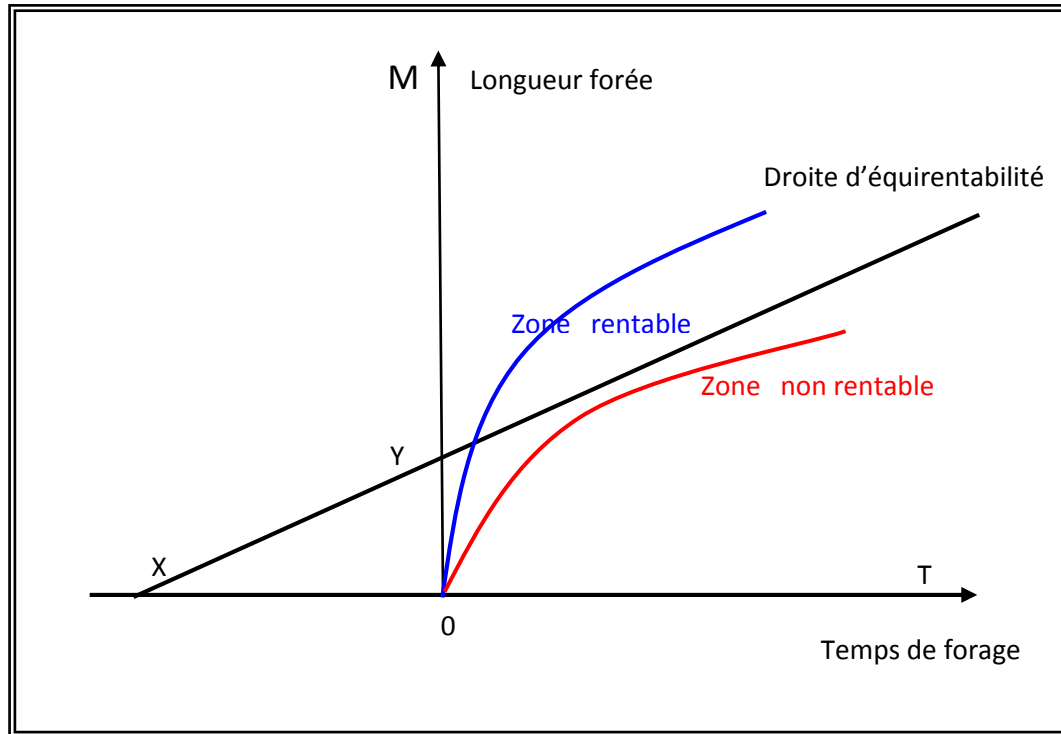


Fig V.1 Courbe de rentabilité

Conclusion :

Chaque point de la droite (XY) représente une performance à réaliser par l'outil B pour que son coût au mètre foré soit égal au coût du mètre foré par l'outil A.

L'ensemble des points du graphe, situés au-dessus de la droite (XY) représente les performances à réaliser par l'outil B pour que son coût du mètre soit inférieur à celui de l'outil A. Ceux situés sous la droite (XY) représentent l'ensemble des performances pour lesquelles l'outil B ne sera pas rentable par rapport à l'outil de référence.

Résumé de la méthode

Dans un repère cartésien portant en abscisse le temps de forage et en ordonnée la longueur forée, il faut tracer la droite qui représente l'ensemble des performances que doivent réaliser le ou les outils à évaluer, pour être au minimum rentables par rapport à l'outil ou aux outils de référence. Cette droite sépare le plan en deux portions. La partie supérieure représente l'ensemble des performances économiques, et la partie inférieure l'ensemble des performances non-économiques. Elle coupe les axes en deux points X et Y.

III. Résultats pratiques (Etude statistique) :

Le but de cette sélection est de choisir l'outil qui donnera le prix de revient du mètre foré le plus faible et le meilleur ROP. Des critères techniques et économiques vont donc intervenir dans cette sélection, des résultats sont représentés dans les tableaux suivants :

Tableau V.1 : Prix / mètre des outils PDC dans la phase 121/4" de champ HMD (société ENSP Aldim)

Outil	Fabricant	Puits	Intervalle forée		M(m)	ROP (m/h)	Tf(h)	Tm(h)	P _h (\$/h)	Po(\$)	P _m (\$/m)
			de	à							
SP619A	ALDIM	OMKZ421	2247	3308	1061	22.65	49.53	8.27	1500	35600	115.268
		MD639	2436	3302	866	15.35	56.42	8.25	1500	35600	153.123
		MD640	2465	3338	873	9.79	87.52	8.34	1500	35600	205.486
		MD638	2468	3236	768	18.62	41.21	8.09	1500	35600	142.643
		MD652	2376	3265	898	17.72	50.18	8.16	1500	35600	137.093
		MD648	2287	3341	1054	20.33	51.84	7.86	1500	35600	118.738
		ONMZ27	2313	3153	840	18.13	46.33	8.03	1500	35600	139.452
		MDZ574	2335	3075	740	19.28	38.38	7.68	1500	35600	141.472
SPH639	ALDIM	OL5	2488	3370	882	22.09	39.93	8.43	1500	35600	122.607
		OML16	2306	3283	977	22.51	43.4	8.21	1500	35600	115.675
		MD601	2315	3005	690	22.26	31	7.52	1500	35600	135.333
		OMKZ32	2315	3005	690	16.26	42.43	7.51	1500	35600	160.159
SP610	ALDIM	ONM413	2284	3320	1036	9.14	113.29	8.3	1500	35600	210.410
ROP _{moy} (m/h)	18.01										
P _m moy(\$)	145.958										
Moy forée	875 m										

III.1.1 Analyse des résultats ALDIM (ENSP) :

D'après les résultats de la figure ci dessous et le calcul de prix de mètres forés pour différents outils PDC présentes dans le tableau 1 utilisés dans plusieurs puits déjà forés dans la phase 12 1/4" on a trouvé que :

- Rate of Pénétration (ROP): 9, 14 à 22, 65 (m/hr). avec un Rop moyen de **18.01 (m/h)**
- Mètres forés M : 690 à 1061 (m). M moyen **875 (m)**
- Prix de Mètre fore (Pm) 115, 269 à 210,410 (\$/m). (Pm) moyen **145.958 (\$/m)**

- Meilleur outil SP619A dans le puits OMKZ421 qui donne un prix de mètre foré de 115.268 \$/m (ROP=22.65m/h).
- L’outil le moins rentable est SP610 dans le puits ONM413 avec un prix de mètre foré de 210.41\$/m (ROP=9.14m/h).



Fig V.2 Comparaisons des Pm et ROP entre les outils PDC (ALDIM)

III.1.2 Commentaires sur les Performances de meilleur outil ALDIM (ENSP) :

L'outil SP619A utilisé dans la phase 12¼ donne une bonne performance dans le puits OMKZ421 foré 1061 m en 49.53 (h) de point de vue avancement (ROP=22,65m/hr). Ce qui engendre une réduction du prix du métrage foré (Pm=115,269\$/m).

Tableau V.2 : Prix / mètre des outils PDC dans la phase 12^{1/4}" du champ HMD HYCALOG (NOV)

Outil	Fabricant	Puits	Intervalle forée		M(m)	ROP (m/h)	Tf(h)	Tm(h)	Ph (\$/h)	Po(\$)	Pm (\$/m)	
			de	à								
DS619M-E11	HYCALOG (NOV)	MDZ565	2375	3269	894	19,57	45,68	8,17	1500	35000	129,502	
DSX619-ME11		OML813	2400	3209	809	21,07	38,39	8,02	1500	35000	129,313	
DS134HGNW		ONMZ201	2276	3160	884	18,35	48,18	7,9	1500	35000	134,751	
HCM-408		MDZ598	2400	2679	279	7,82	35,67	6,69	1500	35000	353,189	
DSX813M-9		OMLZ562	2477	2788	311	22,8	13,64	6,87	1500	35000	211,463	
RR-DSX813M-E9		OMLZ672	2432	2740	308	27,48	11,2	6,85	1500	35000	201,542	
HCM408		OMLZ872	2363	2559	196	3,3	59,8	6,39	1500	35000	685,127	
SE3843		OMLZ78	2434	2741	307	5,7	53,8	6,85	1500	35000	410,342	
RR-DSX813S		OMLZ573	2376	2648	272	6,99	38,9	6,62	1500	35000	379,705	
DSX813S		ONLZ312	2990	3301	311	6,64	46,83	8,25	1500	35000	378,199	
ROPmoy (m/h)		13,972										
Pm moy (\$/m)		301,313										
Moy foré (m)	457,1											

III.2.1 Analyse des résultats HYCALOG (NOV) :

- Rate of pénétration ROP : varie entre 3,3 et 27, 48 (m/hr) avec un Rop moy de **13,97(m/h)**.
- Mètres forés M : varie entre 196 et 894 (m), avec une moy **457,1 (m)**.
- Prix de Mètre foré (Pm) varie entre 129,319 et 685,185 (\$/m), avec un (Pm) moy de **301,375 (\$/m)**.
- Meilleur outil DSX619-ME11 dans le puits OML813

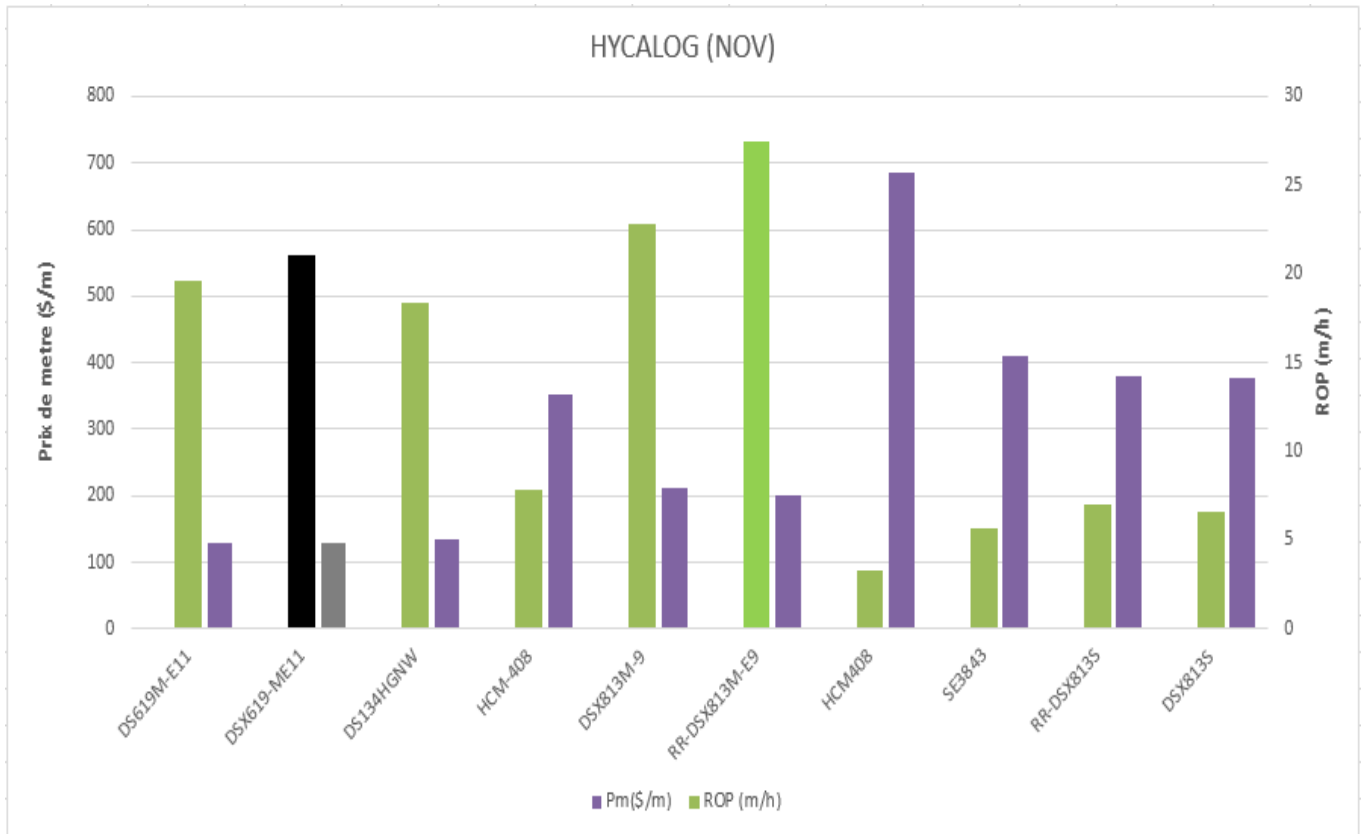


Fig V.3 Comparaison des Pm et ROP entre les outils PDC HYCALOG (NOV)

III.2.2 Commentaires sur les Performances de meilleur outil HYCALOG (NOV) :

L'outil DSX619M-E11 utilisé dans la phase 12¼ donne une bonne performance dans le puits OML-813 foré 809 m en 46,41(h) de point de vue avancement (ROP =21,07 m/hr). Ce qui engendre une réduction du prix du métrage foré (Pm=129,319\$/m).

**Tableau V.3 : Prix / mètre des outils PDC dans la phase 12^{1/4}" du champ HMD
HDBS (Haliburton)**

Outil	Fabricant	Puits	Intervalle forée		M(m)	ROP (m/h)	Tf(h)	Tm(h)	Ph (\$/h)	Po(\$)	Pm(\$/m)
			de	à							
FM2663	HDBS (HALLIBURTON)	MDZ 562	2310	3010	700	19.93	45.46	7.525	1500	35000	163.539
		MDZ 563	2607	3040	433	8.88	44.92	7.6	1500	35000	262.771
		OMOZ 522	2309	3120	811	17.63	64.5	7.8	1500	35000	176.880
		OMNZ 153	2554	3090	536	18.14	40.5	7.725	1500	35000	200.256
		ONMZ 103	2301	3255	954	20.67	56.25	8.137	1500	35000	137.925
		MDZ 588	2405	3110	705	19.79	46.25	7.775	1500	35000	164.592
		OMOZ 422	2325	3060	735	17.93	44.75	7.65	1500	35000	154.557
FM3663Z	HDBS (HALLIBURTON)	OMMZ 733	2345	3011	666	18.09	36.82	7.527	1500	43466	165.144
		OMPZ 82	2311	3010	699	17.85	39.16	7.525	1500	43466	162.365
ROP moy	17.6566667										
Pm moy	176.945683										
moy forée (m)	689.888889										

III.3.1 Analyse des résultats HDBS (Haliburton):

- Rate of pénétration ROP : varie entre 8.88 et 20.67 (m/hr) avec un ROP moy de **17.656 (m/h)**.
- Mètres forés M : varie entre 433 et 954 (m), avec une moy **689.88 (m)**.
- Prix de Mètre foré (Pm) varie entre 137.925 et 262.77 (\$/m), avec un (Pm) moy de **176.945 (\$/m)**.
- L'outil FM2663 utilisé dans le puits ONMZ 103 donne de meilleure performance.

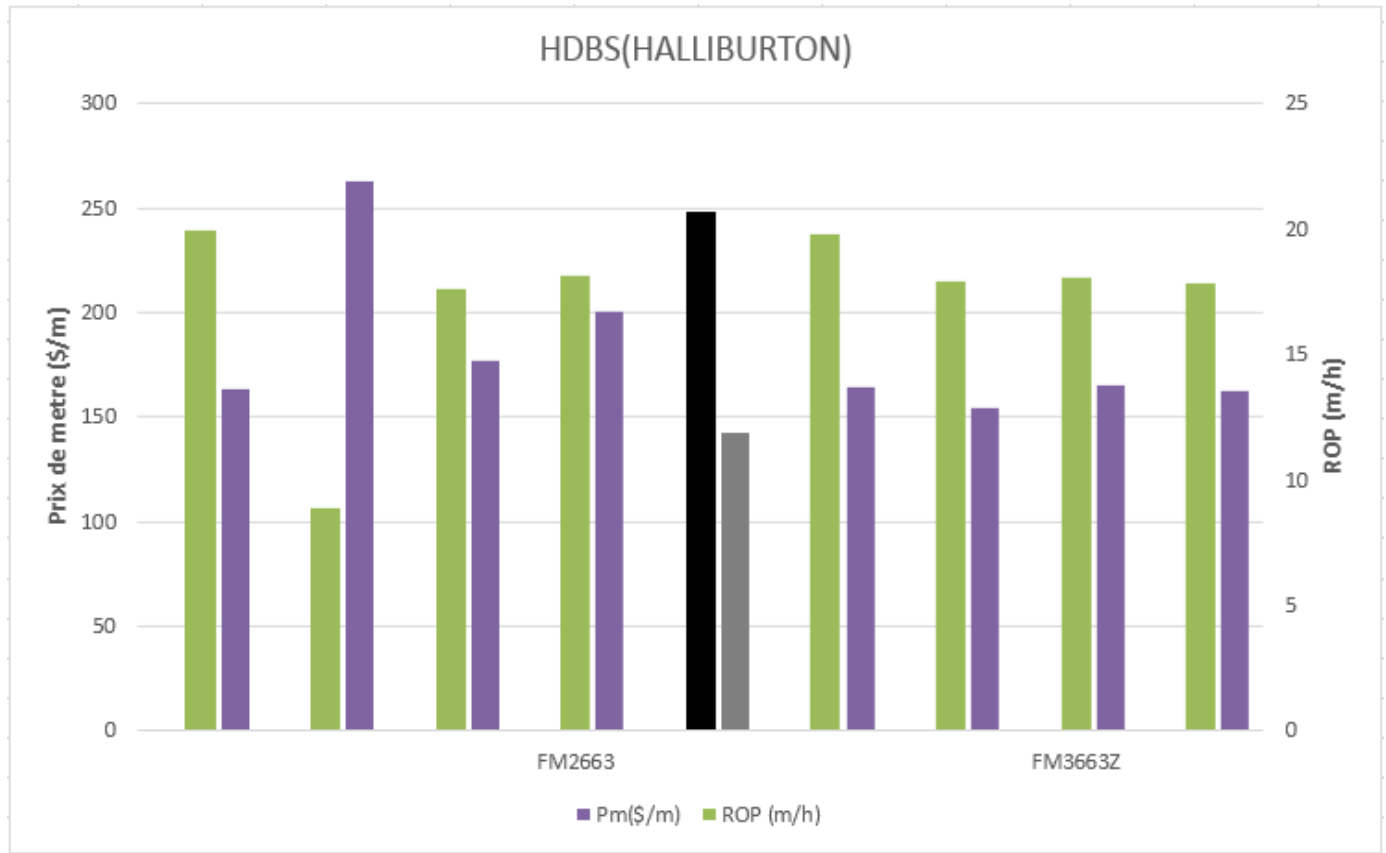


Fig V.4 Comparaisons des Pm et ROP entre les outils PDC HDBS(HALLIBURTON)

III.3.2 Commentaires sur les Performances de meilleur outil HDBS(Haliburton) :

L'outil FM2663 utilisé dans la phase 12¼ donne une bonne performance dans le puits ONMZ-103 foré 954 m en 64,38 (h) de point de vue avancement (ROP=20,67 m/hr). Ce qui engendre une réduction du prix du métrage foré (Pm=137.925 \$/m).

Tableau V.4 : Prix / mètre des outils PDC dans la phase 12^{1/4}” du champ HMD VAREL

Outil	Fabricant	Puits	Intervalle forée		M(m)	ROP (m/h)	Tf(h)	Tm(h)	Ph(\$/h)	Po(\$)	Pm(\$/m)
			de	à							
VTD613DGX	VAREL	OMG723	2381	336	955	15.06	63.41	8.34	1500	36000	150.392
MKS58DG		HGA 29	2440	3360	920	18.55	55.9	8.76	1500	41812	150.871
SP117		MD693	2390	3324	934	15.69	60.3	8.56	1500	41122	154.616
MKS67DG		MD646	2477	3320	843	16.62	49.5	7.8	1500	41658	151.373
MKS66DG		MD655	2418	3300	882	12.6	58.3	8.63	1500	38870	157.896
MKS56DG		ONIZ323	2318	3080	762	12.45	55.5	7.9	1500	37608	174.157
MKS76DG		OMJ552	2378	3282	904	12.54	53.5	8.8	1500	45345	153.534
ROP moy		14.7871429									
Pm moy	156.120482										
moy forée(m)	885.714286										

III.4.1 Analyse des résultats l’outil (VAREL) :

- Rate of pénétration ROP : varie entre 12.45 et 18.55 (m/hr) avec un ROP moy de **14.78714 (m/h)**.
- Mètres forés M : varie entre 762 et 955 (m), avec une moy **885.714286 (m)**.
- Prix de Mètre foré (Pm) varie entre 150.392 et 174.157 (\$/m), avec un (Pm) moy de **156.120 (\$/m)**.
- L'outil MKS58DG utilisé dans le puits HGA29 donne de meilleure performance.

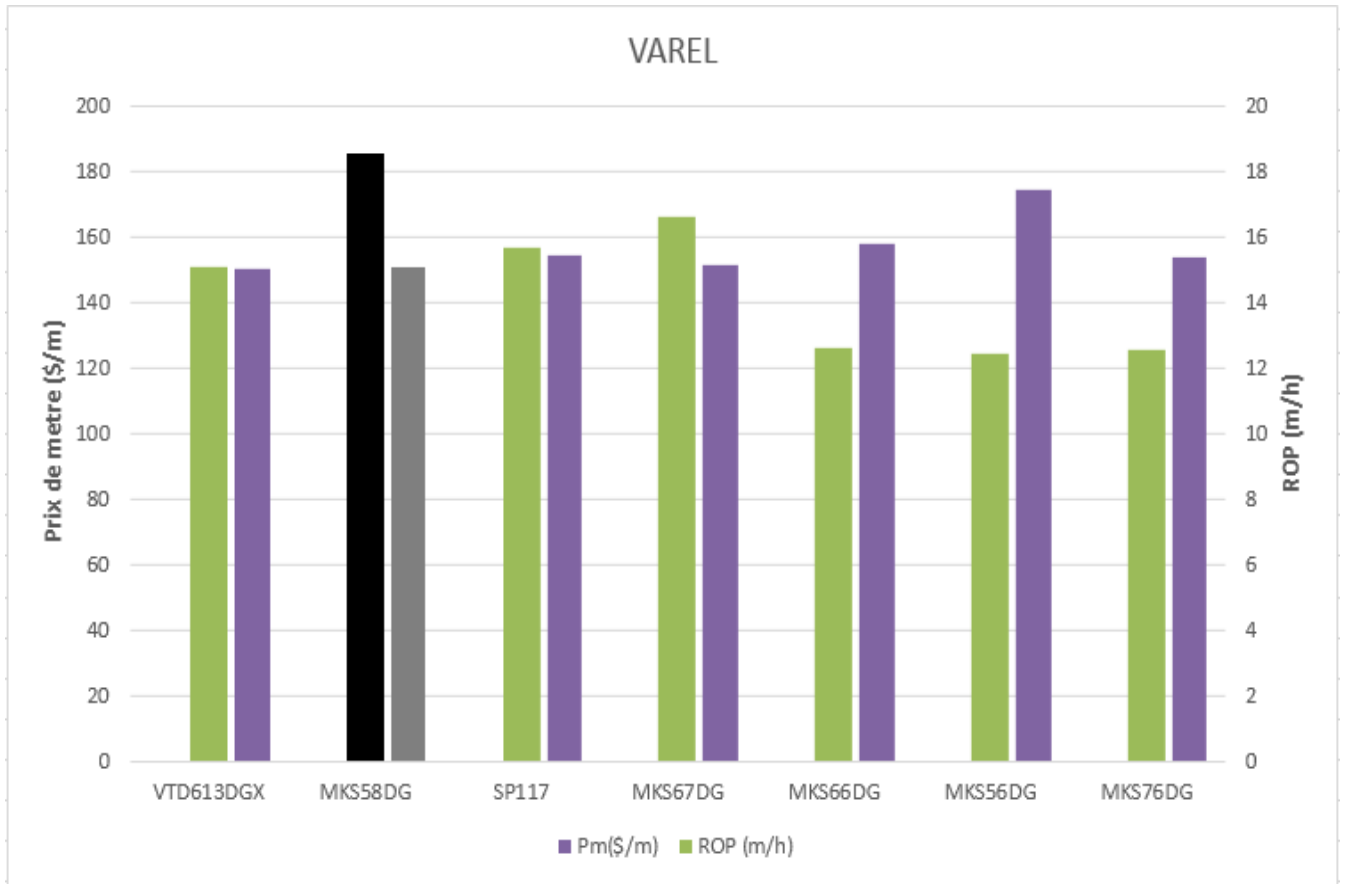


Fig V.5 Comparaisons des Pm et ROP entre les outils PDC VAREL

III.4.2 Commentaires sur les Performances de meilleur outil (VAREL) :

L'outil MKS58DG utilisé dans la phase 12¼ donne une bonne performance dans le puits HGA29 foré 920 m en 55.9(h) de point de vue avancement (ROP =18.55 m/hr). Ce qui engendre une réduction du prix du métrage foré (Pm = 150,87 \$/m).

Tableau V.5 : Prix / mètre des outils PDC dans la phase 12^{1/4}" du champ HMD SMITH(SCHLUMBERGER)

Outil	Fabricant	Puits	Intervalle forée		M(m)	ROP(m/h)	Tf(h)	Tm(h)	Ph(\$/h)	Po(\$)	Pm(\$/m)
			de	à							
MI616PX	SMITH (SCHLUMBERGER)	MDZ631	2462	3234	772	22.28	34.36	8.085	1500	62800	163.818
M616HPX	SMITH (SCHLUMBERGER)	OMJZ562	2435	3220	785	21.57	36.39	8.05	1500	65320	168.127
		OMG711	2420	3317	897	6.25	136	8.29	1500	39500	285.324
MI616	SMITH (SCHLUMBERGER)	OMM85	2367	3295	928	14.81	62.66	8.54	1500	32300	149.892
MI813VPX	SMITH (SCHLUMBERGER)	OMLZ452	22863050	764	764	16.28	46.83	7.96	1500	71750	201.485
ROP moy	16.238										
Pm moy	193.729307										
moy forée (m)	829.2										

III.5.1 Analyse des résultats de l'outil SMITH (SCHLUMBERGER) :

- Rate of pénétration ROP : varie entre 6,25 et 22, 28 (m/hr) avec un ROP moy de **16,238 (m/h)**
- Mètres forés M : il est entre 764 et 928 (m), avec M moy **829.2 (m)**
- Prix de Mètre forée (Pm) est de 149.892 à 285,324 (\$/m), avec un (Pm) moy de **193.73 (\$/m)**
- Meilleur outil est MI616 dans le puits OMM85

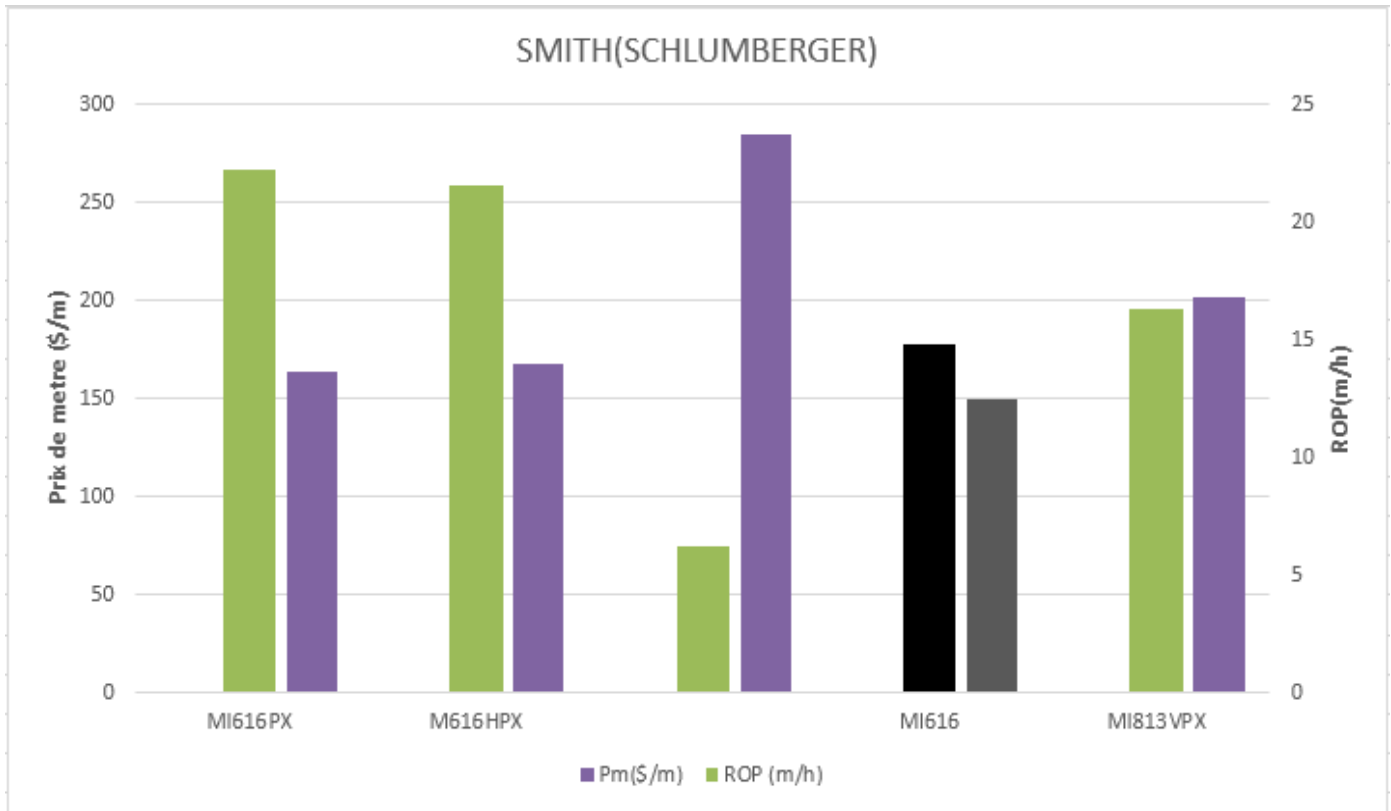


Fig V.6 Comparaisons des Pm et ROP entre les outils PDC SMITH (SCHLUMBERGER)

III.5.2 Commentaires sur les Performances de meilleur outil SMITH (Schlumberger) :

L'outil MI616 utilisé dans la phase 12¼ donne une bonne performance dans le puits OMM85 foré 928 en 62.66(h) de point de vue avancement (ROP=14.81m/hr). Ce qui engendre une réduction du prix du mètre foré (Pm=149.892\$/m).

**Tableau V.6 : Prix / mètre des outils PDC dans la phase 12^{1/4}" du champ HMD
Baker Hughes**

Outil	Fabricant	Puits	Intervalle forée		M(m)	ROP (m/h)	Tf(h)	Tm(h)	Ph(\$/h)	Po(\$)	Pm (\$/m)
			de	à							
HC606S	Baker Hughes	OMJ67	2414	3318	904	12.9	70.1	8.295	1500	39700	173.996
		OML72	2308	3268	960	16.19	59.3	8.17	1500	39700	146.776
HC605SZ	Baker Hughes	HGA28	2412	2772	860	17.51	49.11	7.92	1500	47000	154.122
HCM607	Baker Hughes	MD638	2468	3236	768	18.62	41.25	7.56	1500	49500	159.785
HC508	Baker Hughes	ONI442	2333	3303	970	16.93	48.67	8.7	1500	39800	129.747
ROPmoy	16.43										
Pm moy	152.885368										
moy forée (m)	892.4										

III.6.1 Analyse des résultats d'outils Baker Hughes :

- Rate of pénétration ROP : varie entre 12,9 et 18.62 (m/hr) avec un ROP moy de 16.43 (m/h)
- Mètres forés M est de 768 à 970 (m), avec une M moy de **892.4** (m)
- Prix de Mètre fore (Pm) est de 129.74 à 174 (\$/m), avec un (Pm) moy **152.88** (\$/m)
- Meilleur outil HC508 dans le puits ONI442.

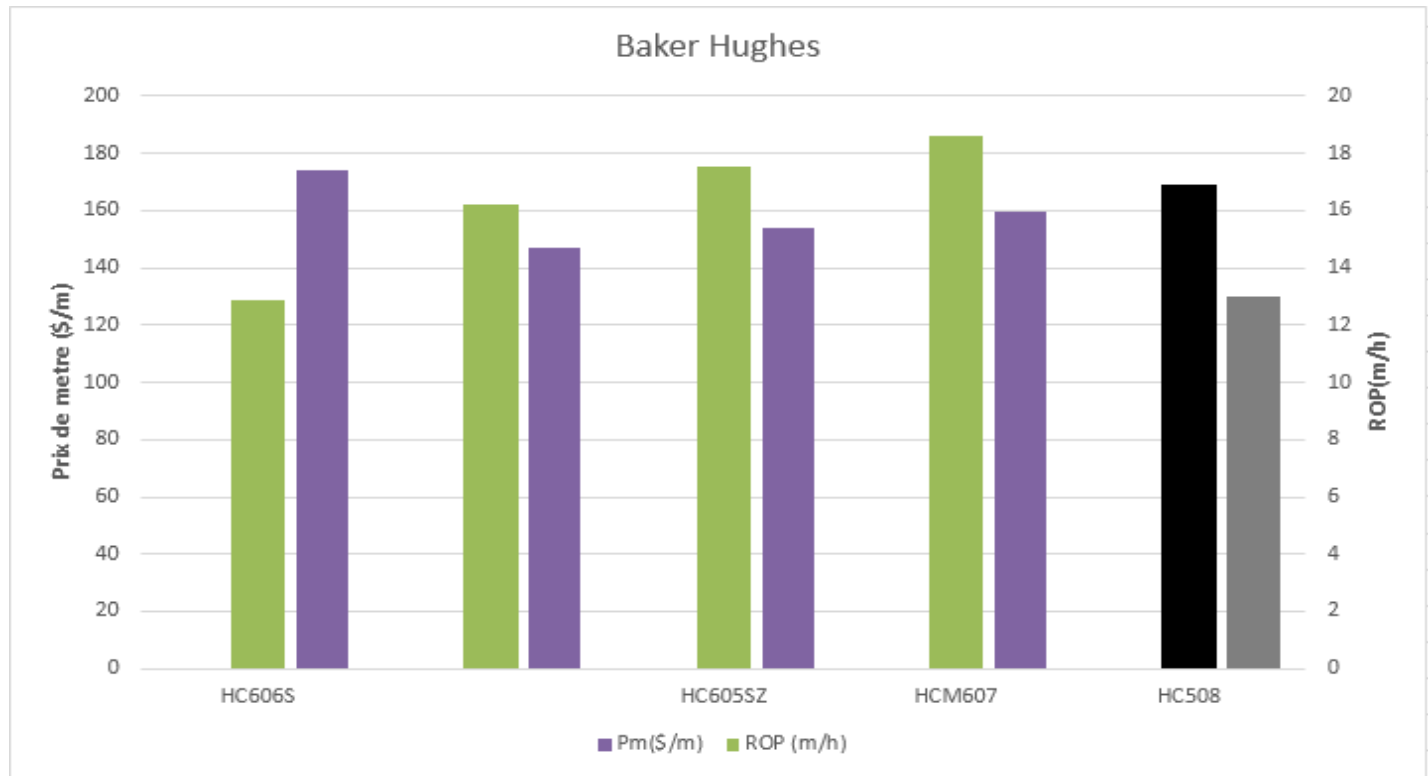


Fig V.7 Comparaisons des Pm et ROP entre les outils PDC

Baker Hughes

III.6.2 Commentaires sur les Performances de meilleur outil (Baker Hughes) :

L'outil HC508 utilisé dans la phase 12¼ donne une bonne performance dans le puits ONI442 foré 970 m en 48.67 (h) de point de vue avancement (ROP=16,93m/hr). Ce qui engendre une réduction du prix du mètre foré (Pm=129,74 \$/m).

Tableau V.7 : Prix / mètre des outils PDC dans la phase 12^{1/4}” du champ HMD

Outil	Fabricant	Puits	Intervalle forée		M(m)	ROP (m/h)	Tf(h)	Tm(h)	Ph(\$/h)	Po(\$)	Pm(\$/m)
			de	à							
SP619A	ALDIM	MD601	2247	3308	1061	22.56	49.53	8.27	1500	35600	115.269
DSX619M-E11	HYCALOG	OML813	2400	3209	809	21.07	38.39	8.0225	1500	35000	129.318
FM2663	HDBS (HALUBURTON)	OMNZ103	2301	3255	924	20.67	56.25	8.137	1500	35000	137.925
MI616	SMITH (SCHLUMBERGER)	OMM85	2367	3295	928	14.81	62.66	8.54	1500	32300	149.892
HC606S	BACKER HUGHES	OML 72	2308	3268	960	16.19	59.3	8.17	1500	28349	134.952
MKS58DG	VAREL	HGA 29	2440	3360	920	18.55	55.9	8.76	1500	41812	150.871

III.7.1 Analyse des résultats des meilleurs outils dans le champ de HMD :

D'après le tableau et le graphe précédent, on constate que l'outil SPH639 de la compagnie ALDIM (ENSP) est plus performant de point de vue avancement (ROP=22,65 m/h), ce qui engendre une réduction du prix du métrage foré (Pm=115,269 \$/m) par rapport les outils des autres fabricants on peut classés comme suit :

1. ALDIM (ENSP) avec (ROP = 22,65 m/h) et (Pm = 115,269 \$/m)
2. HYCALOG avec (ROP = 21,07 m/h) et (Pm = 129,319 \$/m)
3. Baker Hughes avec (ROP = 16, 93 m/h) et (Pm = 129,74 \$/m)
4. HDBS (Halliburton) avec (ROP = 20,67 m/h) et (Pm = 137.925 \$/m)
5. SMITH (Schlumberger) avec (ROP = 14.81 m/h) et (Pm = 149.89 \$/m)
6. VAREL avec (ROP =18.55 m/h) et (Pm = 150,87 \$/m)

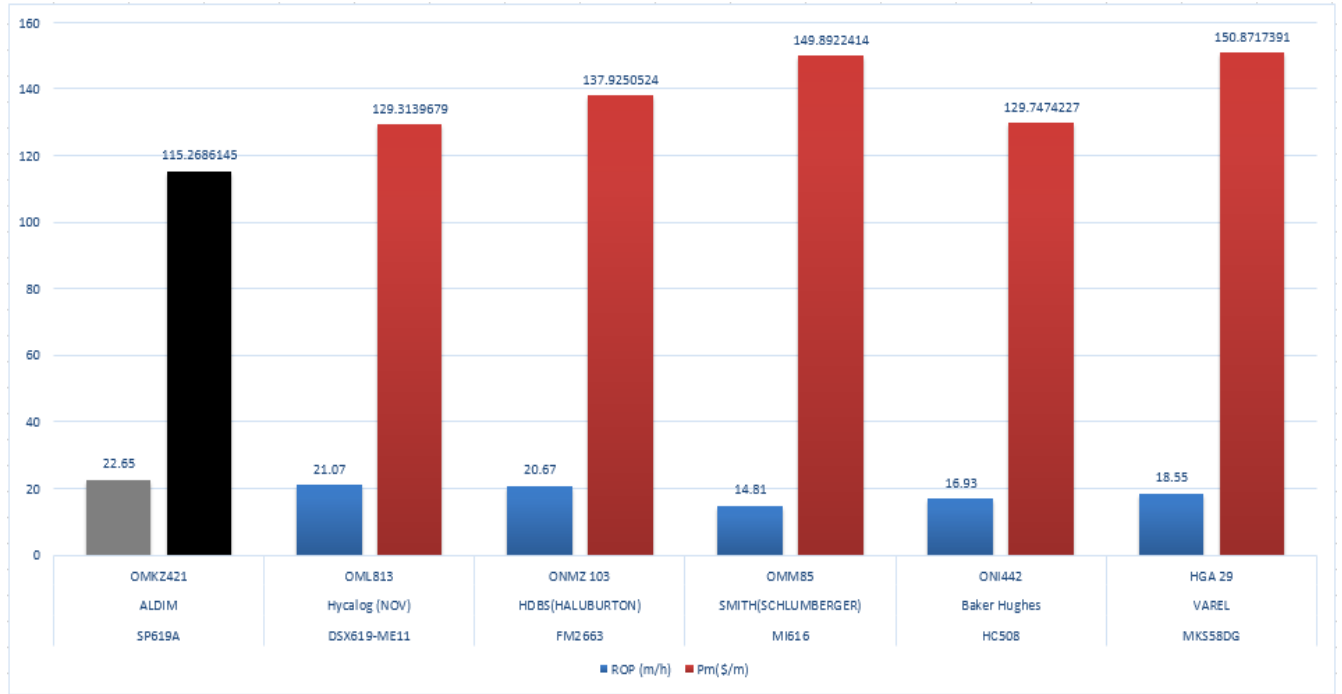


Fig V.8 Comparaisons des Pm et ROP entre les Meilleur Outils PDC

IV. Caractéristique du meilleur Outils :

SPECIFICATIONS:

- Size:** 12^{1/4}''
- Body Material:** Steel
- Number of blades:** 6
- Profile:** long parabolic
- Cutter type:** PDC
- Total Cutter Count:** 50



Fig V.9: L’outil SP619A vue de côté

Cutter Distribution: 8mm 13mm 19mm

Face: 0 7 31

Gage: 0 12 0

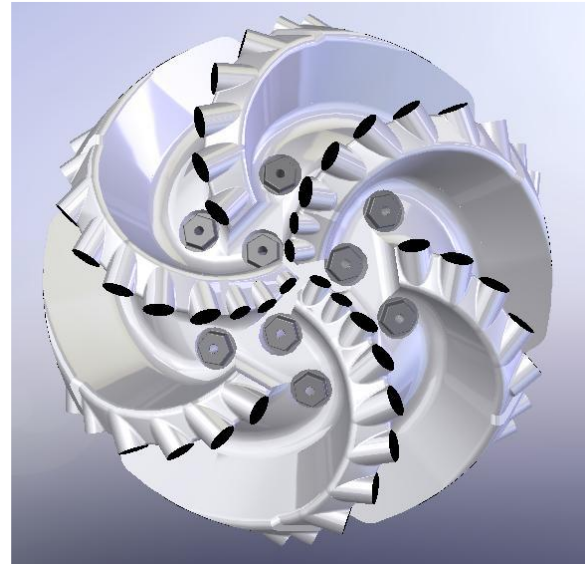
Number of Nozzles: 9

Junk Slot Area: Large

TFA: 1.995 in²

API Pin Connection: 6^{5/8}" Reg.

Gauge Length: 3.00"



FigV.10 : L'outil SP619A vue de face

Tableau V.8 Performances du meilleur outil dans champ HMD dans chaque formation de la phase 12^{1/4}

Lithologie	IN	OUT	Mtrs	ROP (m/h)	WOB(t)	RPM	LPM
Dog. Lagunaire	2315	2426	111	12.71	5 -- 21	70 - 140	2750
LD1	2426	2502	76	15.90	10 -- 20	130 - 140	2750
LS1	2502	2591	89	21.92	10 -- 19	130 - 140	2750
LD2	2591	2647	56	16.71	10 -- 19	130 - 140	2750
LS2	2647	2708	61	42.59	5 -- 15	140 - 160	2750
LD3	2708	2732	24	35.29	7 -- 18	130 - 150	2750
TS1	2732	2789	57	16.47	10 --21	140 - 150	2750
TS2	2789	2972	183	42.75	7 -- 20	150 - 170	2750
TS3	2972	3005	33	76.74	5 -- 20	160 - 180	2750
ROP Total sans connexion			690	22.56			

V. Procédure de suivi des outils de forage à l'ENSP :

1. D'après le DDR (Daily Drilling Report) on peut savoir qu'on a un marché
2. A la fin de cimentation de la phase précédente le bit man part sur chantier 24h avant le commencement de la phase prochaine
3. On va TICKER l'outil et les stabilisateurs (contrôle visuel des PDC et control des duses) : diamètre extérieur de l'outil doit être $<$ diamètre extérieur du NEAR BIT par $1^{3/16}$
4. Visser l'outil avec un couple de serrage adéquat en appliquant une force de 38000 à 40000 N divisé par la longueur de la clé pour avoir le couple.
5. Descendre l'outil jusqu'à 200m (pas de circulation).
6. Il faut bien savoir la cote du sabot et FLOAT COLLAR.

On a 3 paramètres pour le forage :

A. Forage des équipements :

Paramètre réduit : WOB= 2-5 Tonne

RPM= 30-50 rpm

Remarque : on utilise ces paramètres car l'outil PDC est construit pour détruire les formations pas des équipements pour éviter l'usure prématuré de l'outil

B. forage de formation : après 1 ou 2 mètre après l'arrive au sabot, on fait le chou bon test pendant 2h

Paramètre contrôlé : WOB =5-10-12 Tonne

RPM=80-90 rpm

Remarque : on utilise ces paramètres afin d'éviter le risque de frottement de stabilo avec le tubage.

Full paramètres : après que le dernier stabilisateur est sortie du tubage on procède avec ces paramètres :

WOB=12-20 Tonne

RPM=120-130 rpm

Ces paramètre sont fonction de la nature de formation, si HARD on a besoin un poids élevé et un RPM réduit, si SOFT on diminue le WOB et augmente RPM.

Remarque : chaque longueur forée on lui applique un REAMING pour nettoyer et assurer l’harmonisation du diamètre du puits (REAMING EACH STAND) 2 jusqu’à 3 fois, ça dépend la nature de formation. Vérifier les pressions

7. remonter l’outil et faire le DULL GRADING

VI. Dull Grading:

Chaque remontée de l’outil il faut prendre des notes sur son usure, pour faire ainsi on remplit le tableau suivant :

Cutting Structure							
Ranger intérieur	Ranger extérieur	Char de l’usure	Location	Roulements	Jauge	Autres char d’usure	Raison de remontée
1	2	3	4	5	6	7	8

Tableau V.9: Dull Grading Chart



- ✓ 1^{er} caractère **2** l'usure des éléments de coupe des rangées intérieures (soit les 2/3 intérieurs des éléments de coupe).
- ✓ 2^{ème} caractère **4** l'usure des éléments de coupe des rangées extérieures (soit les 1/3 extérieurs des éléments de coupe).
- ✓ 3^{ème} caractère **BT - Broken Cutters (dents cassées)**
 - Les éléments de coupe sont considérés cassés si plus $\frac{1}{3}$ de l'élément est arraché (cassé) du substrat.
 - "Broken cutters" indiquent des problèmes mauvaises pratiques opérationnelles.
- ✓ 4^{ème} caractère **A** l'usure de l'outil localise sur toute la surface
- ✓ 5^{ème} caractère **X** l'outil sans roulements (PDC).
- ✓ 6^{ème} caractère **I** il n'y a pas de perte de diamètre.
- ✓ 7^{ème} caractère **WT - Worn Cutters (dents usées)**
 - Réduction de la hauteur du cutter par l'action du forage.
 - C'est un mode d'usure normale et prévisible.
 - L'usure des cutters est définie par une échelle allant de 0 à 8
 - 0 étant : pas d'usure
 - 8 étant : plus de cutters existant.
- ✓ 8^{ème} caractère **TD total depth** la cause de la remontée de l'outil.



Fig.11, 12,13 : Outil SP619A usée

VI. Calcul de rentabilité dans la zone HMD :**VI.1 Rentabilité de l'outil HYCALOG :**

Le Prix de mètre foré :

- L'outil **SP619A** PDC HYBRIDE
- **DSX619M -E11** PDC (**HYCALOG**)

L'outil	P _h (KDA)	P _o (KDA)	T _m (h)	T _f (h)	M(m)	P _m (KDA)
SP619A	1500	35600	8.27	49.53	1061	115,269
DSX619M-E11	1500	35000	8.0225	38.39	809	129,3186

Méthode de Break Even :

- L'outil de référence c'est l'outil SP619 noté **A (ENSP)**.
- L'outil DSX619M -E11 noté **B (HYCALOG)**.

L'axe d'équirorentabilité :

$$X = -T_{mB} - \frac{P_{OB}}{P_{hB}}$$

$$y = \frac{P_{OB} + P_h \times T_{mB}}{P_{mA}}$$

Equat VI.1, 2

Application numérique :

$$X = -8.0225 - 35000/1500$$

$$Y = (35000 + 1500 \times 8.0225) / 115.269$$

$$X = -31.355$$

$$Y = 408.034$$

On trace la courbe d'avancement de l'outil **DSX619M-E11** à partir des données des tableaux précédents

DRILL PERFORMANCE					
FORMATION	IN	OUT	MTR	HRS	ROP
	(m)	(m)	(m)	(hrs)	(m/hr)
Dogger Lagunaire	2341	2447	106	13.04	8.13
Lias "LD1"	2400	2520	120	12.11	9.91
Lias "LS1"	2520	2601	81	9.55	8.48
Lias "LD2"	2601	2653	52	10.38	5.01
Lias "LS2"	2653	2714	61	1.89	32.28
Lias "LD3"	2714	2751	37	1.49	24.83
Trias "TS1"	2751	2798	47	10.57	4.45
Trias "TS2"	2798	2980	182	15.81	11.51
Trias "TS3"	2980	3209	229	4.94	46.36

Tableau V.10 : Performance de forage de l'outil DSX619M-E11 dans la phase 12^{1/4}"

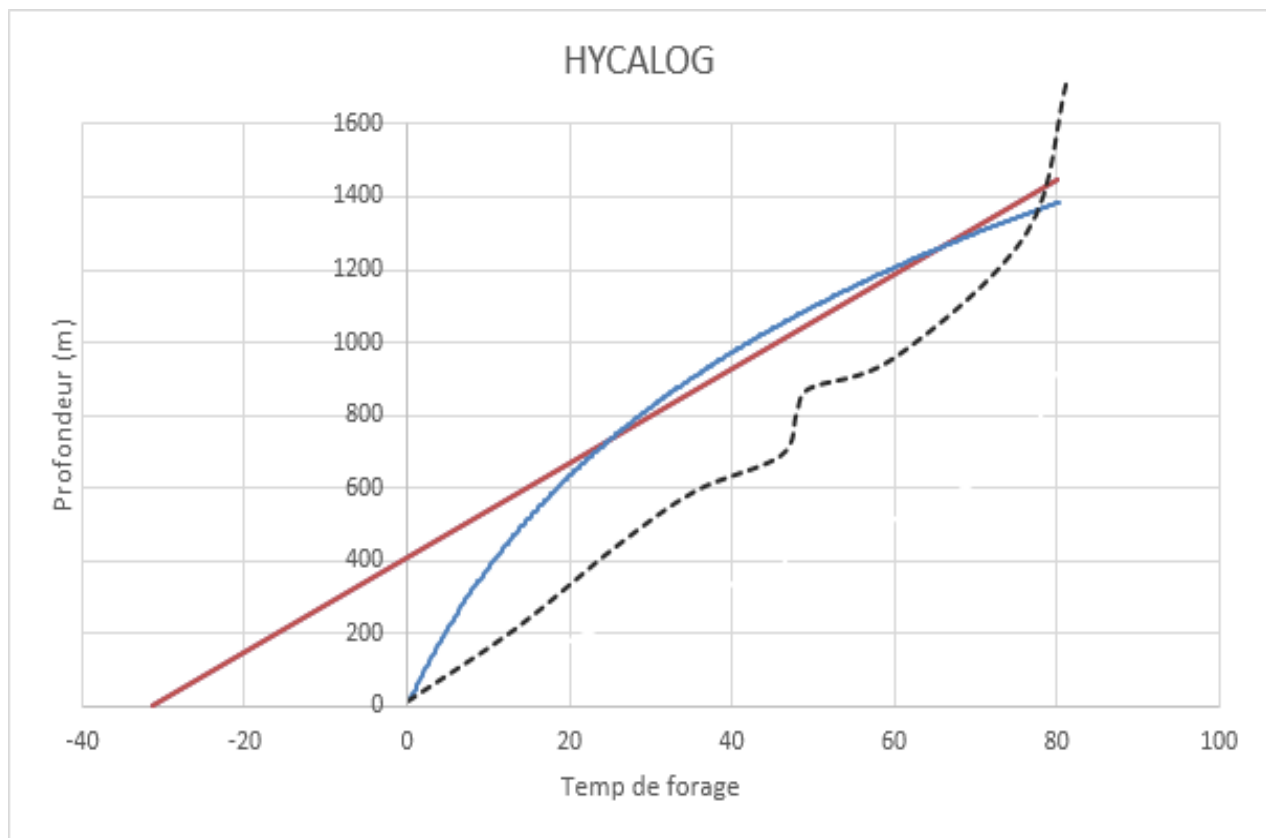


Fig V.14 Courbe de rentabilité de l'outil DSX619M-E11 dans la phase 12^{1/4}"

VI.2 Rentabilité de l'outil de VAREL :

Le Prix de mètre foré :

- L'outil **SP619A** PDC HYBRIDE
- **MKS58DG** (VAREL)

L'outil	P _h (KDA)	P _o (KDA)	T _m (h)	T _f (h)	M(m)	P _m (KDA)
SP619A	1500	35600	8.27	49.53	1061	115,269
MKS58DG	1500	41812	8,76	55.9	920	150,871

Méthode de Break Even :

- Outil de référence c'est l'outil SP619 A noté **A (ENSP)**.
- Outil **MKS58DG** noté **B (VAREL)**.

L'axe d'équirontabilité :

$$X = -T_{mB} - \frac{P_{OB}}{P_{hB}}$$

$$y = \frac{P_{OB} + P_h \times T_{mB}}{P_{mA}}$$

Equat VI.3, 4

Application numérique :

$$X = -8.76 - 41812/1500$$

$$Y = (41812 + 1500 \times 8.76) / 115.269$$

$$X = -36.63$$

$$Y = 476.728$$

On trace la courbe d'avancement d'outil **MKS58DG** à partir des données du tableau suivant :

DRILL PERFORMANCE					
FORMATION	IN	OUT	MTR	HRS	ROP
	(m)	(m)	(m)	(hrs)	(m/hr)
Dogger Lagunaire	2381	2415	34	8.08	4.21
Lias "LD1"	2415	2486	71	6.96	10.20
Lias "LS1"	2486	2583	97	6.29	15.42
Lias "LD2"	2583	2632	49	5.46	8.97
Lias "LS2"	2632	2693	61	2.55	23.92
Lias "LD3"	2693	2731	38	2.99	12.71
Trias "TS1"	2731	2778	47	8.22	5.72
Trias "TS2"	2778	2969	191	10.64	17.95
Trias "TS3"	2969	3179	210	4.82	43.57
Trias Argileux "G10"	3179	3270	91	3.50	26.00
Trias Argileux "G30"	3270	3336	66	0.86	76.74

Tableau V.11 : Performance de forage de l'outil MKS58DG dans la phase 12^{1/4}

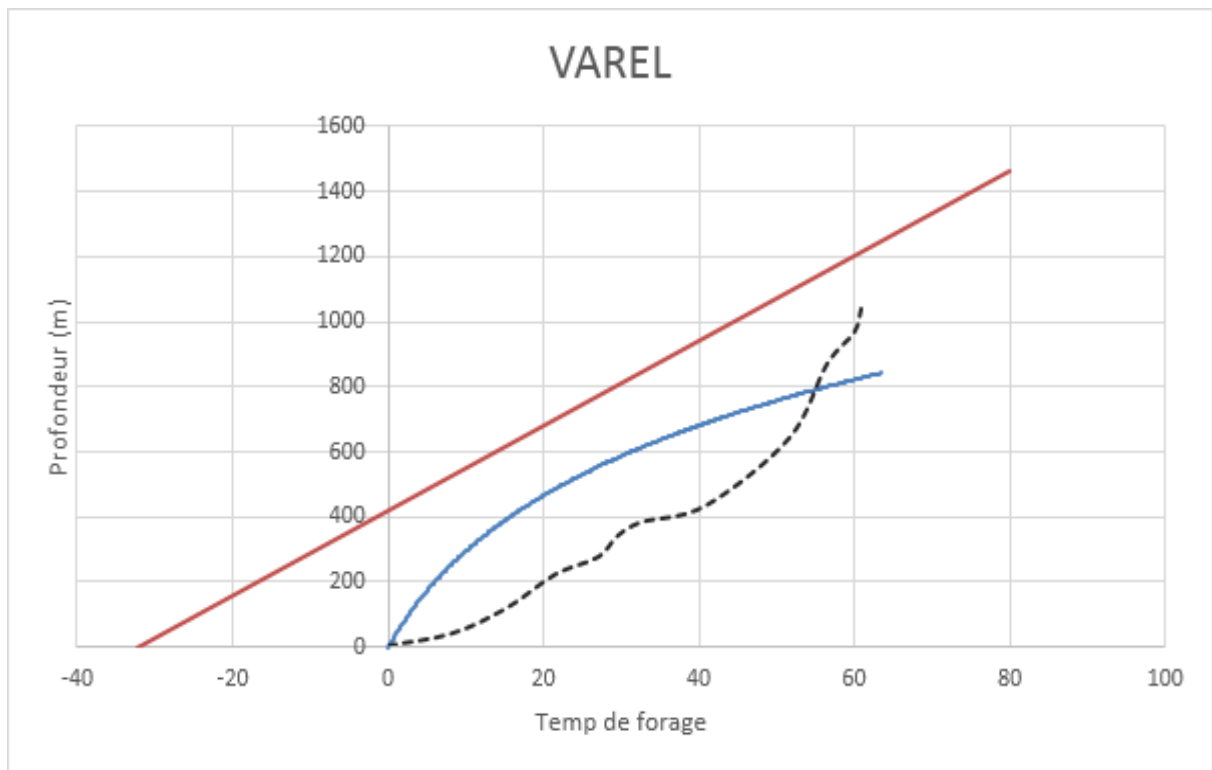


Fig V.15 : Courbe de rentabilité de l'outil VTD613DGX dans la phase 12^{1/4}''

VI.3 Rentabilité de l'outil HALLIBURTON (HDBS) :

Le Prix de mètre foré :

- L'outil **SP619A** PDC HYBRIDE
- **FM2663 (HDBS)**.

L'outil	P _h (KDA)	P _o (KDA)	T _m (h)	T _f (h)	M(m)	P _m (KDA)
SP619A	1500	35600	8.27	49.53	1061	115,269
FM2663	1500	35000	8,137	56,25	954	137.92

Méthode de Break Even :

- L'outil de référence c'est l'outil SP619A noté **A (ENSP)**.
- L'outil VTD613DGX noté **B (HDBS(HALUBURTON))**.

L'axe d'équirorentabilité :

$$X = -T_{mB} - \frac{P_{OB}}{P_{hB}}$$

$$y = \frac{P_{OB} + P_h \times T_{mB}}{P_{mA}}$$

Equat VI.5, 6

Application numérique :

$$X = -8.137 - 35000/1500$$

$$Y = (35000 + 1500 \times 8.137) / 115.269$$

$$X = -31.47$$

$$Y = 409.52$$

On trace la courbe d'avancement d'outil **FM2663** à partir de données suivantes :

DRILL PERFORMANCE					
FORMATION	IN	OUT	MTR	HRS	ROP
	(m)	(m)	(m)	(hrs)	(m/hr)
Dogger Lagunaire	2301	2502	201	36.88	5.45
Lias "LD1"	2502	2564	62	10.51	5.9
Lias "LS1"	2564	2650	86	12.46	6.9
Lias "LD2"	2650	2714	64	10.09	6.34
Lias "LS2"	2714	2782	68	3.80	17.9
Lias "LD3"	2782	2805	23	1.74	13.25
Trias "TS1"	2805	2844	39	5.73	6.81
Trias "TS2"	2844	3040	196	10.45	18.76
Trias "TS3"	3040	3255	215	9.46	22.73

Tableau V.12 : Performance de forage de l'outil FM2663 dans la phase 12^{1/4}"

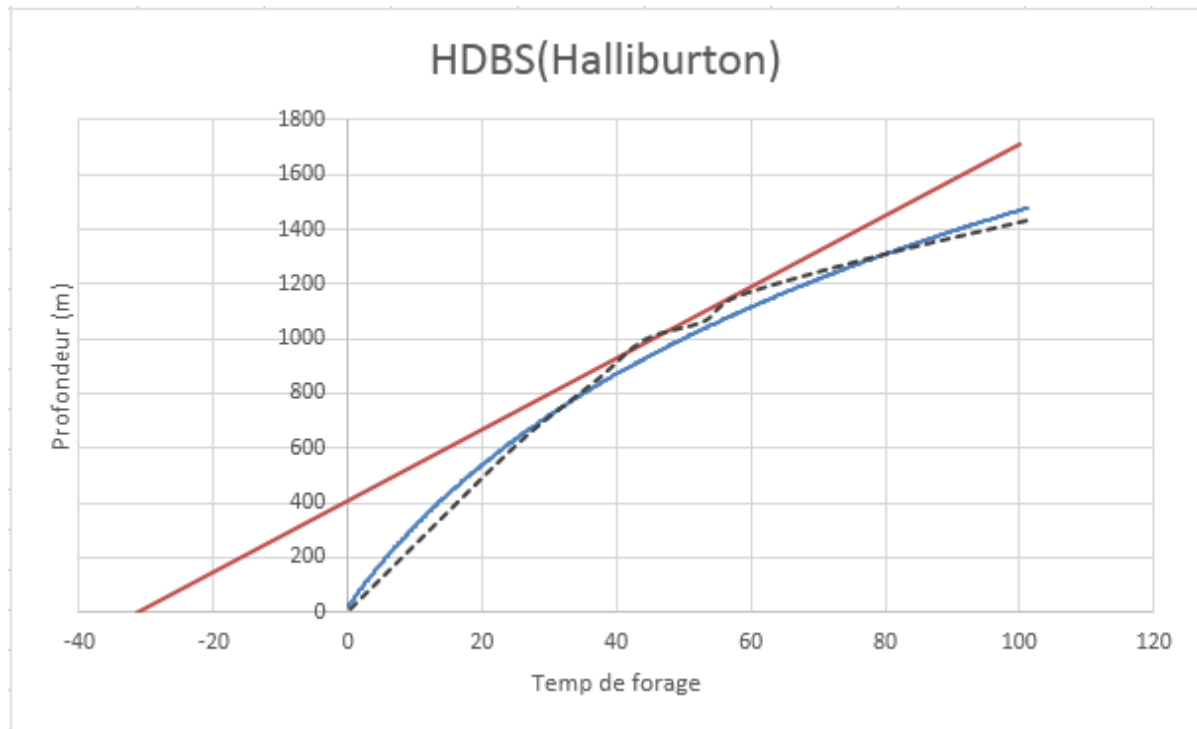


Fig V.16 : Courbe de rentabilité de L'outil FM2663 dans la phase 12^{1/4}"

VI.4 Rentabilité de l'outil de Schlumberger (SMITH) :

Le Prix de mètre foré :

- L'outil **SP619A** PDC HYBRIDE
- **MI616** (SMITH)

L'outil	P_h (KDA)	P_o (KDA)	T_m (h)	T_f (h)	M(m)	P_m (KDA)
SP619A	1500	35600	8.27	49.53	1061	115,269
MI616	1500	32300	8.17	59.3	928	149.892

Méthode de Break Even :

- L'outil de référence c'est l'outil SP619 A noté **A (ENSP)**.
- L'outil **MI616PX** noté **B (SMITH)**.

L'axe d'équirorentabilité :

$$X = -T_{mB} - \frac{P_{OB}}{P_{hB}}$$

$$y = \frac{P_{OB} + P_h \times T_{mB}}{P_{mA}}$$

Equat VI.7, 8

Application numérique :

$$X = -8.17 - 32300/1500$$

$$Y = (32300 + 1500 \times 8.17) / 115.269$$

$$X = -29.7$$

$$Y = 386.53$$

On trace la courbe d'avancement d'outil **MI616** à partir de données suivantes :

DRILL PERFORMANCE					
FORMATION	IN	OUT	MTR	HRS	ROP
	(m)	(m)	(m)	(hrs)	(m/hr)
Dogger Lagunaire	2462	2502	40	15.75	2.54
Lias "LD1"	2462	2502	40	17.76	2.25
Lias "LS1"	2502	2583	81	11.48	7.06
Lias "LD2"	2583	2634	51	11.05	4.62
Lias "LS2"	2634	2701	67	3.50	19.14
Lias "LD3"	2701	2732	31	2.18	14.22
Trias "TS1"	2732	2784	52	9.38	5.54
Trias "TS2"	2784	2964	180	12.84	14.02
Trias "TS3"	2964	3176	212	5.71	37.13
Trias argileux	3176	3234	58	11.08	5.23

Tableau V.13 : Performance de forage de l'outil MI616 dans la phase 12^{1/4}"

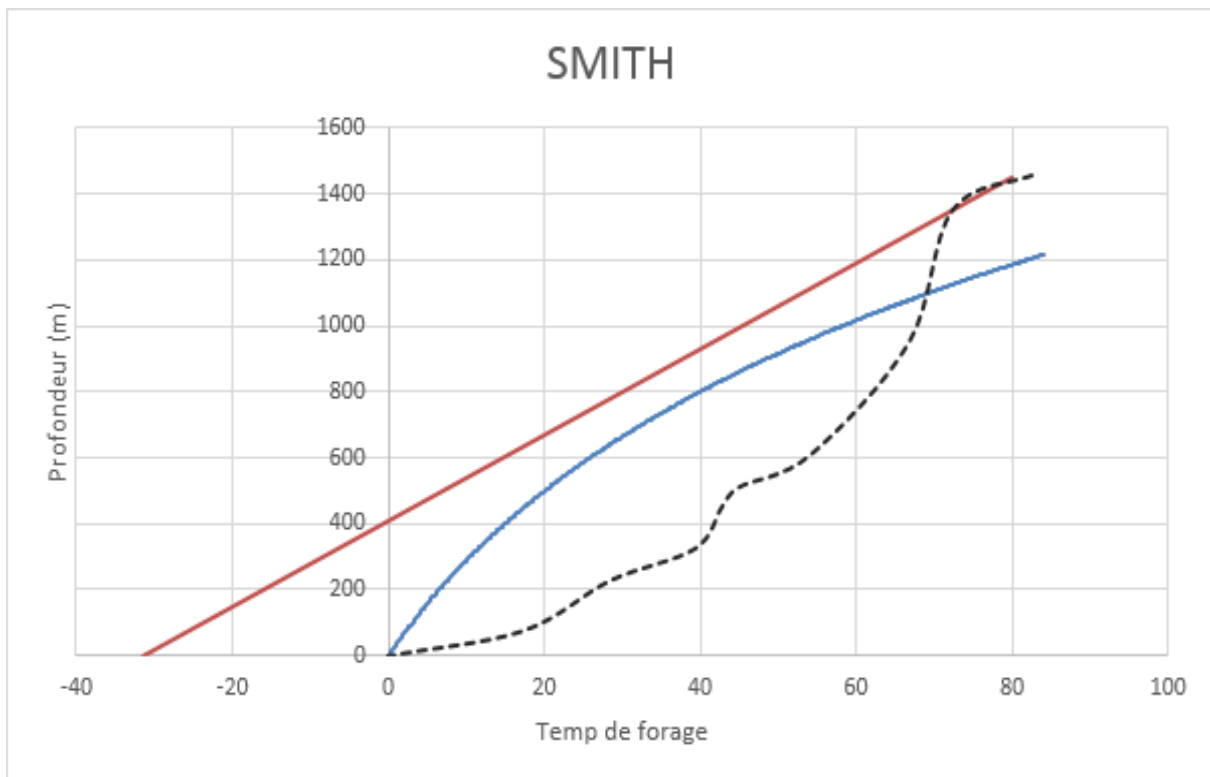


Fig V.17 : Courbe de rentabilité de L'outil MI616 dans la phase 12^{1/4}"

VII.5 Rentabilité de l'outil de Baker Hughes :

Le Prix de mètre foré :

- L'outil **SP619A** PDC HYBRIDE
- **HC606S (BACKER)**

L'outil	P _h (KDA)	P _o (KDA)	T _m (h)	T _f (h)	M(m)	P _m (KDA)
SP619A	1500	35600	8.27	49.53	1061	115,269
HC508	1500	39800	8.7	48.67	970	134.952

Méthode de Break Even :

- Outil de référence c'est l'outil SP619 A noté **A (ENSP)**.
- Outil **HC606S** noté **B (BACKER)**.

L'axe d'équirontabilité :

$$X = -T_{mB} - \frac{P_{OB}}{P_{hB}}$$

$$y = \frac{P_{OB} + P_h \times T_{mB}}{P_{mA}} \quad \text{Equat VI.9, 10}$$

Application numérique :

$$X = -8.7 - 39800/1500$$

$$Y = (39800 + 1500 \times 8.7) / 115.269$$

$$X = -35.23$$

$$Y = 458.38$$

On trace de courbe d'avancement d'outil **HC508** à partir de données suivantes :

DRILL PERFORMANCE					
FORMATION	IN	OUT	MTR	HRS	ROP
	(m)	(m)	(m)	(hrs)	(m/hr)
Dogger Lagunaire	2308	2435	122	14.93	8.45
Lias "LD1"	2435	2507	72	5.91	12.18
Lias "LS1"	2507	2602	95	5.18	18.34
Lias "LD2"	2602	2653	51	4.36	11.70
Lias "LS2"	2653	2715	62	2.69	23.05
Lias "LD3"	2715	2744	29	3	9.67
Trias "TS1"	2744	2799	55	4.49	12.25
Trias "TS2"	2799	2990	191	6.47	29.52
Trias "TS3"	2990	3268	278	5.54	50.18

Tableau V.14 : Performance de forage de l'outil HC508 dans la phase 12^{1/4}"

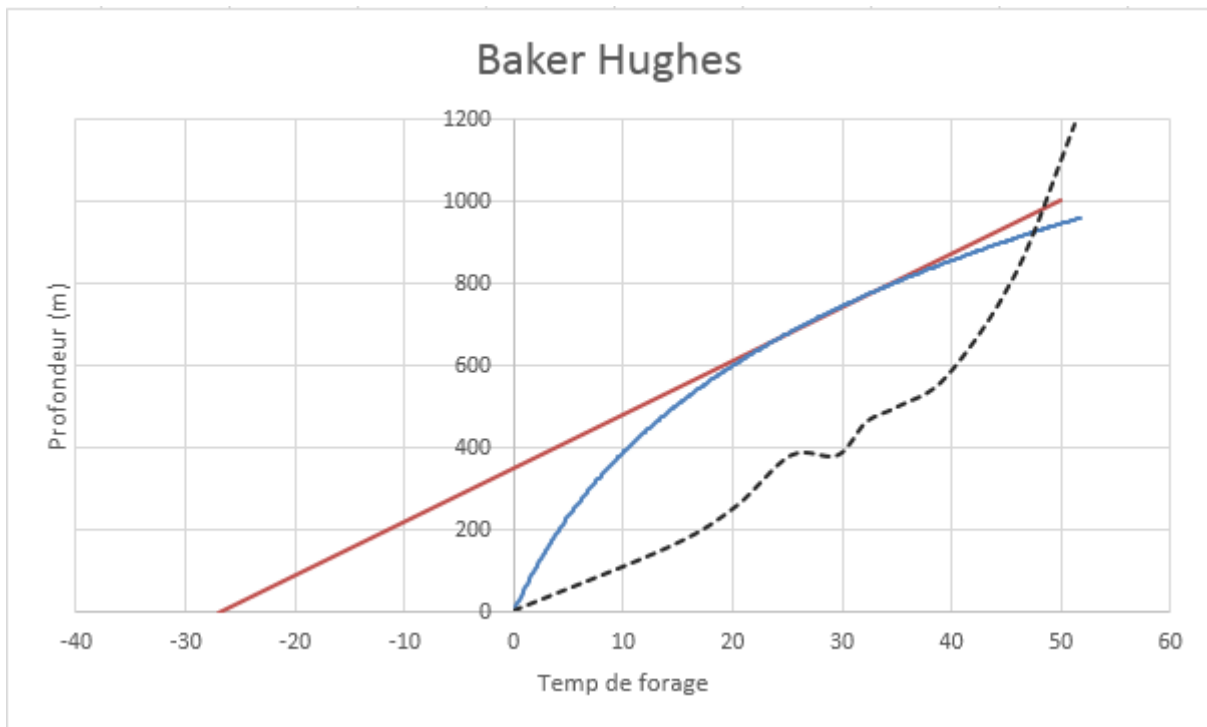


Fig V.18 : Courbe de rentabilité de l'outil HC508 dans la phase 12^{1/4}"

Analyse des résultats

- D'après les figures et les tableaux on constate clairement que dans la phase **12^{1/4}"** l'outil le plus rentable est l'outil PDC (SP619A) dans le puits OMKZ421.
- D'après les courbes on constate que les courbes d'avancement des outils de SMITH (Schlumberger) et VAREL et HDBS (Haliburton) sont situées au-dessous de la droite de rentabilité, donc ils sont non rentables, par contre les outils de HYCALOG et BACKER HUGHES sont plus performants.
- Pour l'outil HYCALOG on remarque qu'à partir de temps de forage de 26 h à 65 heures les deux courbes se superposent, cet outil est rentable il a un prix de mètre fore plus réduit qui est égale au prix de mètre fore de l'outil ALDIM mais à partir de 65 heures on aura le graphe qui se situe dessous donc on est dans une zone non rentable.
- Pour l'outil Becker on remarque qu'à partir de temps de forage de 20 h à 35 heures les deux courbes se superposent, cet outil est rentable il a un prix de mètre fore réduit mais à partir de 65 heures on aura le graphe qui va se situer ou dessous donc on est dans une zone non rentable.
- Tous les outils ont été remontés à la fin du nombre d'heures de rotation suite à la fin de phase sans changement avec d'autres outils.

VIII. Optimisation des paramètres hydrauliques de forage :

Introduction :

L'objectif de ce calcul est d'optimiser l'avancement et améliorer le nettoyage du fond du puits par le calcul du débit optimal, les diamètres des sorties et nombre des duses pour un régime d'écoulement donné.

VIII.1 Calcul de la surface totale des duses (TFA) :

La surface totale des duses de l'outil forage peut être donnée par la formule suivante :

$$\text{TFA} = (\phi_1^2 + \phi_2^2 + \phi_3^2 + \dots + \phi_n^2) / 1303,8 \dots \text{Equat IV.11}$$

Avec :

- TFA : surface totale des duses de l'outil [in²]
- ϕ_i : diamètre de chaque duse l'outil forage [in]

VIII.2 Calcul des pertes de charge au niveau des duses :

Les pertes de charge au niveau de l'outil de forage sont données par la formule suivante :

$$\text{Pb} = (d \times Q^2) / (10858 \times \text{TFA}^2) \dots \dots \dots \text{Equat IV.12}$$

Avec :

- Pb : perte de charge au niveau de l'outil de forage [psi]
- d : densité de fluide de forage [ppg]
- Q : débit de forage [gpm]
- TFA : surface totale des duses de l'outil forage [in²]

VIII.3 Calcul des pertes de charges :

$$\text{Pc1} = \text{P1 circulation} - \text{Pb1} \dots \dots \dots \text{Equat IV.13}$$

$$\text{Pc2} = \text{P2 circulation} - \text{Pb2} \dots \dots \dots \text{Equat IV.14}$$

Avec :

- Pc1 et Pc2 : perte de charge de forage [psi]
- P circulation : pression de refoulement [psi]
- Pb : perte de charge au niveau de l'outil de forage [psi]

VIII.4 Calcul de la pente M :

$$M = \text{Log} (Pc1 / Pc2) / \text{Log} (Q1 / Q2) \dots\dots \text{Equat IV.15}$$

Avec :

- Pc1 et Pc2 : perte de charge de forage [psi]
- Q1 et Q2 : débit de forage [gpm]

VIII.5 Calcul de la perte de charge optimale pour l'énergie hydraulique :

$$Popte = [1 / (M + 1)] \times P \text{ max} \dots\dots\dots \text{Equat IV.16}$$

Avec :

- Popt : perte de charge optimale [psi]
- M : pente
- P max : pression surface maximale [psi]

VIII.6 Calcul du débit optimal :

$$Q \text{ opt} = (Popt / P \text{ max})^{1/M} \times Q1 \dots\dots\dots \text{Equat IV.17}$$

Avec :

- Q opt : débit optimale [gpm]
- P opt : perte de charge optimale [psi]
- M : pente
- P max : pression surface maximale [psi]
- Q 1 : débit initial [gpm]

VIII .7 Calcul de la perte de charge optimale au niveau de l'outil :

$$Pbopt = P \text{ max} - P \text{ opt} \dots\dots\dots \text{Equat IV.18}$$

VIII .8 Calcul de la surface totale des duses de l'outil forage(TFA) :

$$TFA = \sqrt{(Q \text{ opt}^2 \times d) / (10858 \times Pb \text{ opt})} \dots\dots\dots \text{Equat IV.19}$$

Le tableau suivant permet de déterminer le diamètre des duses en fonction de la valeur trouvée et du nombre de duses Aire totale des duses en fonction du diamètre et du nombre de duses

Diamètre des duses	Nombre de duses									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7/32	0,038	0,075	0,113	0,150	0,188	0,225	0,263	0,301	0,338	0,376
8/32	0,049	0,098	0,147	0,196	0,245	0,295	0,344	0,393	0,442	0,491
9/32	0,062	0,124	0,186	0,249	0,311	0,373	0,435	0,497	0,559	0,621
10/32	0,077	0,153	0,230	0,307	0,383	0,460	0,537	0,614	0,690	0,767
11/32	0,093	0,186	0,278	0,371	0,464	0,557	0,650	0,742	0,835	0,928
12/32	0,110	0,221	0,331	0,442	0,552	0,663	0,773	0,884	0,994	1,104
13/32	0,130	0,259	0,389	0,518	0,648	0,778	0,907	1,037	1,167	1,296
14/32	0,150	0,301	0,451	0,601	0,752	0,902	1,052	1,203	1,353	1,503
15/32	0,173	0,345	0,518	0,690	0,863	1,035	1,208	1,381	1,553	1,726
16/32	0,196	0,393	0,589	0,785	0,982	1,178	1,374	1,571	1,767	1,963
17/32	0,222	0,443	0,665	0,887	1,108	1,330	1,552	1,773	1,995	2,217
18/32	0,249	0,497	0,746	0,994	1,243	1,491	1,740	1,988	2,237	2,485
19/32	0,277	0,554	0,831	1,108	1,384	1,661	1,938	2,215	2,492	2,769
20/32	0,307	0,614	0,920	1,227	1,534	1,841	2,148	2,454	2,761	3,068
21/32	0,338	0,676	1,015	1,353	1,691	2,029	2,368	2,706	3,044	3,382
22/32	0,371	0,742	1,114	1,485	1,856	2,227	2,599	2,970	3,341	3,712
24/32	0,442	0,884	1,325	1,767	2,209	2,651	3,093	3,534	3,976	4,418

Tableau V.15 Aire totale des duses en fonction du diamètre et du nombre de duses.

Application sur l’outil SP619 A de puits OMKZ421 :

Donne de puits :

- Profondeur : 2247m a 3308m
- Densité de fluide forage : $d = 2.04 \text{sg} = 16.99 \text{ ppg}$
- Duses de l’outil : $3 * 20/32 + 6 * 15/32$
- Pression surface maximal : $P \text{ max} = 2700 \text{ psi}$
- Pression de pompe 01 : $P1 = 2700 \text{ psi}$
- Débit 01 : $Q1 = 480 \text{gpm}$
- Pression de pompe 02 : $P2 = 2650 \text{ psi}$
- Débit 02 : $Q2 = 475,5 \text{gpm}$

D’après les équations précédentes en va calcules les diffèrent paramètres de 1 à 8 :

1- Calcul de la surface totale des duses de l'outil forage(TFA) :

$$TFA = (\phi_1^2 + \phi_2^2 + \phi_3^2 + \dots + \phi_n^2) / 1303$$

$$TFA = (20^2 + 20^2 + 20^2) / 1303 + (15^2 + 15^2 + 15^2 + 15^2 + 15^2) / 1303$$

$$= 0.92 + 1.035 = 1.955 \text{ in}^2$$

2- Calcul des pertes de charge au niveau de l'outil :

$$P_b = (d \times Q^2) / (10858 \times TFA^2)$$

$$P_{b1} = (16.99 \times 480^2) / (10858 \times 1.955^2) = 94.326 \text{ psi}$$

$$P_{b2} = (16.99 \times 475.5^2) / (10858 \times 1.955^2) = 92.565 \text{ psi}$$

3- Calcul de la perte de charge :

$$P_{c1} = P \text{ pompe 1} - P_{b1} = 2700 - 94.326 = 2605.67 \text{ psi}$$

$$P_{c2} = P \text{ pompe 2} - P_{b2} = 2650 - 92.565 = 2557.43 \text{ psi}$$

4- Calcul de la pente M :

$$M = \text{Log}(P_{c1} / P_{c2}) / \text{Log}(Q_1 / Q_2)$$

$$M = \text{Log}(2605.67 / 2557.43) / \text{Log}(480 / 475.5) = 1.983$$

5- Calcul de la perte de charge optimale (à partir de l'énergie hydraulique) :

$$P_{opt} = [1 / (M + 1)] \times P \text{ max}$$

$$P_{opt} = [1 / (1.983 + 1)] \times 2700 = 905.12 \text{ psi}$$

6- Calcul du débit optimal :

$$Q_{opt} = ((P_{opt} / P \text{ max})^{1/M}) \times Q_1$$

$$Q_{opt} = (905.12 / 2700)^{1/1.983} \times 480 = 276.61 \text{ gpm}$$

7- Calcul des pertes de charge optimale au niveau de l'outil :

$$P_{bopt} = P \text{ max} - P_{opt}$$

$$P_{b \text{ opt}} = 2700 - 905.12 = 1794.88 \text{ psi}$$

8- Calcul de la surface totale des duses de l'outil forage(TFA) :

$$TFA = \sqrt{(Q_{opt}^2 \times d) / (10858 \times P_{b\ opt})}$$

$$TFA = \sqrt{(276.61^2 \times 16.99) / (10858 \times 1794.88)}$$

$$TFA = 0.2582 \text{ in}^2$$

Analyse des résultats :

- En choisir la duses : 3 * 20/32 + 6 * 15/32 qui donné un TFA = 1.955in²
- A partir des résulta de calcul en a trouvé :

- $Q_{opt} / \phi = 276.61 / 6 = 46.10 \text{ gpm} / \text{in}$
- $P_{b\ opt} \% = P_{b\ opt} \times 100 / P_{\max} = 66.47\%$
- $B_{hhp} / \text{in}^2 = (P_{b\ opt} \times Q_{opt}) / (1714 \times \phi^2) = 1.287 \text{ psi} / \text{in}^2$
- $V_{opt} = (417,2 \times Q_{opt}) / \phi_{duses}^2 = 512.136 \text{ ft} / \text{sec}$

	résultat de calcul	valeurs recommandées
Q opt / φ	46.10gpm / in	compris entre 30 et 50 gpm / in
Pb opt%	66.47 %	comprises entre 50% et 70%
Bhhp/ in2	1.287 psi/ in2	comprises entre 1 et 4 psi/ in2
Vopt	512.136 ft / sec	compris entre 350 et 550ft / sec

Pour avoir un bon nettoyage de fond du puits dans la phase, on propose d'utiliser l'outil PDC de ENSP (SP619A) avec les paramètres optimaux suivants :

- **Débit = 276.61gpm.**
- **vitesse = 512.136 ft / sec.**

Il est très difficile de choisir l'outil le mieux adapté pour forer une formation pour de nombreuses raisons :

- Les paramètres de forage peuvent varier grandement d'un puits à un autre.
- Un même type d'outils dans les mêmes conditions peut donner des vitesses d'avancement très différentes.

La meilleure façon de procéder pour sélectionner l'outil le mieux adapté à une formation ou à une phase de forage est encore d'établir des corrélations entre les outils utilisés, les paramètres appliqués, l'usure des outils et les caractéristiques des roches à forer.

Avec les outils PDC, une seule manœuvre (une descente et une remontée de la garniture de forage) suffit pour forer toute la phase (12^{1/4}") ce qui nous permet de minimiser les temps de manœuvres (temps improductif) et par conséquent, réduire le prix de revient du mètre foré. Par contre, avec les outils à molettes (les tricônes), il faut 4 à 6 outils pour forer la phase, les outils à molettes sont pratiquement inutilisables sur le champ de Hassi Messaoud pour la phase 12^{1/4}" , ce qui laisse la place aux outils PDC qui sont : Les plus performants ; les plus économiques.

Les outils PDC présentent des caractéristiques d'usure acceptables ce qui nous permet de les redescendre dans un autre puits pour forer d'autres formations. Cela confirme la durée de vie assez longue des outils munis avec des pastilles PDC.

L'étude liée au choix des outils de forage dans la phase 12^{1/4}" sur champ de HMD nous a permis de tirer les résultats obtenus relatifs à la vitesse d'avancement (ROP) et le prix de mètre foré montrent que les outils de :

- Les compagnies ALDIM (ENSP) et Baker (Hughes) et HYCALOG sont plus performants que les outils de HDBS (Haliburton) et VAREL et SMITH (Schlumberger) dans la phase 12^{1/4}" sur champ de Hassi Messaoud.
- Celui de ALDIM (ENSP) est plus performant de point de vue avancement moyenne (ROP moy m/h) plus rentable dans la phase 12^{1/4}" sur champ de HMD, ce qui engendre une réduction du prix du mètre foré (Pm \$/m) par rapport aux outils des autres fabricants.

RECOMMANDATIONS

Suite à notre étude nous recommandons ce qui suit :

- Lors de la descente de l'outil PDC dans le puits, il faut passer doucement le sabot, les dog legs ou toute autre obstruction et il ne faut pas toucher le fond brutalement avec l'outil pour éviter son endommagement.
- Dans les formations tendres (marnes, argiles, craie ...), il est recommandé d'augmenter le poids sur l'outil par palier d'une tonne jusqu'au poids permettant d'obtenir l'avancement optimum tout en maintenant une vitesse de rotation relativement élevée.
- Dans les formations plus dures (calcaires et grès compacts), il est recommandé, à l'inverse, de prendre le fond avec une vitesse de rotation réduite (environ 70 trs/min) et d'appliquer le poids rapidement mais progressivement.
- Il est très important de maintenir un poids sur l'outil le plus constant possible pour éviter les chocs sur les taillants.
- Pour allonger la durée de vie des taillants, il est très important de diminuer le poids et/ou la vitesse de rotation avant de dégager du fond ; cela permet de réduire progressivement les forces de frottement donc réduire la température des taillants.
- Pour avoir une meilleure vitesse d'avancement dans les formations, il faut effectuer des tests de forabilité (Drill Off Test) qui détermine le couple Poids - Vitesse de rotation optimum.
- Utiliser les boues à base d'huiles avec des caractéristiques physiques et rhéologiques bien définies, qui ont tendance à améliorer les performances des outils PDC.
- Utiliser le mode de forage Top Drive avec des tiges de diamètre 5"1/2 qui, de nos jours, prendent de l'ampleur au champ de HMD et qui réduisent les vibrations et les pertes de charge dans le circuit de boue.
- Il faut bien choisir le nombre de duses et leur diamètres pour minimiser les pertes de charges ce qui est bénéfique pour le bon nettoyage du fond ainsi pour l'avancement.

Bibliographie

- [1] *ENSPM (IFP) formation industrie training - Forage. Production. Gisement 1999.*
- [2] *Wikipédia, Documents SONATRACH historique des outils de forages, 2016.*
- [3] *ENSP Site officiel 2016 / à propos de l'entreprise.*
- [4] *ENSP (présentation des départements 2016).*
- [5] *SONATRACH Géologie HMD (Document 2012)*
- [6] *CRD Géologie HMD (Document 2012).*
- [7] *Direction Eng. Et Production Dept Technique Production [Réseau routier du champ HMD]. Février 2016*
- [8] *khoja Med Thèse doctorat (Etude des performances et considérations environnementales). Février 2008 [ANNEX 1]*
- [9] *IAP Cours De Forage.*
- [10] *Grondin édition, [Les outils de Forages] SONATRACH Division Forage, janvier 2004.*
- [11] *ENSP, Les outils de Forage Formation Edition 1999.*
-

[12] ENSPM Rock bit 2004.

[13] BAALI Ahmed ET FEKHAR Mustafa

Mémoire ingénieur

*[Influence des paramètres de forage sur le choix d'un outil durant la phase
6'' de drain horizontal dans la région de HMD] édition 2013*

[14] Document HALLIBURTON Drill Bits and Services 2013.

[15] Document ReedHYcatalog (SONATRACH version)

**Bits catalogue 2009*

[16] SONATRACH Cours forage-3-Choix des outils
