

**UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA**  
**Faculté des hydrocarbures, des énergies renouvelables et des**  
**Sciences de la terre et de l'univers**  
**Département de forage et mécanique des chantiers pétroliers.**



**Mémoire de fin d'étude**  
Pour obtenir le diplôme de  
**MASTER PROFESSIONNEL**  
Domaine : sciences et technologies  
Filière : hydrocarbures  
Spécialité : forage  
Présenter par :  
BELLEK Housseyn  
BEKHTI Abderrahmane

**Thème**

**Etude des paramètres influençant la forabilité  
des puits horizontaux**

Soutenu publiquement

Le: 24/06/2018

Devant le jury

Président : M. KHELIFA Cherif.

Examinatrice : M<sup>elle</sup>. BOUHADDA Mebarka

Encadreur : M. ABIDI Saad Aissa.

MA UKM Ouargla

MCB UKM Ouargla

MCB UKM Ouargla

Année universitaire : 2017/2018

# تَشْكُرَات

بسم الله الرحمن الرحيم

نحمد الله الذي وفقنا لانجاز هذا العمل المتواضع والتمثل في إتمام  
مذكرة التخرج.

نشكر جزيل الشكر الأستاذ المؤطر عبيدي سعد عيسى الذي أفادنا  
بكل النصائح والتوجيهات لانجاز المذكرة.

نشكر كل طاقم كلية المحروقات من إدارة , أساتذة وطلبة جامعة قاصدي  
مرباح ورقلة .

وأخيرا نتقدم بفائق عبارات الاحترام والتقدير إلى الأساتذة الذين  
شرفونا بحضورهم من اجل تقييم هذه المذكرة دون أن ننسى جميع من  
ساهم في انجازها من قريب أو من بعيد



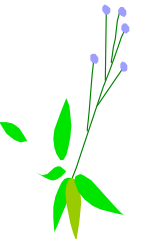
# إهداءات

اهدي هذا العمل إلى أبي المؤطر الأول منذ نشأتني

إلى أمي الغالية التي ضحت بالغالي و النفيس من اجل إيصالني إلى ما  
أنا عليه .

إلى إخوتي و أخواتي الذين أتمنى لهم النجاح و السعادة  
إلى كل عائلة بختي و عائلة حمداوي  
إلى كل أصدقائي الأعزاء لدعمهم المعنوي.

عبدالرحمان



## إهداءات

إهدي هذا العمل إلى أبي المؤطر الأول منذ نشأتي.

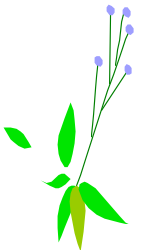
إلى أمي الغالية التي ضحت بالغالي و النفيس من اجل إيصالني إلى ما أنا عليه .

إلى إخوتي و أخواتي الذين أتمنى لهم النجاح و السعادة

إلى كل عائلة بلاك وملاحي

إلى كل أصدقائي الأعزاء لدعمهم المعنوي.

حسين



## Liste des figures.

### CHAPITRE II

Figure II. 1: puits vertical. ....	5
Figure II. 2: puits type S. ....	5
Figure II. 3: puits type J. ....	6
Figure II. 4: puits horizontal. ....	6
Figure II. 5: Réservoirs fracturés. ....	8
Figure II. 6: Réservoirs multi-couches. ....	8
Figure II. 7: coning du gaz et l'eau. ....	9
Figure II. 8: Puits horizontal simple. ....	11
Figure II. 9: profil d'un puits horizontal. ....	12
Figure II. 10: types de masse-tiges. ....	13
Figure II. 11: les deux types de l'élargisseur. ....	13
Figure II. 12: aléseurs à keyseat. ....	14
Figure II. 13: Géométrie D'un PDM. ....	15
Figure II. 14: Turbo foreuse. ....	15
Figure II. 15: Les Raccords. ....	16
Figure II. 16: sifflet déviateur (whip stock). ....	16

### CHAPITRE III

Figure .III 1: Image d'un outil tricône. ....	21
Figure .III 2: Mécanisme d'action d'un outil à molettes sur la roche. ....	21
Figure .III 3: Action d'un taillant PDC. ....	23
Figure .III 4: Mécanisme d'action d'un outil PDC. ....	24
Figure .III 5: Image d'un outil imprégné. ....	25
Figure .III 6 : L'évolution de ROP en fonction du poids sur l'outil. ....	26
Figure .III 7: le déplacement des déblais dans des puits verticaux et horizontaux. ....	29
Figure .III 8: dépôt des déblais au cours de manœuvre. ....	29
Figure .III 9: Le comportement des déblais dans différentes inclinaisons. ....	31
Figure .III 10: le nettoyage d'un trou incliné ....	31
Figure .III 11: L'effet de la pression différentielle sur la vitesse d'avancement. ....	33
Figure .III 12: L'influence de la viscosité de fluide sur ROP. ....	34
Figure .III 13: L'influence du pourcentage de solide sur ROP. ....	34

## CHAPITRE IV

Figure IV. 1: Position géographique de Hassi Messaoud avec ses gisements de gaz et de pétrole .....	36
Figure IV. 2: Description stratigraphique du puits OMMZ773.....	37
Figure IV. 3: Profil prévisionnel de du puits OMMZ773 Azimut N120°.....	38
Figure IV. 4: Profil du puits OMMZ-773.....	39
Figure IV. 5: L'évolution de ROP en fonction de poids sur l'outil.....	42
Figure IV. 6: les vitesses d'avancement de l'outil dans les différentes phases.....	43
Figure IV. 7: L'évolution de la vitesse de rotation avec l'angle d'inclinaison.....	45

## Liste Des Tableaux

### CHAPITRE III

Tableau III. 1: les vitesses minimales par pouce des diamètres des outils. ....	32
---	----

### CHAPITRE IV

Tableau IV. 1: BHA 6" OMMZ773.....	40
Tableau IV. 2: Outil utilisé au cours de la phase 16"; .....	40
Tableau IV. 3: Outil utilisé au cours de la phase 12.25" .....	41
Tableau IV. 4: Les outils utilisés au cours de la phase 8.5" .....	41
Tableau IV. 5: Les outils utilisés au cours de la phase 6" .....	41
Tableau IV. 6: les débits utilisés pendant le forage .....	43
Tableau IV. 7 : les propriétés de boue OMMZ773.....	46

## SOMMAIRE

تشكرات .....	
إهداءات .....	
Liste des figures .....	
Liste Des Tableaux .....	
SOMMAIRE .....	
INTRODUCTION GENERALE .....	

### CHAPITRE I: SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE.....	
-------------------------------	--

### CHAPITRE II : GENERALITE SUR LE FORAGE HORIZONTAL

II.1. INTRODUCTION : .....	5
II.2.Définition de forage horizontal: .....	6
II.3.Objectifs d'un forage horizontal: .....	6
II.4.Avantages du forage horizontal : .....	6
II.5. Inconvénients du forage horizontal: .....	7
II.5.1. Coûts additionnels : .....	7
II.6. Les applications de forage horizontal : .....	7
II.6.2.Réservoirs multi-couches : .....	8
II.6.3. Réservoirs à basse perméabilité : .....	8
II.6.4. Formations non consolidées - Contrôle des sables : .....	9
II.6.5. Coning du gaz et de l'eau : .....	9
II.6.6.Réservoirs d'huile lourde : .....	10
II.7. Les type de puits horizontaux. ....	10
II.7.1. les puits à rayons court ou ultra-court : .....	10
II.7.1.1.Avantage: .....	10
II.7.1.2. Inconvénient: .....	10



II.7.2. les puits à moyen rayon :	10
II.7.3. les puits à long rayon :	11
II.8. Equipements de réalisation du forage dirigé :	12
II.8.1. Equipements standards :	12
II.8.1.1. Les masse-tiges (Drill Collars : DC) :	12
II.8.1.2. Elargisseurs (opners/reamers) :	13
II.8.1.3. Aléseurs à key seat (key seat wipers):	14
II.8.2. Equipements spécifiques au forage dirigé :	14
II.8.2.1. Les moteurs de fond :	14
II.8.2.2. Stabilisateurs :	15
II.8.2.3. Outil de déflexion (Whipstock) :	16
II.8.3. Equipements de mesure :	17
II.8.3.1. Objectifs des mesures :	17
II.8.3.2. Les mesures :	17
II.8.3.3. Les types des mesures et leurs capteurs :	17

## **CHAPITRE III: LES PARAMETRES DE FORAGE**

INTRODUCTION .....	19
III-2.La forabilité: .....	19
III.3.Facteurs influençant le taux de pénétration: .....	19
III.4.Influence des paramètres mécaniques sur la vitesse de pénétration: .....	20
III.4.1.Le choix des outils: .....	20
III.4.1.1.Les outils à molettes: .....	20
III.4.1.1.1.Mode de travail d'un Tricône: .....	20
III.4.1.1.3.Classification: .....	22
III.4.1.2.Les outils PDC (Poly cristalline Diamide Compact): .....	23
III.4.1.2.1.Mode de travail de l'outil PDC conventionnel: .....	23
III.4.1.2.2.Avantage des outils PDC: .....	24

III.4.1.3.Choix des outils imprégnés:.....	24
III.4.2.Effet de WOB sur ROP:.....	25
III.4.3.Effet de la vitesse de rotation (RPM) sur ROP:.....	27
III.4.4.Usure des dents de l'outil de forage : .....	27
III.5.L'influence des paramètres hydrauliques sur ROP: .....	28
III.5.1.Effet de nettoyage du front de taille sur ROP:.....	28
III.5.1.1.Principes fondamentaux de nettoyage de trou: .....	28
III.5.1.2.Comportement de coupe dans le fond de trou: .....	28
III.5.1.3.Transport de déblais:.....	30
III.5.1.3.1.Comportement des déblais dans la plage d'inclinaison de 0° à 45°:.....	30
III.5.1.3.2.Comportement des déblais dans plage d'inclinaison de 45° à 65°:.....	30
III.5.1.3.3.Comportement des déblais dans la plage d'inclinaison de 65° à 90°:.....	30
III.5.2.Influence du débit sur ROP:.....	31
III.5.3.Vitesse minimale aux dusses : .....	32
III.5.4.Influence des caractéristiques de la boue : .....	32
III.5.4.1.La densité :.....	32
III.5.4.2.Filtration: .....	33
III.5.4.3.La viscosité: .....	33
III.5.4.4.Pourcentage d'huile dans la boue : .....	34
III.5.4.5.Pourcentage de solides dans la boue:.....	34

## **CHAPITRE IV : ETUDE DE CAS PUIITS OMMZ773**

IV.1. Introduction .....	35
IV.2. Nature des données .....	35
IV.2.1. Vue globale sur la géologie de Hassi Messaoud .....	35
IV.2.2. Procédures de forage horizontal: .....	38
IV.3. Présentation du puits pris comme exemple : .....	38
IV 3.1. Description du puits OMMZ-773 .....	38

IV.3.2 BHA utilisé dans OMMZ-773.....	40
IV.3.3.Les outils utilisés pour le forage du puits OMMZ773 : .....	40
IV.4.Les paramètres influençant sur la vitesse d'avancement du forage :.....	41
IV.4.1.Le poids sur l'outil :.....	42
IV.4.2. L'effet de débit sur l'avancement du forage :.....	43
IV.4.3. La relation entre l'angle d'inclinaison et la vitesse de rotation :.....	44
IV.4.4 .Les propriétés de la boue de forage MDZ773 :.....	45
CONCLUSION.....	49
RECOMMANDATIONS .....	50
Annexe .....	
Références Bibliographiques.....	

## **INTRODUCTION GENERALE**

Le forage peut être sommairement défini comme l'opération consiste à réaliser un trou, pour relier le réservoir à l'installation de surface. Les principaux objectifs recherchés sont la réalisation d'un trou, dans les meilleures conditions technique et de sécurité et un cout minimal.

Généralement, 60% du prix du forage sont fonction du temps mis pour atteindre l'objectif, [14] qui est par conséquence fonction des technique de forage utilisées .la plus grande partie de ces couts proportionnels au temps est liée aux travaux d'approfondissement, donc aux différents facteurs qui influent sur la forabilité d'un puits

Ces différents facteurs sont appelés le paramètre de forage.

On peut alors étudier théoriquement les paramètres influençant la forabilité d'un puits les mieux adaptés à la continuité de l'opération forage

Le choix des paramètres de forage pris le choix technique des outils , ou plus simplement non précis, entraine une augmentation du cout de forage qui, en absolu, représente un prix important.

Les paramètres de forage sont très nombreux .ils peuvent être regroupés en deux catégories

- ✓ Les paramètres mécaniques : le type de l'outil de forage, le poids sur l'outil (WOB) et la vitesse de rotation (RPM).
- ✓ Les paramètres hydrauliques: l'énergie hydraulique au niveau de l'outil et les propriétés du fluide de forage.

Cette étude concerne seulement le choix des paramètres contrôlable (mécanique, hydraulique).

Nous allons commencés par une généralité de forage horizontal, les équipements utilisés, suivis par l'identification des paramètres influençant au forabilité et dans la partie spéciale nous analyserons les paramètres utilisés dans le puits OMMZ-773, enfin nous terminerons par une conclusion et des recommandations.

**CHAPITRE I**  
***SYNTHESE***  
***BIBLIOGRAPHIQUE***

## SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Hussain RABIA [1] en 1985, a introduit certains principes de conception requis dans la planification des puits horizontaux et multilatéraux, qui sont parfois décrits comme des «puits concepteurs». Le terme Puits de concepteur a été introduit dans cette industrie principalement pour mettre l'accent sur les profils directionnels complexes qui peuvent être mis en œuvre avec la technologie d'aujourd'hui.

NOUI et FARES [2] en 2006, ont travaillé sur l'optimisation des paramètres de forage des puits horizontaux. Un modèle d'optimisation a été développé par des formules théoriques et empiriques adapté au forage horizontal. Ils sont également utilisés des méthodes mathématiques pour résoudre les problèmes dans le forage horizontal.

Adebayo et Akande [3] en 2010, ont examiné les caractéristiques de la forabilité et de résistance des roches sélectionnées au Nigeria. Huit échantillons de roche ont été sélectionnés dans différents endroits du pays et testés en laboratoire pour la résistance à la compression uni-axiale, la résistance à la traction, la dureté et l'indice de taux de forage (DRI) à l'aide d'une machine de compression de 1100 kN, d'un marteau Schmidt et d'un foret miniature. Ils ont trouvé que les caractéristiques de forabilité des roches varient d'une forabilité extrêmement faible à une forabilité faible en fonction de l'indice de taux de forage (DRI) et la plage de la durée de vie de l'outil de forage allant de très faible à extrêmement faible.

Thuro [4] en 1997, a corrélié des propriétés des roches spécifiques et des facteurs géologiques avec l'usure de l'outil de forage et la vitesse de forage. Ils ont conclu que l'usure de l'outil de forage augmente avec la teneur en quartz équivalente. La teneur en quartz équivalente constitue la propriété principale pour la teneur en minéraux utiles à l'usure. Aussi, dans les roches gréseuses, l'usure des outils dépend aussi de la porosité ou de la qualité de la cimentation.

Miyora et al [5] en 2015, ont modélisé et optimisé le forage géothermique d'un puits à Kenya. La modélisation des paramètres suivants : la rigidité de la formation, la profondeur, la compaction de la formation, la pression différentielle, diamètre du trépan, poids sur l'outil (WOB), rotation de l'outil (RPM) et l'hydraulique du trépan, a été faite en utilisant la méthode de Multiple Linear Regression. Ils ont montré comment ces paramètres affectent le taux de forage global. Ils ont montré que les paramètres de la régression linéaire multiple pour

les puits géothermiques diffèrent légèrement dans certaines constantes de régression et grandement dans d'autres constantes de régression par rapport aux paramètres de régression des puits de pétrole.

Mehaysen et AL-Mahasneh [6] en 2017, ont d'optimiser les paramètres de forage tels que WOB, ROP, RPM, le débit de forage et le diamètre du trou pour des puits à gaz. L'étude a été faite pour une profondeur à 11778.79 ft, poids sur l'outil entre 33000 lbs et 44000 lbs, une vitesse de rotation de 50 à 80 rotation par minute et un débit de 356.67 gallon / min. ils ont augmenté le temps productif du forage à 60.5% du temps total de l'opération de forage.

SOUICI [7] en 2006, a effectué une étude sur la performance des outils PDC hybrides pour le forage de la Phase 16" dans le Champ HMD. L'auteur a montré que les nouvelles générations des outils PDC (les outils hybrides) ont une grande efficacité et plus de rentabilité par rapport aux autres outils. Aussi, le forage avec les outils hybrides génère des vibrations minimales engendrées à l'enlèvement de la formation avec une vitesse maximale d'avancement.

CHIBANI et DERHEM. [8] en 2008, ont effectué aussi une étude de performance des outils de forage pour forer des drains horizontaux dans le champ de Hassi Messaoud. Leurs résultats pratiques montrent que les outils imprégnés associé à un PDM sont les plus rentables dans le cambrien Ra et les PDC associé à un PDM sont les plus rentables dans le cambrien R<sub>2</sub> du point de vue ROP et le prix de mètre foré. L'Outil imprégné HHD372 de la compagnie HUGHES est le plus rentable dans le cambrien Ra L'outil PDC FM2941 de la compagnie SDBS est le plus rentable dans le cambrien R<sub>2</sub>.

HOURA. [9] en 2010, a présenté dans son travail une approche d'optimisation des paramètres mécaniques de forage, principalement le poids appliqué sur l'outil et la vitesse de rotation. Les modèles d'optimisation proposés se basent sur les modèles de régression non linéaire, permettant la correction des paramètres en fonction de la nature des formations traversées afin de maximiser la vitesse d'avancement et la durée de vie de la structure de coupe. Il a appliqué son modèle sur les puits suivants : MDz567, MZLN-9, OMLZ-643 et IRLE-2 situés dans différents champs pétroliers Algériens. Leurs résultats obtenus montrent des possibilités de gain non négligeable de l'ordre de 10 à 30 % sur le prix total de forage.

FERREIRA [10] en 2010, a essayé d'optimiser les paramètres de forage pour un meilleur nettoyage des puits horizontaux. Ils ont montré que le débit lui-même pourrait suffire à nettoyer un

trou, mais cela prendra du temps et nécessitera plus de boue, ce qui rendra l'opération plus coûteuse. La rotation du forage et la rhéologie de la boue sont des paramètres efficaces de nettoyage des trous qui aident à enlever les déblais plus rapidement et à moindre coût et donc, aidé la forabilité de la roche.

FEAR [11] en 2009, a développé une méthode pour identifier les facteurs contrôlant le taux de pénétration (ROP) dans un groupe particulier des outils de forage. Sa méthode utilise des données de diagraphie de boue « foot-based mud logging data », des informations géologiques et des caractéristiques des outils de forage, pour produire des corrélations numériques entre le ROP et les paramètres de forage appliqués ou d'autres attributs des conditions de forage. Ces corrélations sont ensuite utilisées pour générer des recommandations pour maximiser la ROP dans les opérations de forage.

WARREN et SMITH [12] en 1985, ont étudié l'effet de la contrainte moyenne de formation au fond d'un puits au cours de forage. Ils ont trouvé que la diminution de la contrainte moyenne sur la roche au fond du puits peut engendrer une augmentation significative de volume de pore (PV). Cette augmentation de PV provoque une réduction de pression de pore locale dans une roche imperméable. La diminution de pression du pore donne une pression différentielle qui agit sur le fond du trou même si la pression du fond du puits est égale à la pression de pore in-situ. Par conséquent, dans leurs étude, la pression différentielle induite provoquera la diminution de la ROP ; ce qui est plus sévère pour une roche imperméable que pour une roche perméable.



**CHAPITRE II**  
***GENERALITE SUR LE***  
***FORAGE HORIZONTAL***

**II.1. INTRODUCTION :**

Le forage horizontal est réellement né en juin 1980 avec le forage du puits Elf Aquitaine Lacq-90 dans le sud de la France.

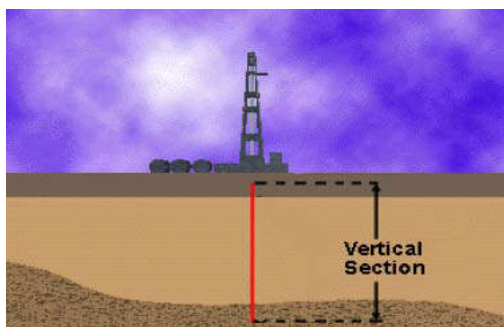
Dans notre pays, c'est en 1992 qu'a eu lieu le premier forage horizontal. Ce premier puits horizontal a été réalisée à Hassi R'mel pour l'exploitation de l'anneau d'huile dont le débit est de deux à trois fois plus élevé que les puits verticaux voisins.

Un tel succès ne s'explique que par les excellents résultats obtenus grâce à la technique du forage horizontal, malgré quelques ratés, surtout au début. Ce succès a été rendu possible par une rapide évolution technologique des équipements, à savoir :

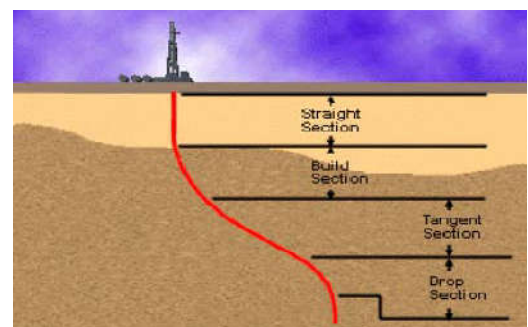
- développement des outils de mesures en temps réel ;
- développement d'une nouvelle génération de moteurs de fond ;
- évolution des fluides de forage et développement de nouvel équipement de contrôle des solides; meilleure compréhension du comportement du train de tiges.

Dans la plupart du temps, les puits sont forés avec les formes suivantes :

- Puits vertical : Figure II.1
- Puits type S. : Figure II.2
- Puits type J : Figure II.3
- Puits horizontal : Figure II.4



**Figure II. 1: puits vertical. [6]**



**Figure II. 2: puits type S. [6]**

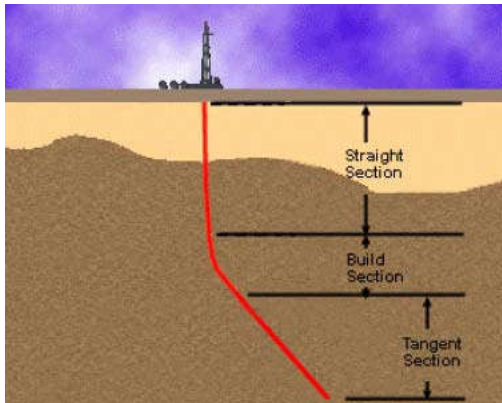


Figure II. 3: puits type J. [6]

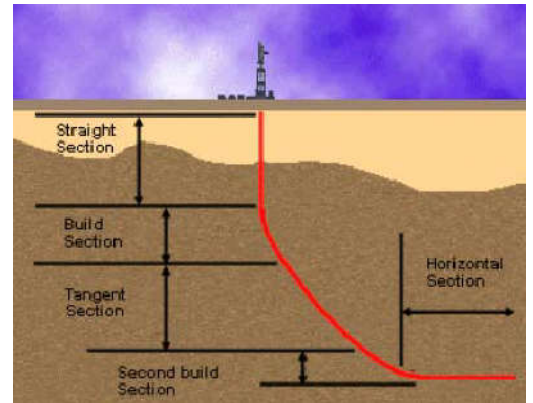


Figure II. 4: puits horizontal.

### II.2. Définition de forage horizontal:

Le forage horizontal est une méthode qui consiste à traverser le réservoir horizontalement, sur une longueur appelée drain.

### II.3. Objectifs d'un forage horizontal:

- Augmenter une longueur optimale de liaison couche-trou
- Augmenter l'efficacité et la productivité du puits
- Limiter le nombre de puits à forer sur un champ.
- Amélioration de la récupération.

### II.4. Avantages du forage horizontal :

Les avantages du forage horizontal sont nombreux et nous ne mentionnerons ci après que les plus intéressants :

- Pertes de charge diminuées.
- Vitesse des fluides moins importante.
- Contrôle des sables facilité.
- Effet de cône diminué.
- Accélération de la production.

- Réduction du nombre de puits.
- Réserves plus importantes.
- Amélioration de l'aire de drainage.
- Accroissement du taux de récupération.
- Réduction du nombre d'emplacements de la surface. [1]

**II.5. Inconvénients du forage horizontal:****II.5.1. Coûts additionnels :**

Il est évident qu'un forage horizontal a un coût plus élevé qu'un forage vertical ou peu dévié. Les coûts additionnels sont dus à deux facteurs principaux:

- les puits horizontaux sont plus longs, donc nécessitent plus de temps pour les forer, plus d'outils, plus de fluide, etc. ... ;
- le coût des services de forage dirigé n'est pas négligeable en particulier par l'obligation d'utiliser en permanence un moteur de fond et un MWD ;
- Le coût additionnel d'un forage horizontal par rapport à un forage vertical dépend essentiellement de la profondeur du réservoir et de sa position, onshore or offshore.

-Un puits foré dans un réservoir onshore peu profond sera comparativement plus cher qu'un puits foré offshore dans un réservoir profond dont le surcoût pourrait ne pas dépasser 20 à 30%. [2].

**II.6. Les applications de forage horizontal :**

Les réservoirs sont parmi les meilleurs candidats au développement par un forage

**II.6. 1-Réservoirs fracturés :**

Les fractures de ces réservoirs étant sub-verticales, une conséquence directe est que le meilleur moyen d'en intercepter le plus grand nombre est de forer un puits horizontal.

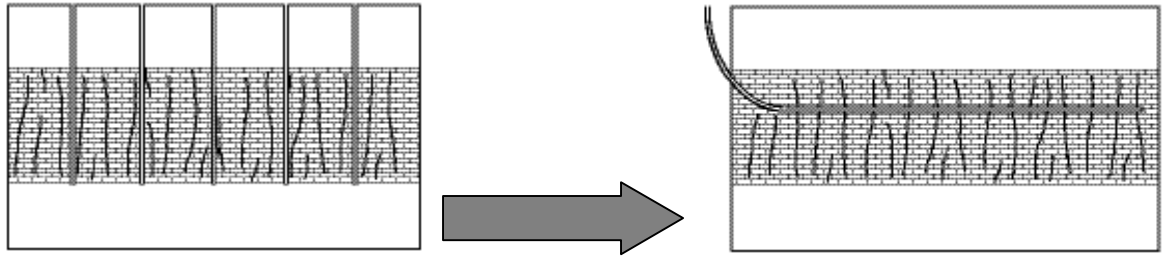


Figure II. 5: Réservoirs fracturés. [2]

### II.6.2. Réservoirs multi-couches :

Dans la plupart des réservoirs multi-couches un puits horizontal peut remplacer plusieurs puits verticaux ou déviés.

La figure I.6 illustre un tel cas de réservoir compartimenté ou un seul puits horizontal remplace six puits verticaux et de plus améliore la production en retardant le coning. [2]

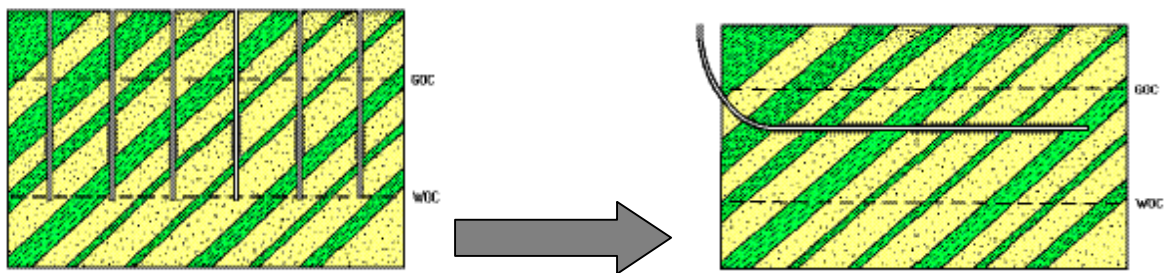


Figure II. 6: Réservoirs multi-couches. [2]

### II.6.3. Réservoirs à basse perméabilité :

Le forage horizontal dans un réservoir à basse perméabilité est une alternative à la fracturation de ce réservoir.

Le drain horizontal se comporte comme une fracture, avec plusieurs avantages:

- il est plus facile et plus économique de forer un long drain plutôt que d'essayer de créer une fracture équivalente ;

**II.6.4. Formations non consolidées - Contrôle des sables :**

La production de sables non consolidés présente de sérieux problèmes pour limiter la quantité de sable entrant dans le puits.

Cette production de sable dépend des forces de viscosité à la paroi du puits, elle même proportionnelle au débit de production.

Un drain horizontal foré dans un tel réservoir permet de réduire la vitesse à la paroi et en conséquence la production de sable, qui peut aller jusqu'à être totalement éliminée.

Une autre conséquence est que ces puits peuvent quelquefois être produits sans mise en place de coûteuses crépines calibrées. [2]

**II.6.5. Coning du gaz et de l'eau :**

Beaucoup de réservoirs sont produits grâce à un aquifère actif ou par injection artificielle. La production déclinera très rapidement si le niveau d'eau remonte trop vite dans le puits comme le montre dans la figure I.7.

Le forage horizontal aide énormément la production de tels réservoirs:

- en augmentant la distance entre le drain et le contact huile/eau ;
- en améliorant la productivité en dispersant le soutirage et donc en diminuant la
- succion sur le plan d'eau. [2]

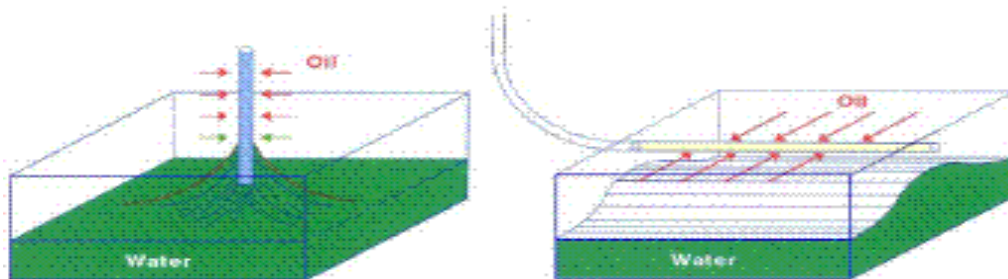


Figure II. 7: coning du gaz et l'eau.

**II.6.6. Réservoirs d'huile lourde :**

Les réservoirs d'huiles lourdes sont une application directe des considérations ci-dessus. Comme l'eau est beaucoup plus mobile que l'huile, la quantité d'eau augmente très rapidement dès la percée du plan d'eau. La durée de la période libre d'eau augmente à l'aide du forage horizontal. [2]

**II.7. Les type de puits horizontaux.**

Il y a trois types de puits horizontaux :

**II.7.1. les puits à rayons court ou ultra-court :**

Avec des rayons de courbure pouvant atteindre 5 à 6 mètres, seulement réalisable avec des équipements spécifiques. [2]

**II.7.1.1. Avantage:**

- Permet des virages serrés dans des réservoirs minces.
- Le moteur et le tube de forage entraînés. [3].
- Les latéraux peuvent être complétés et attachés en utilisant des doublures spéciales.

**II.7.1.2. Inconvénient:**

- Mauvais contrôle directionnel, doit serpenter à gauche puis à droite.
- Outils spéciaux et équipement requis. [3].

**II.7.2. les puits à moyen rayon :**

Utilisant des rayons de courbure compris entre 80 et 200 m ( $3 < \text{deg}/10\text{m} < 7$ ). [2]

Le taux d'accumulation pour ce type est généralement de 8-30 degrés / 100ft avec un rayon de 200 à 700 pieds.

Le drain horizontal est habituellement entre 1000 et 3500 pieds.

Un profil de puits typique comprend une section de construction tangente et une section de construction horizontale. Deux différents BHA seront donc nécessaires pour ce type de puits

La deuxième section d'accumulation devrait idéalement commencer au sommet de la «zone de marquage» et devrait atteindre un maximum de 85-100 degrés à l'entrée dans le réservoir. Un ensemble de maintien d'angle devrait être utilisé pour percer la section horizontale. [3]

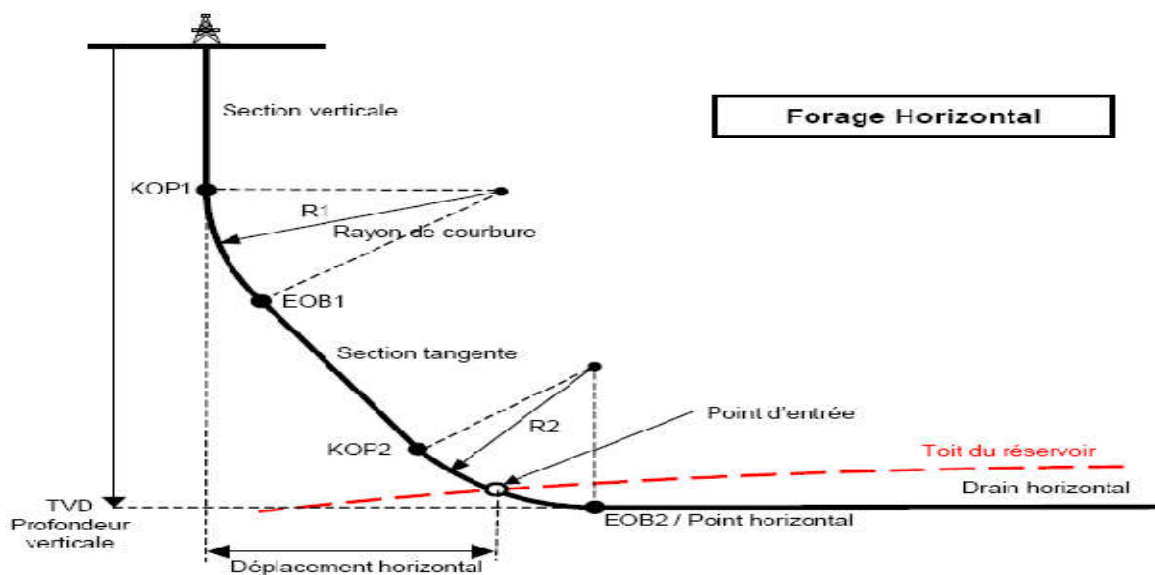
**II.7.3. les puits à long rayon :**

Utilisant des rayons de courbure excédant 200 mètres (gradients < 3 deg/10m).[2]

C'est le type le plus commun de puits horizontaux en particulier au large. Le taux d'accumulation est généralement de 2 à 6 degrés / 100ft.

Une seule section de construction se terminant dans la section horizontale.

Une tangente de construction puis une section latérale de construction plus élevé. [3]

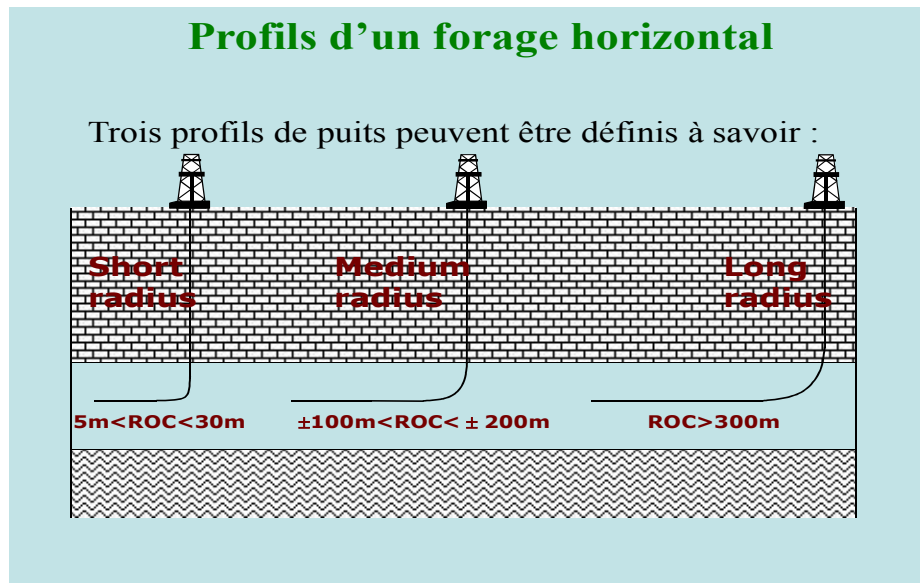


**Figure II. 8: Puits horizontal simple. [2]**

On peut aussi distinguer les puits par leur déplacement horizontal au point d'entrée.

- les puits à faible déplacement horizontal.
- les puits à déplacement moyene.
- les puits à long déplacement. [2]





**Figure II. 9: profil d'un puits horizontal. [3]**

## II.8. Equipements de réalisation du forage dirigé :

Durant la réalisation d'un puits dévié, on utilise des équipements de forage tantôt standards et tantôt spécifiques, dont chaque composant doit être bien choisi selon plusieurs facteurs tels que la nature de formation à traverser ainsi que les caractéristiques physiques et mécaniques du matériau ou de forme, ainsi que l'opération à effectuer (forage rectiligne, verticale, dog legs, ...).[4]

### II.8.1. Equipements standards :

#### II.8.1.1. Les masse-tiges (Drill Collars : DC) :

Les masses tiges peuvent nous aider à dévié, maintenir ou éliminer la déviation, il suffit de trouver leur poids optimum, leurs dimensions (diamètres) et leurs matériaux (module d'élasticité), car la rigidité de la masse tige est liée au moment d'inertie en flexion.

Il existe plusieurs types de masse-tiges selon leurs utilités telles que :

- Les masse-tiges lisses (Slick DC) ;
- Les masse-tiges spiralées (spiraled DC) ;
- Les masse-tiges carrées (squared DC). [4]

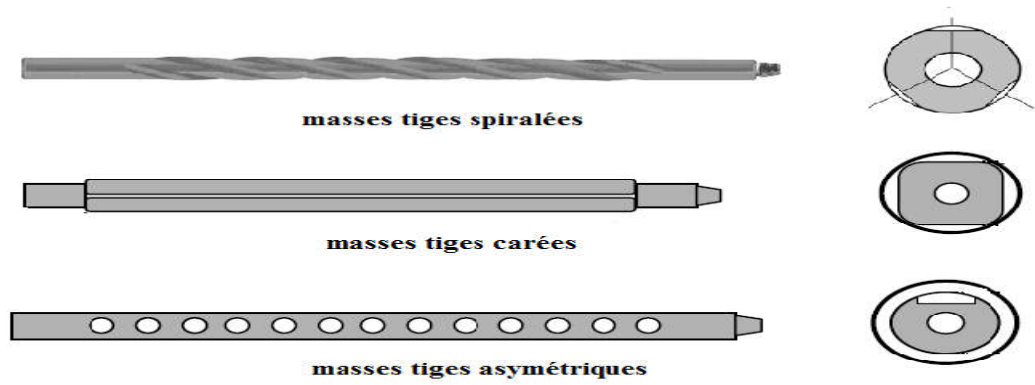


Figure II. 10: types de masse-tiges. [5]

II.8.1.2. Elargisseurs (opners/reamers) :

Plusieurs causes nous obligent de forer en premier lieu en petit diamètre, puis on aura besoin d'élargir ce trou ensuite, sont :

- ✓ La sécurité : pour détecter ou contrôler une venue ;
- ✓ L'évaluation : pour effectuer une diagraphie de qualité ;
- ✓ En forage dirigé : pour effectuer un bon contrôle ;
- ✓ La probabilité de changement de programme : en cas d'existence du risque d'abandonner ou possibilité d'effectuer un sidetrack. [4]

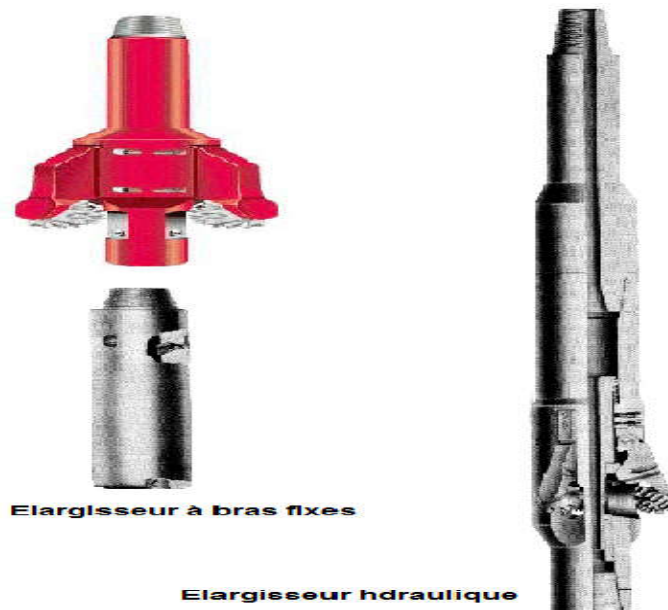
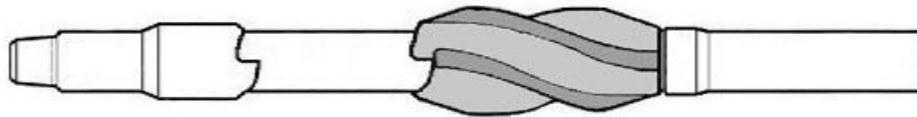


Figure II. 11: les deux types de l'elargisseur. [4]

**II.8.1.3. Aléseurs à key seat (key seat wipers):**

Une chemise couissant sur un mandrin possédant à son pourtour des lames agressives, elle coulisse et tourne librement en cours de descente ou lors du forage et se bloque en montée à sur un ergot, en tournant en fonction de la rotation du train de tige est utilisée pour maintenir le diamètre d'un trou ayant tendance à se resserrer, réduire les dog legs, prévenir ou éliminer les Key-seats. [4]



**Figure II. 12: aléseurs à keyseat. [4]**

**II.8.2. Equipements spécifiques au forage dirigé :****II.8.2.1. Les moteurs de fond :**

Il existe deux type du moteur de fond, sont :

**a. Moteurs volumétrique (hydraulique ou à déplacements positifs) PDM :**

Ses éléments principaux sont :

- ✓ Le rotor : pièce hélicoïdale en acier inoxydable ;
- ✓ Le stator : élastomère moulé en forme d'hélice interne avec une spire supplémentaire par rapport au rotor.

Quand le fluide de forage est pompé à travers le moteur, une montée de pression apparait entraînant la rotation du stator et permettant le passage du fluide dans la cavité voisine, Le fluide progresse alors de cavité en cavité entraînant ainsi une rotation régulière du rotor.

La vitesse de rotation est proportionnelle au débit à travers le moteur. [4]

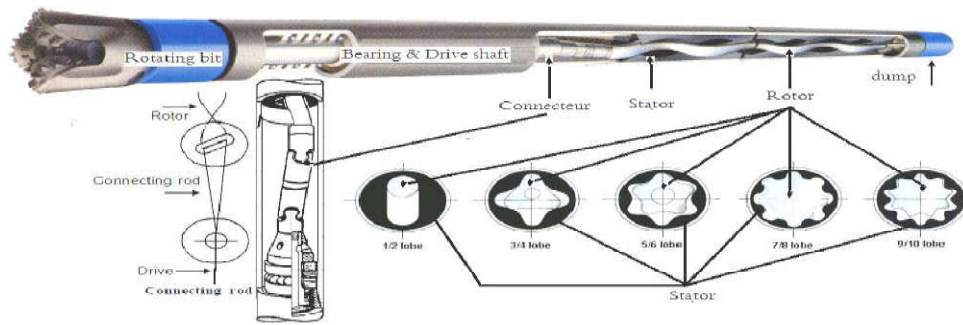


Figure II. 13: Géométrie D'un PDM. [4]

**b. Turbo foreuses :** entraine directement l'outil de forage.

Les turbo foreuses sont de type multi-étages à écoulement axiale, chaque étage comprend un stator à ailettes (aubages) de distribution de la boue sur un rotor identique qui transforme l'écoulement en couple moteur.

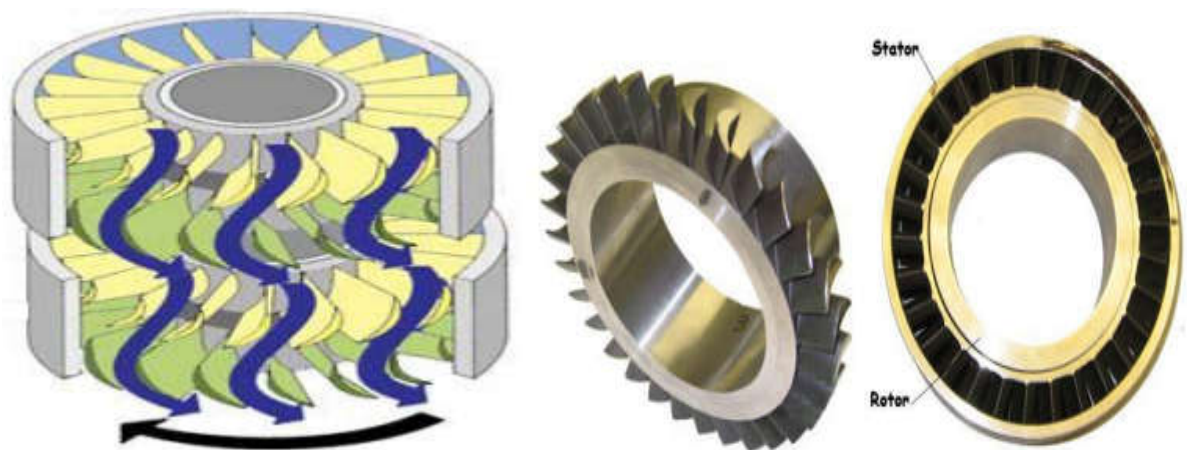


Figure II. 14: Turbo foreuse. [5]

**II.8.2.2. Stabilisateurs :**

Sont des outils constitués par des lames installés sur des corps tubulaires de la même phase des masses tiges.

Le diamètre des lames est égal ou inférieur à celui de l'outil de forage, ces lames centrent les masses tiges dans le puits par ces plusieurs points d'appuis.

Les stabilisateurs peuvent être installés soit :

- ✓ Directement sur l'outil de forage → near-bit ;

✓ Plus haut dans la BHA → string.

Ils existent plusieurs types de stabilisateurs, selon la conception de leurs lames, tels que : les lames soudées, lames intégrales, stabilisateurs (à chemise, à chemise non rotative, à diamètres variables, clamp on). [4]

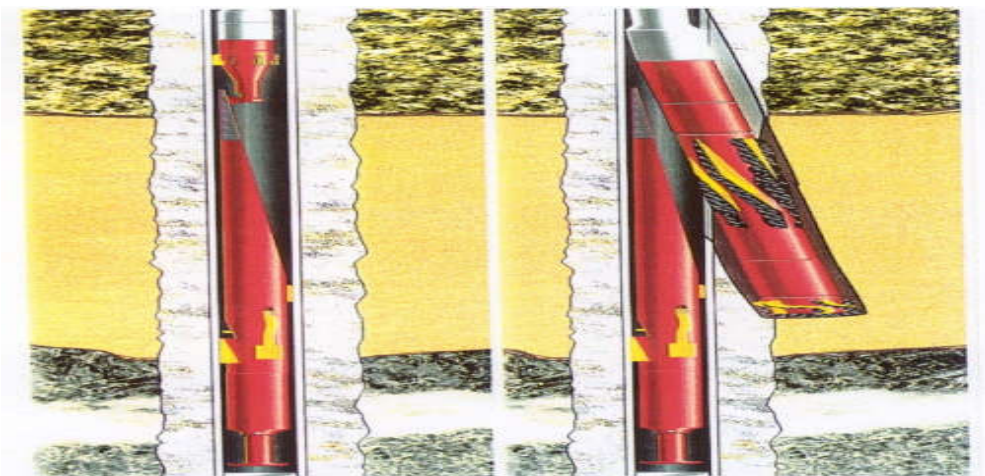


**Figure II. 15: Les Raccords. [5]**

**II.8.2.3. Outil de déflexion (Whipstock) :**

C'est un sabot d'acier dont la surface intérieure est concave et sur laquelle viendra s'appuyer l'outil de forage, utilisé pour riper vers la paroi et sortir du puits initial.

Il existe des whipstocks permanents ou récupérables, orientables ou non orientables, comme on peut les utilisés en trou ouvert pour réaliser un sidetrack ou commencer un drain latéral ou dans un tubage pour ouvrir une fenêtre (ré-entrés).



**Figure II. 16: sifflet déviateur (whip stock). [2]**

**II.8.3. Equipements de mesure :****II.8.3.1. Objectifs des mesures :**

- ✓ Eviter les coudes et les dog legs générateurs des frottements, coincements et ruptures de la garniture ;
- ✓ Suivre tant que possible la trajectoire théorique programmée afin d'atteindre la cible objective ;
- ✓ Pouvoir éventuellement intervenir ou tuer le puits en cas d'éruption (relief well).

**II.8.3.2. Les mesures :**

Concernent l'inclinaison, l'azimut et la longueur forée, ils sont ponctuels et espacés selon le programme de forage, dépendent de l'appareillage utilisé, dont la précision est d'un ordre supérieur à l'ordre centimétrique ou décimétrique.

**II.8.3.3. Les types des mesures et leurs capteurs :**

Les mesures s'effectuent pour détecter : la profondeur, l'inclinaison et l'azimut, en utilisant des capteurs, fonctionnant selon deux modes gyroscopique ou magnétique, dont :

- Les magnétiques → détectent le champ magnétique terrestre, en utilisant la gravité terrestre ;
- Les gyroscopiques → basés sur l'inertie, en se repérant par le nord vrais

**❖ La longueur :**

On peut connaître la profondeur forée (le déplacement de l'outil) soit par :

- L'addition des longueurs des tiges et garnitures de forage (connus chacun à  $\pm 5$  mm près)
- La longueur du câble porteur de la sonde de logging.

**❖ L'inclinaison :**

On peut la mesurer par des simples capteurs, les inclinomètres ou les accélérateurs.

**✓ L'inclinomètre :**

Est un capteur servant à mesurer la déviation par rapport à la ligne verticale.

**✓ L'accéléromètre :**

Est un capteur qui fixé à un mobile ou tout autre objet, permet de mesurer l'accélération linéaire de ce dernier.

On peut citer comme instrument utilisant les accéléromètres : le Steering tool, le MWD (Measurement While Drilling), ... etc.

**❖ L'azimut :**

La position géographiques des cibles intermédiaires selon les référentiels : magnétiques ou géographiques peuvent être effectués par l'intermédiaire de :

**✓ Aiguille aimantée ;**

✓ **Magnétomètre :** Appareil muni d'un capteur de champ magnétique permettant de mesurer le champ magnétique d'un dispositif.

✓ **Gyroscope :** le capteur de position angulaire, il donne la position angulaire.

✓ **Système inertiel :** est une centrale inertielle, c'est un appareil destiné à fournir les informations de position, de vitesse, d'accélération à partir d'une référence précise.

**✓ Measurement while drilling:**

- Systèmes à mesures avancées : des MWD très sophistiqué, réaliser certains mesures (l'inclinaison, le gamma ray, toolface, azimit et la résistivité, a l'aide de capteurs : accéléromètre et magnétomètre) à partir d'un raccord situé juste derrière l'outil de forage (géo steerable) ;

- Système de navigation en rotation (rotary steerable). [2]

**CHAPITRE III**  
**LES PARAMETRES DE**  
**FORAGE**



## INTRODUCTION

Les paramètres de forage sont des données primordiales pour planifier et réaliser un forage. Plusieurs tentatives théoriques et pratiques ont été effectuées pour capter et contrôler ces données. Les études théoriques consistent à établir des relations rationnelles ou empiriques entre les différents paramètres, tandis que les appareils de mesure ont le rôle de capter fidèlement les paramètres dans les différentes phases de forage. [6]

### **III-2. La forabilité:**

C'est la résistance de la roche à la pénétration par une technique de forage, c'est un terme employé dans la construction pour décrire l'influence d'un certain nombre de paramètres sur le forage et l'usure des outils de forage.

La pénétration des roches est influencée par les propriétés de la roche aussi bien que par les paramètres de la machine (l'appareil). [7, 8]

### **III.3. Facteurs influençant le taux de pénétration:**

Le taux de pénétration est influencé par plusieurs paramètres les quels sont classés dans deux classifications générales : Contrôlables et Environnement (incontrôlables).

Les facteurs contrôlables sont des facteurs qui peuvent être immédiatement changés comme le poids sur l'outil, vitesse de rotation, l'hydraulique (débit...).

Les facteurs environnementaux ne sont pas contrôlables comme les propriétés de la formation, les exigences des fluides de forage. La raison pour laquelle le fluide de forage est considéré comme un facteur environnemental est dû au fait que la valeur de densité requise est nécessaire pour atteindre certains objectifs, comme avoir suffisamment de surpression pour éviter l'écoulement des fluides de formation, mais, cette valeur est affectée par les débris existés dans le trou lors de forage. Un autre facteur important qui est l'effet de l'hydraulique globale sur l'ensemble de l'opération de forage qui est sous l'effet de nombreux facteurs tels que la lithologie, le type de l'outil de forage, les conditions de pression et de température de trou, les paramètres de forage et principalement les propriétés rhéologiques du fluide de forage. Taux de pénétration de la performance dépend et est une fonction des facteurs contrôlables et environnementaux. Par exemple, il a été observé que le taux de pénétration de

forage augmente généralement avec la diminution de la densité de circulation équivalente (ECD). [9]

### **III.4. Influence des paramètres mécaniques sur la vitesse de pénétration:**

#### **III.4.1. Le choix des outils:**

Il existe un vaste critère de choix des outils de forage, Cependant ces outils dans leur grande majorité ont été conçus pour forer des puits verticaux, or il existe des différences majeures entre le travail demandé à un outil dans un puits vertical et celui dans un puits horizontal.

- ❖ Les facteurs de choix des outils sont:
  - ✓ La vitesse de rotation de l'outil (RPM)
  - ✓ Le poids sur l'outil (WOB)
  - ✓ La tendance de l'outil à s'écarter de l'axe du puits
  - ✓ Les charges d'impact sur l'outil. [10]

Ils existent deux types des outils :

#### **III.4.1.1. Les outils à molettes:**

Il existe plusieurs types d'outils à molettes à dents en acier notamment :

- les Bicônes (2 cônes),
- les Tricônes (3 cônes)

#### **III.4.1.1.1. Mode de travail d'un Tricône:**

L'efficacité d'un outil à molettes dépend de sa capacité à broyer la roche et à évacuer les morceaux. Le tricône travaille par :

- percussion et pénétration de la dent dans la formation pour avoir un meilleur avancement. Il est donc logique que : plus le terrain est tendre, plus la dent devra être grande. L'outil produit

une série de petits cratères résultant de la pression exercée par chaque dent sur le front de taille. La contrainte de compression appliquée sur la formation induit une fracture.

- Arrachage du "copeau" de terrain par glissement de la molette sur elle-même. Ce "glissement" devra être plus important en terrain tendre qu'en terrain dur.

Comme il mentionne dans la figure III.1, le constructeur fournit deux modèles de l'outil tricône : outil à dents fraisé et outil à dents fixé.



Figure .III 1: Image d'un outil tricône. [11]

III.4.1.1.2.Mode de destruction de la roche:

La figure suivante montre comment pénétrer les dents des outils tricônes dans la roche

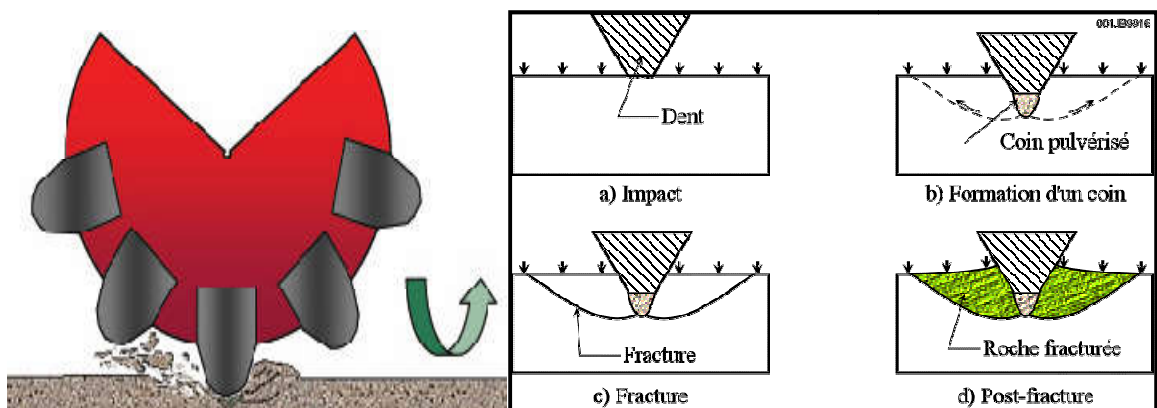


Figure .III 2: Mécanisme d'action d'un outil à molettes sur la roche. [11]

**III.4.1.1.3. Classification:**

Trois classifications de formation, tendres, moyennes et dures sont associées aux types d'outil à dents en acier correspondants.

- a. Les outils pour formations tendres:** sont caractérisés par leurs longues dents largement espacées. Ils pénètrent facilement la formation et maintiennent une vitesse d'avancement de forage élevée en raison de l'action d'écrasement et de balayage produite par le profil de la molette et l'excentricité des cônes (offset).

La conception est basée sur un petit roulement, mais la structure agressive des éléments de coupe assure des vitesses de pénétration élevées. D'une façon générale, les poids sur l'outil sont faibles, alors que les vitesses de rotation sont élevées. Un renforcement des faces d'attaques des dents est recommandé pour améliorer la résistance à l'usure et pour prolonger la vie des structures de coupe.

**b. Les outils pour formations Mi-dures (ou Moyennes) :** Afin d'être efficace dans une roche plus ferme, les outils pour formations moyennes ont des dents plus courtes, plus nombreuses et plus rapprochées. Les dents plus courtes offrent plus de résistance aux contraintes élevées qui sont un résultat direct d'un poids sur l'outil plus important dans un environnement plus dur et plus abrasif. Le renforcement des faces d'attaques de la dent augmentera la résistance à l'usure, mais réduit la résistance de la dent à l'ébrèchement et à la cassure, cet effet est dû à la faible résistance à l'impact du renforcement par rapport à l'acier du corps de la dent.

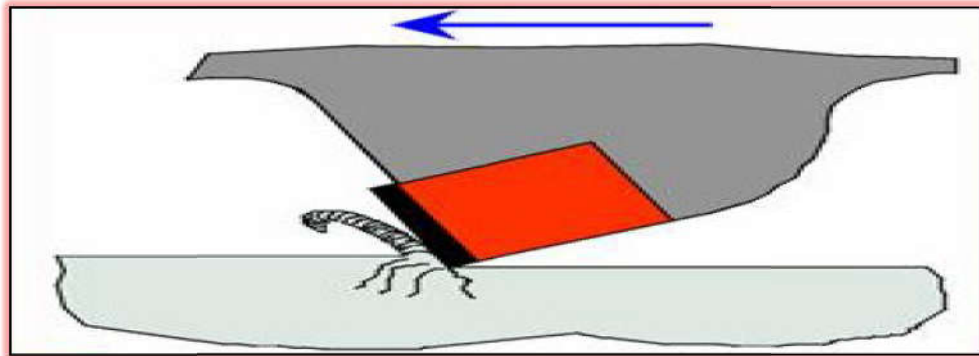
**c. Les formations dures:** exigent encore des dents plus courtes et plus étroitement rapprochées pour additionner les forces nécessaires pour broyer la roche dure. Le renforcement des dents est réduit au minimum pour empêcher la cassure, alors que le renforcement sur le diamètre est maximal pour prévenir l'usure excessive sur le diamètre. Les poids sur l'outil sont élevés, alors que les vitesses de rotation sont faibles. Ces conceptions permettent un temps de contact adéquat pour écraser la formation. Le « rouler vrai » de l'outil dû à la réduction de l'excentricité des molettes (offset nul) réduit au minimum l'usure par abrasion de la structure de coupe. [11]

**III.4.1.2. Les outils PDC (Poly cristalline Diamide Compact):**

Le PDC se trouve en générale sous la forme d'une fine lamelle de diamant synthétique (épaisseur de 0,5 mm) avec des impuretés de Cobalt, placées sur un substrat de courbure de tungstène.

**III.4.1.2.1. Mode de travail de l'outil PDC conventionnel:**

L'outil brise la roche directement par cisaillement plutôt que d'utiliser la charge compressive, dépense une énergie spécifique inférieure. Ce qui donne au PDC l'action de coupe la plus efficace. En règle générale, la résistance au cisaillement est approximativement la moitié de la résistance compressive.



**Figure .III 3: Action d'un taillant PDC. [11].**

L'outil travaille comme un outil PDC conventionnel, assurant le maximum de vitesse d'avancement

Quand une formation plus tendre est tendre de nouveau rencontre, le taillant PDC le plus efficace prend en charge la coupe et l'efficacité de forage reste élevée.

La figure III.4 montre le comportement des outils PDC par rapport différentes types de formation et l'action d'un taillant PDC.

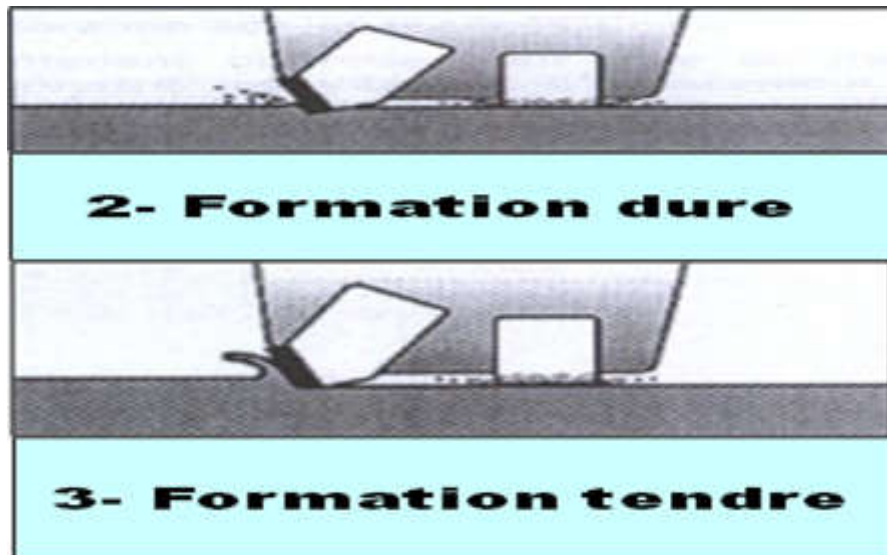


Figure .III 4: Mécanisme d'action d'un outil PDC. [11]

#### III.4.1.2.2. Avantage des outils PDC:

Ils fournissent une durée de vie plus longue tout en maintenant une vitesse d'avancement élevée. [10]

#### III.4.1.3. Choix des outils imprégnés:

Ces outils sont destinés aux formations très dures et très abrasives, ils présentent l'outil le plus performant pour les formations quartzitiques et grès quartzitique. Leur principe de fonctionnement base sur :

L'alésage de la roche par les cutters (l'angle de coupe devient nul La protection des taillants à l'usure par abrasion.

- De meilleures caractéristiques de torque.
- Une amélioration de la protection du diamètre

Moins de taillants pour forer une formation donnée [11]. Comme il est montre dans la figure III.5.



**Figure .III 5: Image d'un outil imprégné. [12].**

#### **III.4.2.Effet de WOB sur ROP:**

Le poids sur l'outil de forage (WOB): est la valeur de la force axiale appliquée sur la formation au fond de trou pour casser la roche par l'outil de forage le WOB est calculé se basant sur la différence entre le poids de la garniture mesuré à la surface avant le forage et pendant le forage.

D'après des études en laboratoire et des essais effectués sur les chantiers, il a été constaté qu'à une vitesse de rotation constante, si on augmente le poids appliqué sur l'outil, on enregistre une augmentation de la vitesse d'avancement. Cette augmentation varie en proportion directe du poids sur l'outil.

La règle de base est d'une tonne par pouce de diamètre d'outil dans les terrains tendre et trois (3) tonnes dans les terrains dure.

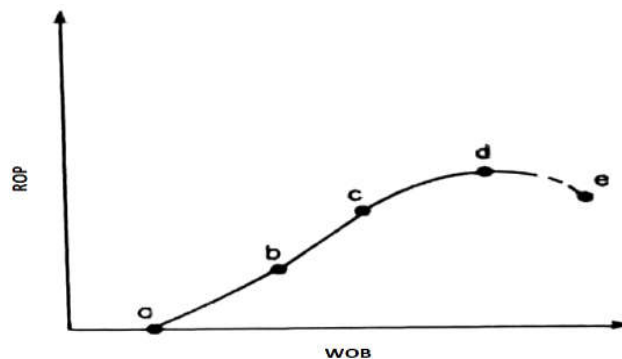
Toutefois, la vitesse d'avancement peut atteindre un maximum si le poids appliqué à l'outil atteint la charge limite qui fait pénétrer entièrement une dent dans la formation tout poids supplémentaire est supporté par le corps du cône qui s'applique contre la formation et il en résulte une diminution de la vie du roulement sans augmentation correspondante de la vitesse d'avancement.

Cette charge limite est d'autant plus importante que le terrain est plus dur et peut ne pas pouvoir être atteinte. En plus de cette charge limite, le poids sur l'outil est limité par sa construction même, c'est -à- dire par son type.

Le poids sur l'outil peut également être limité par le poids de la masse tiges utilisée. Si l'on applique sur l'outil un poids plus élevé que celui qui est disponible en masse- tige, on risque :

- ✓ Le flambage et la rupture des tiges.
- ✓ La déstabilisation de la formation tendre.
- ✓ La déviation dans les formations à fort pendage. [14]

Le seuil du poids de l'outil est le poids minimum appliqué sur la roche étant forée à lequel l'outil commence à forer. Au-dessous de ce seuil du poids de l'outil, aucun taux significatif de pénétration n'est réalisé. La relation entre ROP et le WOB tenant tous autres facteurs constants est comme représenté sur le schéma II.6.



**Figure .III 6 : L'évolution de ROP en fonction du poids sur l'outil. [09]**

Il n'y a aucun ROP significatif réalisé jusqu'à ce que le seuil du WOB soit appliqué montré par le point « a ». Après l'application du seuil de WOB, on observe une augmentation rapide dans le ROP avec l'augmentation modérée de WOB (section a-b). Ensuite, une relation linéaire entre ROP et WOB est observée pour un WOB modéré (section b-c) et à des valeurs plus élevées de WOB, plus d'augmentation de WOB n'entraîne qu'une légère augmentation de la ROP (section c-d). Dans certains cas, on observe une diminution dans le ROP pour des valeurs extrêmement élevées de WOB comme vu de la section (d-e). Ce comportement s'appelle le patauge de l'outil de forage, il est attribué au faible nettoyage de trou au fond du trou dû à la génération élevée des débris. [13]



**III.4.3.Effet de la vitesse de rotation (RPM) sur ROP:**

L'effet de la vitesse de rotation sur le taux de pénétration de l'outil à roue dentée est légèrement plus difficile à évaluer que l'effet du poids de l'outil. La rotation du train et de l'outil de forage est associée aux vibrations qui commencent de l'outil de forage. Ces vibrations influencent sur l'action de l'outil sur la roche et donc peuvent provoquer l'échec du processus de forage de la roche. Afin d'éviter de tels résultats défavorables, la pratique de forage a tendu vers des vitesses de rotation plus lente avec de plus grands poids sur l'outil pour obtenir des vitesses plus rapides de pénétration. [28]

Avec des RPM de l'outil de forage croissantes, le taux de forage (ROP) augmente, atteint un maximum puis diminue. L'augmentation de la vitesse de rotation des trépan diminue leur durée de vie en infligeant une usure intense aux roulements, réduisant ainsi le nombre de mètres par passage. Pour le forage géothermique, il est devenu pratique courante de forer avec un moteur hydraulique à la profondeur totale du puits, et pas seulement la partie de build-up des puits déviés. Puisque, la vitesse de rotation finale du bit est plus que doublée avec une amélioration correspondante de la vitesse de pénétration.

La vitesse de rotation peut être limitée également :

- ✓ Par la vibration du train de tige (phénomène de résonance qui peut être la cause de fatigue et de rupture).
- ✓ Par certains type d'outil qui travaillent par broyage ;le facteur de poids est plus important ;une vitesse de rotation excessive entrainerait une diminution de la vitesse d'avancement ainsi que la détérioration des pastilles en carbure de tungstène
- ✓ Par les frottements en forage dévié. [14]

**III.4.4.Usure des dents de l'outil de forage :**

La plupart des outils de forage tendent à forer plus lent pendant que la course de l'outil de forage progresse en raison de l'usure de dent. Cette usure est très importante dans certains terrains durs et abrasifs, d'où la diminution du taux de pénétration de cette partie du forage. [6]

**III.5.L'influence des paramètres hydrauliques sur ROP:**

Pour refroidir correctement les dents et éviter de le bruler, il est important d'avoir un débit circulation important

Le respect d'un débit de circulation élevé est prépondérant pour les outils de forage tout d'abord pour refroidir les taillants et ensuite pour nettoyage le front de taille. [14]

**III.5.1.Effet de nettoyage du front de taille sur ROP:****III.5.1.1.Principes fondamentaux de nettoyage de trou:**

Le nettoyage des trous est l'un des plus grands défis dans le forage des puits fortement déviés. Malgré toutes les améliorations récentes dans les technologies et les procédures, nous ne pouvons pas encore savoir ce qui se passe réellement dans le fond, même si des efforts ont été faits pour comprendre ce qui se passe par rapport aux déblais et aux conditions de forage.

**III.5.1.2.Comportement de coupe dans le fond de trou:**

A mesure que l'inclinaison augmente, il est difficile d'amener les déblais à la surface. Le nettoyage du trou dans la phase verticale dépend de la vitesse dans l'annulaire. Dans les puits verticaux, les déblais se déplacent autour du tube de forage à travers le chemin d'écoulement. D'autre part, dans les fortes inclinaisons, le passage du fluide est essentiel au-dessus du tube de forage, le problème est que les déblais tombent rapidement sur le côté bas du trou, où le trajet d'écoulement est très lent.

La figure III.7 explique la différence entre le déplacement des déblais dans des puits verticaux et horizontaux.

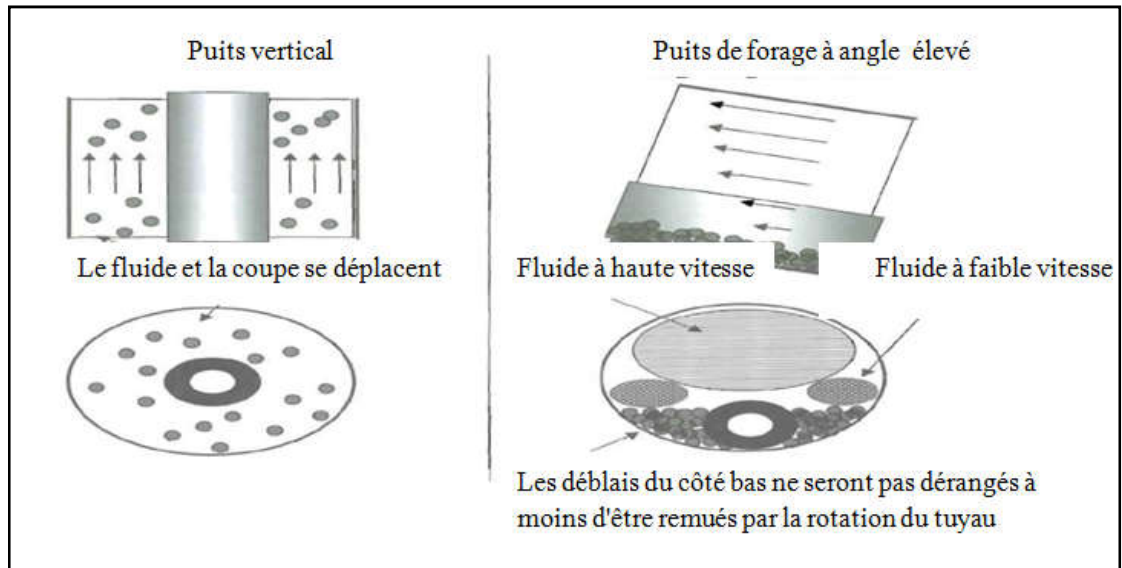


Figure .III 7: le déplacement des déblais dans des puits verticaux et horizontaux. [17]

L'espace annulaire augmente après le BHA, ce qui conduit à une diminution de vitesse annulaire. Avec cette diminution, les déblais tombent rapidement au bas du puits et s'accumulent pour former des dunes. Si les dunes atteignent une hauteur critique, il est possible d'emballer le trou avec des déblais une fois que la rotation commence. Il est essentiel d'empêcher les dunes d'atteindre une hauteur critique, et il est important de prendre en compte ce phénomène avant de commencer la rotation. La figure II.8 montre comment les dunes se forment lorsqu'elles quittent le BHA;

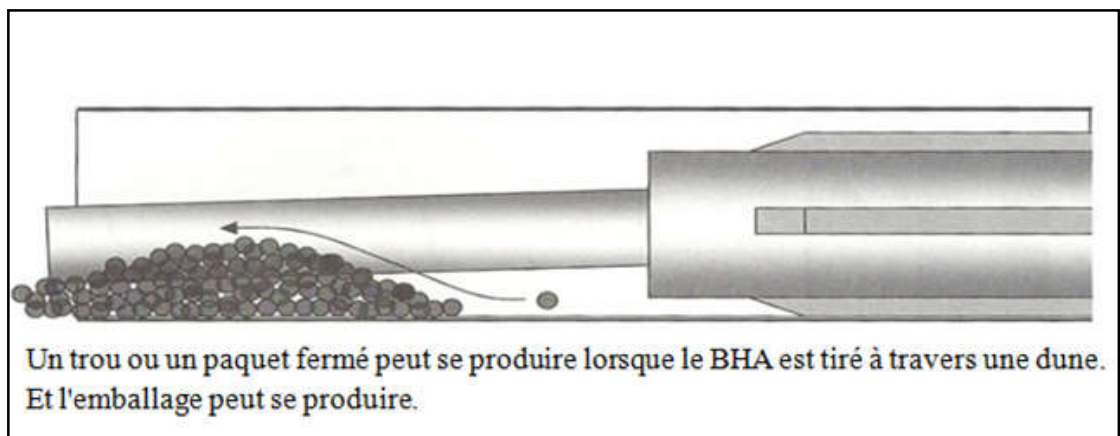


Figure .III 8: dépôt des déblais au cours de manœuvre. [17].

Sur les pentes de 45 ° à 65 °, le transport de déblais devient encore plus critique. Lorsque la rotation et les pompes sont arrêtées pour une raison quelconque, ces déblais se déposent au fond de la section et la gravité les fait glisser en fond de trou.

**III.5.1.3. Transport de déblais:**

Le but principal du nettoyage des trous est de transporter autant de déblais que possible du fond vers la surface. Pour comprendre clairement ce qui se passe dans l'ensemble du trou, le trou peut être divisé en trois catégories en fonction de l'inclinaison du puits de forage.

**III.5.1.3.1. Comportement des déblais dans la plage d'inclinaison de 0° à 45°:**

Comme nous l'avons déjà dit, dans cette inclinaison, les déblais sont amenés à la surface en combattant la gravité et la vitesse de glissement. Les propriétés rhéologiques et le débit dans l'annulaire jouent un rôle important dans le transport des déblais. La viscosité et la force du gel sont en charge et gardent les coupures suspendues lorsque les pompes sont arrêtées. Mais heureusement, les déblais ne sont pas seuls. Le liquide est rempli de solides, par conséquent, dans un environnement de solides encombrés, un mécanisme appelé décantation entravée se produit. Pour chaque morceau de débris qui tombe, un autre est forcé vers le haut.

**III.5.1.3.2. Comportement des déblais dans plage d'inclinaison de 45° à 65°:**

Ici, les déblais se déplacent le long du trou le plus souvent sur le côté bas et commencent à former des dunes, avec la rotation est facilement à remuer les déblais dans le régime d'écoulement effectif. Le principal problème dans cette gamme est que lorsque les pompes sont arrêtés, les déblais tombent du côté bas et commencent à glisser comme une avalanche vers le fond de trou. L'altération dans la stratégie de nettoyage des trous doit être faite par rapport à la section du puits vertical.

**III.5.1.3.3. Comportement des déblais dans la plage d'inclinaison de 65° à 90°:**

A des distances, les déblais tombent sur le côté bas et forment un lit de déblais long et continu. Comme nous le savons déjà, le grand problème est que le fluide de forage s'écoule au-dessus du tube de forage, une agitation mécanique est nécessaire pour remuer les déblais à travers la zone d'écoulement effective. Le nettoyage de trou dans cette section est en fait moins critique que dans la gamme d'inclinaison 45°- 65°, mais prend beaucoup de temps.

La figure III.9 montre le comportement des déblais pour différentes inclinaisons

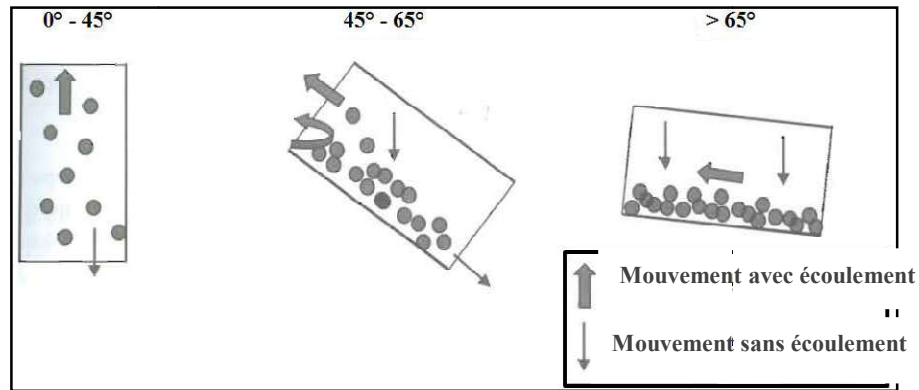


Figure .III 9: Le comportement des déblais dans différentes inclinaisons. [17]

### III.5.2. Influence du débit sur ROP:

La vitesse d'avancement coït 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 ou l'avancement ne croit plus proportionnelles au poids et peut même diminuer si on continue à augmenter le poids.

Le débit a donc une influence sur l'avancement mais jusqu'à une certain valeur limite au-delà de laquelle il n'améliore plus l'avancement et risque au contraire d'être nuisible par la formation de cave (turbulence au niveau des Tools joints et des masse –tiges), l'érosion au droit des masse –tige ou la vitesse de la boue est d'autant plus élevée que l'on emploie des masse –tige surdimensionnées.

La figure .III.10 montre le nettoyage d'un trou incliné

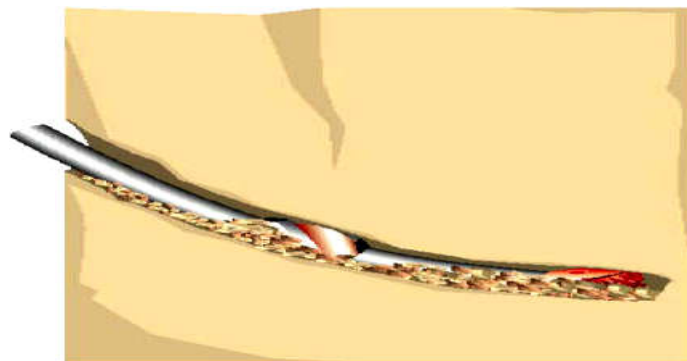


Figure .III 10: le nettoyage d'un trou incliné [6]

Il y a quelque année, les foreurs calculaient leur débit en fonction de la vitesse de remontée des déblais qui leur paraissait souhaitable en fonction de la nature des terrains forés et pour cela, la vitesse de remontée –donc le débit – est plus grande en terrain tendre qu'en terrain dure. L'augmentation du débit est considérée comme l'un des paramètres significatifs influençant sur le ROP. Le transport des déblais et le nettoyage sont liés étroitement au débit utilisé pendant le forage. [6,18]

### **III.5.3.Vitesse minimale aux dusses :**

Le jet de boue a pour effet de nettoyer le fond de puits et induire une turbulence suffisante pour laver les dents de l'outil. [19]

La société BAKER Hugues donne les vitesses minimales suivantes:

**Tableau III. 1: les vitesses minimales par pouce des diamètres des outils. [19]**

Diamètre de l'outil(en pouce)	Vitesse minimale par pouce de diamètre de l'outil	
	En m/s	En ft /s
6 <sup>3/4</sup> à 9	7.6	25
9 <sup>5/8</sup> à 10 <sup>5/8</sup>	6.7	22
11 et plus	6.1	20

Ces vitesses sont le plus souvent au –dessous de celles pouvant être obtenues sur la plupart des appareils de forage. Cependant, lorsque ces vitesses ne peuvent être obtenues, l'outil à jets, coutant environ 20 de plus qu'un outil conventionnel, il est préférable de l'abandonner au profit de l'outil conventionnel.

### **III.5.4.Influence des caractéristiques de la boue :**

#### **III.5.4.1.La densité :**

On sait très bien que la roche soit plus difficile à disloquer quand la pression hydrostatique agissant sur elle augmente. Plus la densité augmente, plus la pression hydrostatique augmente.

La figure montre l'effet de la pression différentielle sur la vitesse d'avancement.

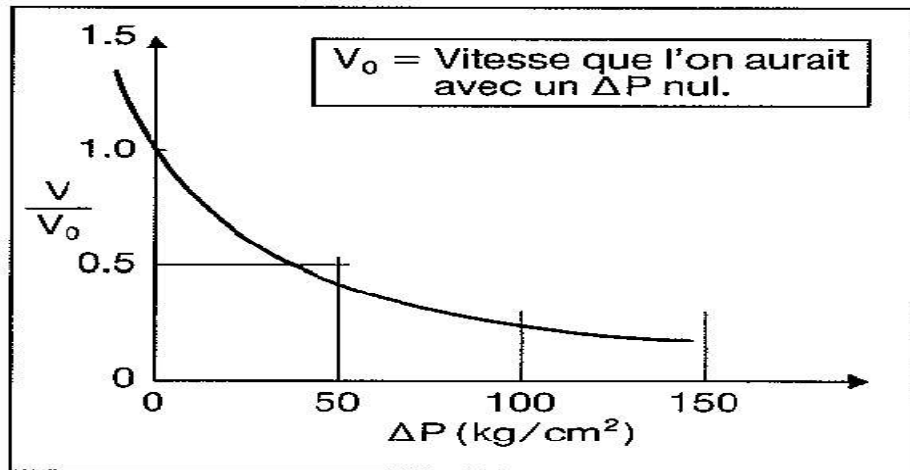


Figure .III 11: L'effet de la pression différentielle sur la vitesse d'avancement. [13]

Avec une pression différentielle nulle ou négative, la pression de formation facilite l'expulsion des déblais et le nettoyage .avec une pression différentielle positive, la pression exercée pour le fluide tend à plaquer les déblais sur le front de taille et rend le nettoyage moins efficace. [20]

#### III.5.4.2.Filtration:

Dans le cas d'une formation poreuse et perméable, les éléments solides de la boue se déposent sur la paroi du puits et forment le cake tandis que le filtra (phase liquide de la boue) pénètre dans la formation .la filtration s'arrête lorsque le cake est étanche

Sur le front de taille, la progression de l'outil ne permet pas la formation de cake.

Dans une formation perméable, la filtration tend à équilibrer la pression entre le puits et la formation sous le front de taille .la filtration facilite donc le découlement des déblais et leur évacuation. [16]

#### III.5.4.3.La viscosité:

La viscosité agit sur la mobilité des déblais .Avec une viscosité élevée, les déblais ont tendance à rester collés sur la taille entraînant leur rebroyage et donc une diminution des performances de l'outil .les meilleures vitesses d'avancement seront obtenues avec un fluide ayant la plus faible viscosité à la sortie des duses. La courbe de la figure II.12 met en évidence cette influence. [21]

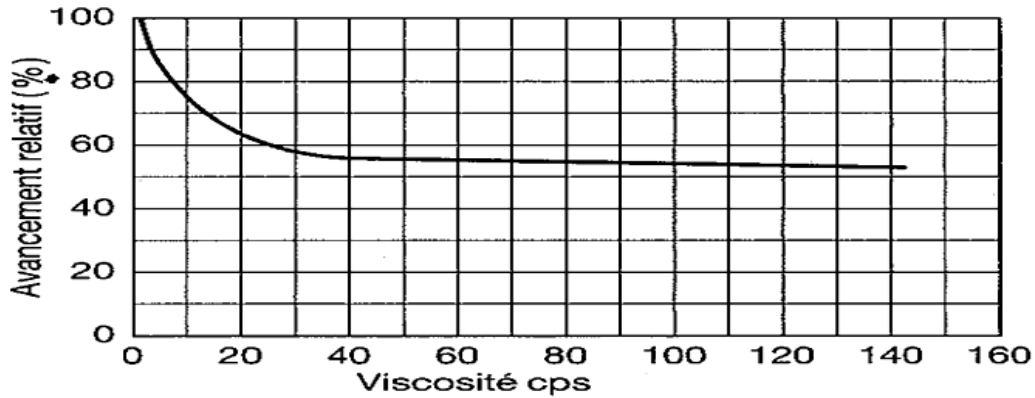


Figure .III

**12: L'influence de la viscosité de fluide sur ROP. [15]**

**III.5.4.4.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 du roulement de l'outil [13]. Les boues à huiles donnent des meilleures performances

- Eliminer le problème d'hydratation des argiles.
- Prévenir le bourrage de l'outil.
- Elimination la fatigue par corrosion.

**III.5.4.5.Pourcentage de solides dans la boue:**

L'augmentation du pourcentage en solides 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 [13].

La figure .II.13 montre comment influencer le pourcentage de solide sur ROP.

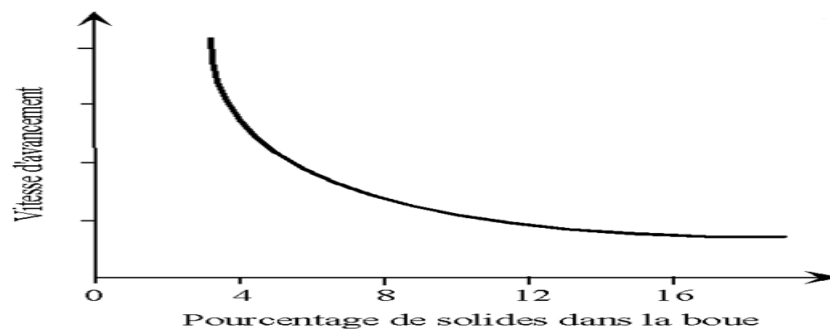


Figure .III 13: L'influence du pourcentage de solide sur ROP.



CHAPITRE IV  
ETUDE DE CAS PUIITS  
OMMZ-773

**IV.1. Introduction**

À l'heure actuelle, l'application du forage directionnel dans l'industrie pétrolière est multiforme. Le forage directionnel est effectué pour augmenter la productivité des puits, par exemple, forage horizontal dans des réservoirs de faible épaisseur, dans certains cas le forage directionnel est inévitable tels que les side-tracks en raison de l'échec de l'opération de repêchage

De plus, il est nécessaire d'utiliser le forage directionnel pour atteindre une cible n'est pas accessible par forage vertical, mais cette opération s'apprendre plus de temps et nécessite un cout additionnel à cause des obstacles rencontrés pendant l'exécution de l'opération.

Dans la plupart du temps, les résultats théoriques d'une étude techniques doivent être validés par des essais dans le laboratoire, ou même dans les chantiers avec l'application directe dans le terrain.

Dans notre cas, on va analyser des résultats des forages déjà réalisés. Cette analyse ne reflète pas la réalité, mais elle nous donne une idée sur les paramètres qui influent la l'avancement des opérations de forage.

Elles correspondent au puits forés récemment avec un forage horizontal.

**IV.2. Nature des données**

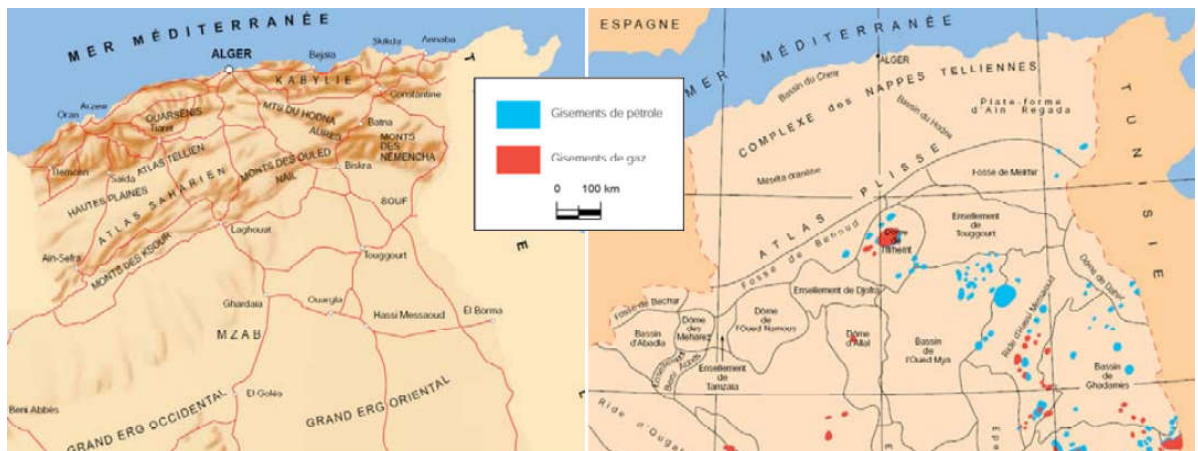
Les données proposées pour l'identification de ces paramètres sont récoltées d'un puits horizontal forés dans la région de Hassi Messaoud. Il s'agit des puits OMMZ-773.

**IV.2.1. Vue globale sur la géologie de Hassi Messaoud**

Au cours de l'année 1956, fut réalisée la plus importante découverte d'huile en Algérie, à Hassi Messaoud (Figure .III.1), sur une structure décelée alors par la sismique réfraction. C'est une région qui représente l'un des champs géant et complexe du monde.

Le champ de Hassi Messaoud est un gisement gréseux de forte puissance qui s'étend sur presque 2000 km<sup>2</sup>. La couche productrice située à une profondeur moyenne de 3400m se caractérise par une très grande variabilité de ses propriétés pétrophysiques. Celles qui sont le plus directement liées à la productivité des puits, porosité, angulosité et perméabilité sont

encore aujourd'hui difficilement prévisibles et ce, malgré les connaissances géologiques accumulées sur plus de 800 puits carottés en continu les quarante dernières années.



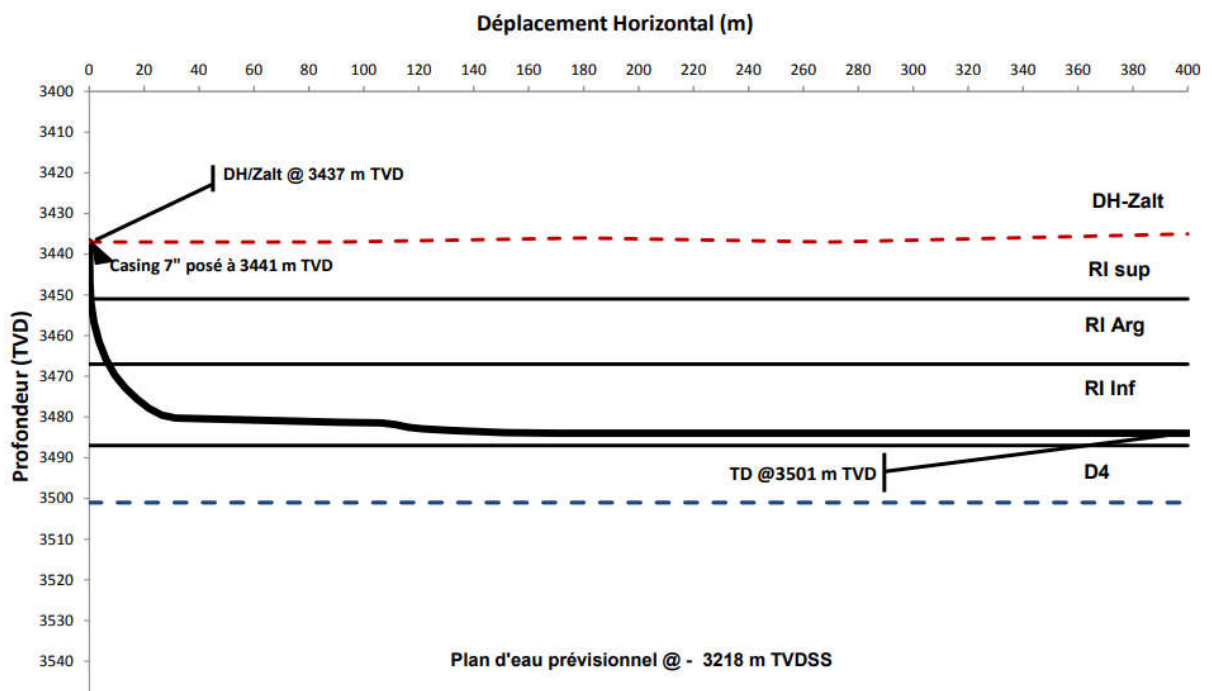
**Figure IV. 1: Position géographique de Hassi Messaoud avec ses gisements de gaz et de pétrole [6]**

La figure VI.2 nous montre une description lithologique de la région de Hassi Messaoud et spécialement le puits OMMZ773.



**IV.2.2. Procédures de forage horizontal:**

Ces procédures sont proposées par Sonatrach pour réaliser des forages horizontaux dans le champ de Hassi Messaoud. L'objectif d'un puits horizontal medium radius dans ce champ, est de réaliser un drain d'environ 1000 pieds, traversant toute l'épaisseur des réservoirs Ra et R2 ou Ra seul, perpendiculairement à l'orientation générale de l'anisotropie, avec une inclinaison moyenne de 83° à 87°, de façon à traverser sub-horizontalement les différentes unités de part en part. Pour cela, un profil prévisionnel a été tracé pour ces puits (Figure .III.3).



**Figure IV. 3: Profil prévisionnel de du puits OMMZ773 Azimut N120°. [22]**

**IV.3. Présentation du puits pris comme exemple :**

**IV 3.1. Description du puits OMMZ-773**

L'OMMZ-773 est un puits pétrolier horizontal qui été foré dans la subdivision OMD de Hassi Messaoud. L'objectif principal de ce puits est d'évaluer le réservoir Cambrien (Ra-D4).

La profondeur verticale est prévue à 3472 m. La pression estimée du réservoir est de 280kg/cm2 à 3459m. [22]

TVD = 3472m

MD = 4072.97m

KOP = 3180 m

Figure . IV.4: montre le profil et l'architecture du puits OMMZ-773

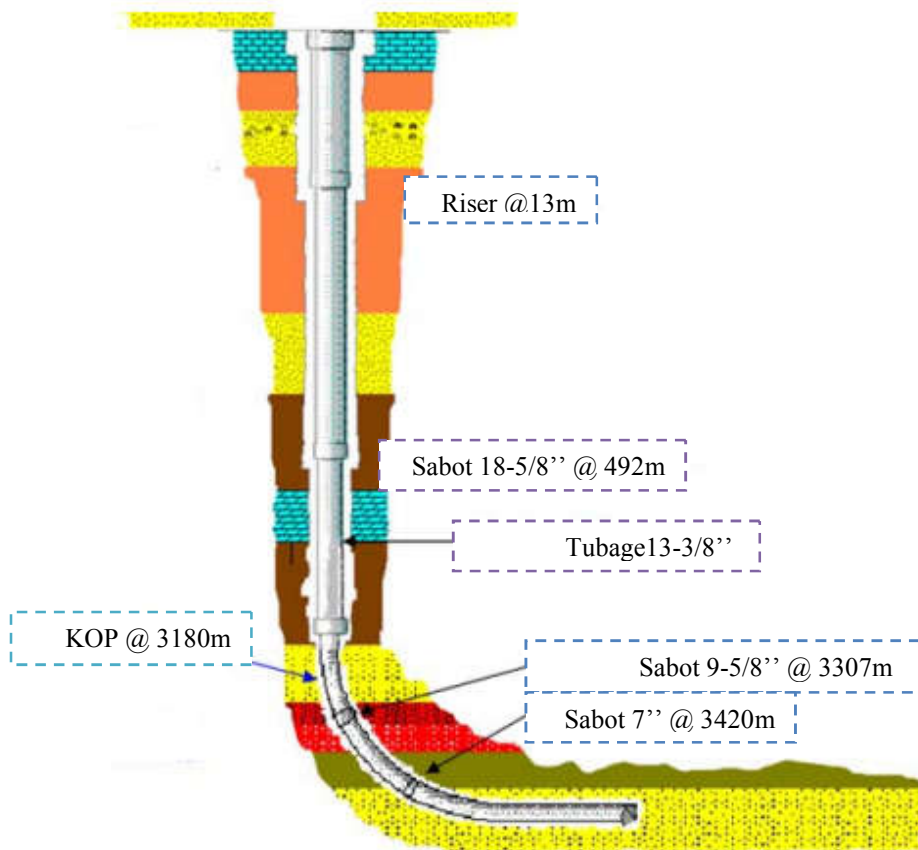


Figure IV. 4: Profil du puits OMMZ-773. [22]

**IV.3.2 BHA utilisé dans OMMZ-773.**

Le tableau IV.1 nous présente les différents organes utilisés dans le train de tige lors de forage du puits OMMZ773.

**Tableau IV. 1: BHA 6" OMMZ773. [23]**

Description	Manuf	Numéro de série	Diamètre int(in)	Diamètre ex(in)
6in Imprégné Bit (IR212E)	Baker	7162989	3.75	6
A500M2310HS	SLB	5925374	3,75	5.75
4 3/4" Non Mag Pony DC	Rig	1431638	2,25	4.75
Slim Pulse (USS:80490 - LSS: 80487)	Rig	G2850	2,9	4.75
4 3/4" NM Drill Collar	Rig	79855	2.25	4.75
5" Ball Catcher	Rig	B2008037	2.25	4.875
5" Well Commander	Rig	B2006203	2.25	4.875
3 1/2 " Drill Pipe (75 joints)	Rig	—	2.76	5
3 1/2" HWDP (27 joints)	Rig	—	2.063	4.69
Hydraulic Jar	Rig	—	2.25	4.75
3 1/2" HWDP (8 joints)	Rig	—	2.063	4.69
3 1/2 " Drill Pipe (69 joints)	Rig	—	4.76	5
Crossover	Rig	—	2.75	6.25
5 1/2 " Drill Pipe	Rig	—	4.77	7.25

**IV.3.3.Les outils utilisés pour le forage du puits OMMZ773 :**

Le début de la surveillance géologique commençait dans la phase 16" à 490 m. le récapitulatif des outils utilisé au cours de chaque phase. [24] Est donné dans les tableaux suivantes :

**Tableau IV. 2: Outil utilisé au cours de la phase 16";**

Bit N°/ Diam φ	Type	Depth In (m)	Depth Out (m)	Bit Time (h)	ROP (m/h)	WOB (t)	RPM (tr/mn)	SPP (psi)
02/16"	TFF913S	490	2375	73.15	11	15-20	200	2000

Tableau IV. 3: Outil utilisé au cours de la phase 12.25"

Bit N°/ Diam φ	Type	Depth In (m)	Depth Out (m)	Bit Time (h)	ROP (m/h)	WOB (t)	RPM (tr/mn)	SPP (psi)
03/12.25"	SP619A	2376	3180	90.51	10-12	12-15	100-120	2600-3400
04/12.25"	HCM408	3180	3306	31.91	5-9	15-18	120-130	3100

Tableau IV. 4: Les outils utilisés au cours de la phase 8.5"

Bit N°/ Diam φ	Type	Depth In (m)	Depth Out (m)	Bit Time (h)	ROP (m/h)	WOB (t)	RPM (tr/mn)	SPP (psi)
5/8,5"	MMD84i	3307	3420	40,58	2,5-03	05-07t	250-270	2300-2500

Tableau IV. 5: Les outils utilisés au cours de la phase 6"

Bit N°/ Diam φ	Type	Depth In (m)	Depth Out (m)	Bit Time (h)	ROP (m/h)	WOB (t)	RPM (tr/mn)	SPP (psi)
6/6"	MM64R	3420	3422	0.61	19	3.5	50	670
7/6"	IR212E	3422	3491	34.71	20-35	05-08	220	1500
8/6"	IR212E	3491	3514	16.03	40-50	05-08	240	1700
9/6"	XR40YDD	3514	3526	6.69	35-40	02-04	220	1500
10/6"	IQ610D	3526	3577	38.66	40-60	03-05	280	1600

**IV.4. Les paramètres influençant sur la vitesse d'avancement du forage :**

Les paramètres qui ont un effet sur l'avancement de l'opération du forage sont nombreux et on a choisi trois ou quatre paramètres pour les analyser ; comme le poids sur l'outil, la vitesse de rotation, le débit et nettoyage du trou ...



IV.4.1. Le poids sur l'outil :

La cabine de géologue de l'appareil TP 160 a enregistré le comportement d'un outil 6" comme il montre dans la figure .VI.5.

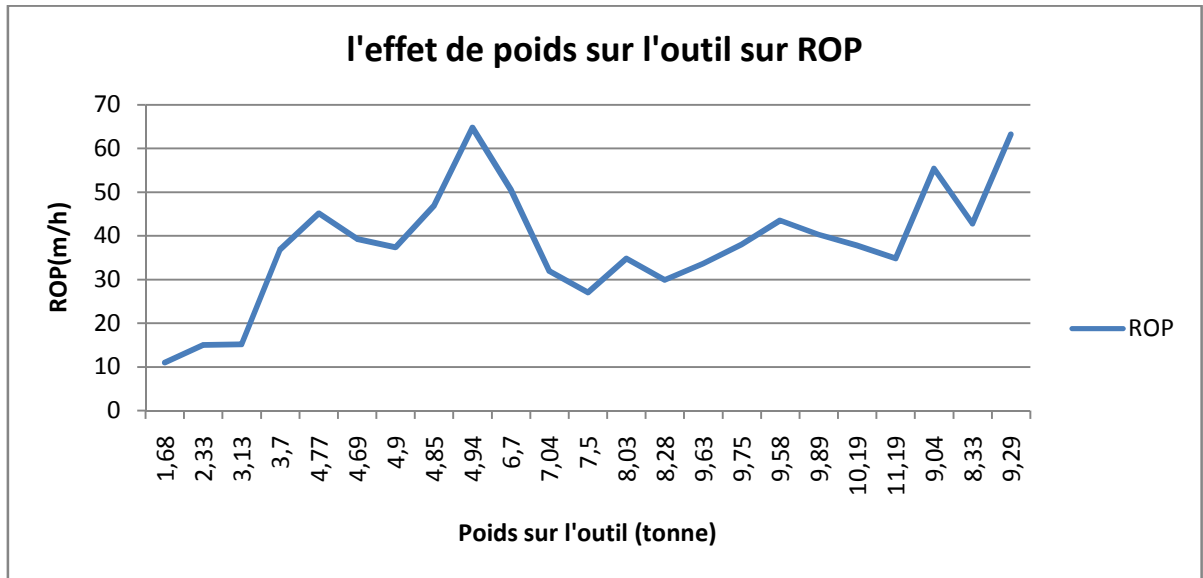


Figure IV. 5: L'évolution de ROP en fonction de poids sur l'outil.

Le diagramme représente la vitesse de pénétration d'un outil 6'' de type IR212E du profondeur 3492m à 3512m avec un débit de 900l/m dans le Cambrien Ri qui comporte des grès blanc, transparent, silico-quartzitique, bien consolidé, et blanc beige à beige, moyen à fin, rarement grossier, à ciment silico-argileux, moyennement consolidé, avec fines passées de Silt blanc à blanc beige, friable et traces d'Argile gris foncé, silteuse, indurée. [27]

Avec des paramètres suivants :

Inclinaison : 74.48°, Azimut : 150.57°, VS: 149.96m, DLS: 12.24 °/30m. [25]

- On peut diviser le digramme sur trois parties :

La 1<sup>ère</sup> partie : de 1.68t jusqu'à 4.94t montre l'augmentation de la vitesse de pénétration proportionnel au l'augmentation du poids sur l'outil

La 2<sup>ème</sup> partie : de 4.94t jusqu'à 8.03t ; on remarque une diminution de vitesse de pénétration avec l'augmentation de poids sur l'outil et ceci peut être retourné au un fin passage d'un coche bien consolidée

La 3<sup>ème</sup> partie : de 8.03t jusqu'à 9.29t; montre l'augmentation de la vitesse de pénétration jusqu'à atteindre la valeur maximale 65m/h avec l'augmentation du poids sur l'outil jusqu'à la valeur 9.29t.

**IV.4.2. L'effet de débit sur l'avancement du forage :**

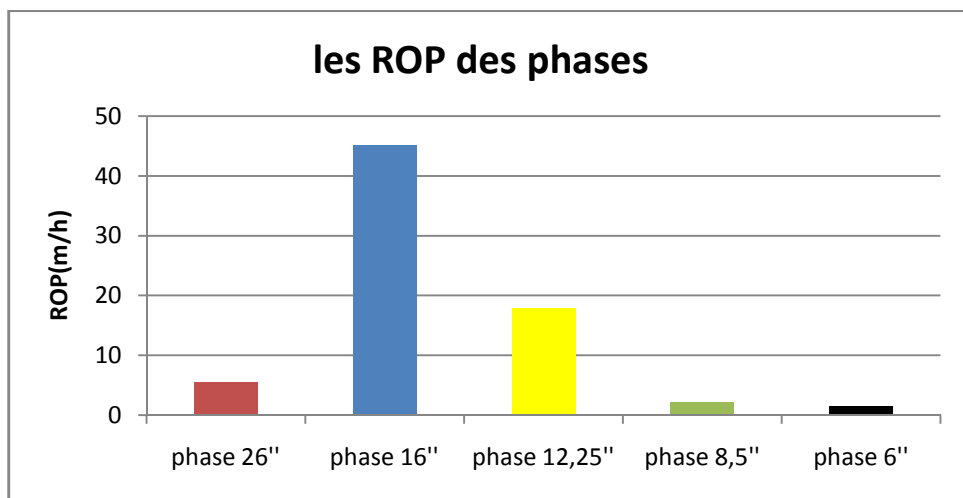
Deux des principales préoccupations dans l'opération de nettoyage des trous sont d'assurer que la boue a une capacité de nettoyage et de transport des déblais de l'espace annulaire à la surface, et les meilleures pratiques de forage recommandées sont mises en œuvre en tout temps. La première partie implique que le débit de fluide est suffisant ainsi que la boue de forage doit avoir la bonne rhéologie pour le transport efficace des déblais à la surface.

Le tableau suivant mentionne les valeurs de débit utilisé pour le forage des phases de puits OMMZ773.

**Tableau IV. 6: les débits utilisés pendant le forage**

la phase (pouce)	26	16	12,25	8,5	6
Débit (l/min)	3200	2800	2200	1800	800

La Figure .III.6: représente les vitesses de pénétrations des outils de forage depuis la phase 26" jusqu'à la cote finale du puits OMMZ-773.



**Figure IV. 6: les vitesses d'avancement de l'outil dans les différentes phases.**

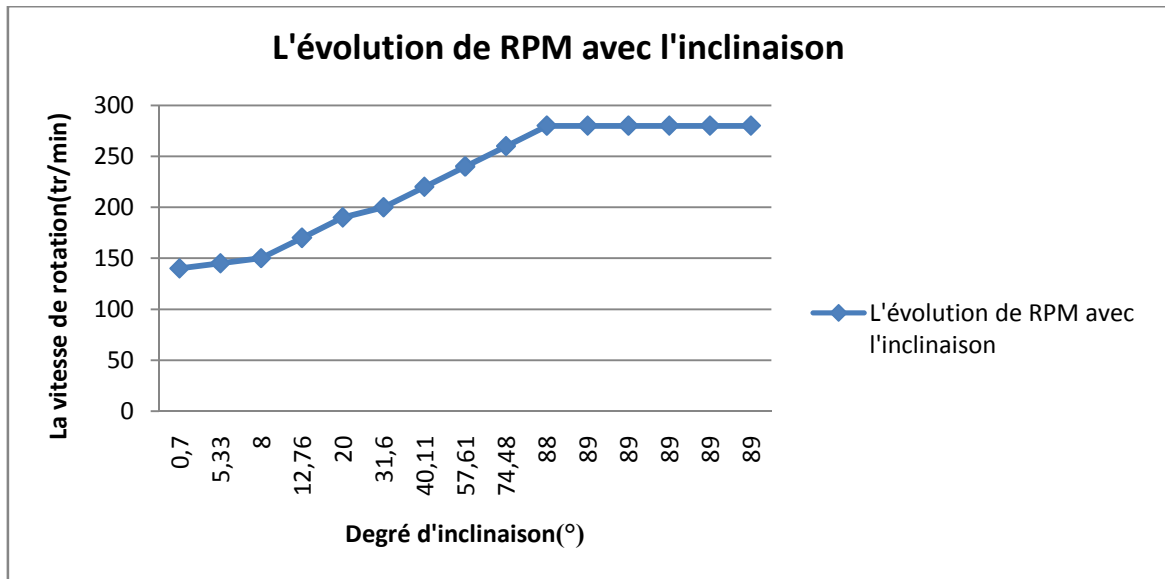
On remarque que le débit a une relation proportionnelle avec la vitesse de pénétration de l'outil de forage; dans la phase 26" et 16" on atteint la valeur maximale de ROP 45m/h ce qui exige une vitesse annulaire importante pour assurer efficacement le transport des déblais vers la surface 2700-3000l/min ; ces valeurs de débit est limité par une valeur qui corresponde de la pression de fracturation de la roche qui ne la dépasse pas, par contre dans les phases 8.5", 6" la vitesse de pénétration de l'outil est de 1.5 à 2.5m/h, et la quantité des déblais limités ne nécessite pas des débits importants 800 à 1800l/min pour les évacuer vers la surface.

Dans les phases 26" et 16" on peut enregistrer des ROP supérieurs à 45m/h mais avec un risque de mauvais nettoyage, la boue de forage peut supporter à la limite de 4% de déblais de formation.

Pendant les opérations de forage, un mauvais nettoyage des trous peut entraîner une faible vitesse de pénétration (ROP). Les effets du mauvais nettoyage des trous sont le temps non productif (NPT) ; le nettoyage du trou dans des puits hautement déviés ou horizontaux est plus compliqué que dans des trous verticaux et, par conséquent, des efforts spéciaux et des considérations sont prévues dans les opérations de forage pour éviter les complications ou problèmes de nettoyage de trou.

#### **IV.4.3. La relation entre l'angle d'inclinaison et la vitesse de rotation :**

La moindre nuance dans l'angle de déviation conduira à changer de la puissance de levage de la boue. Comme la direction du forage est décalée de verticale à horizontale, la figure VI.7 représente le changement de vitesse de rotation parallèle avec l'évolution de l'angle d'inclinaison depuis le point KOP=3180m jusqu'à la cote finale.



**Figure IV. 7: L'évolution de la vitesse de rotation avec l'angle d'inclinaison.**

Cette partie de trajectoire a été forée avec des outils PDC comme K505BPX et HYBRID comme MMD84I qui nécessite des vitesses de rotation élevés à l'aide d'un moteur PDM HI speed ;

L'augmentation des vitesses de rotation proportionnelle avec l'angle d'inclinaison est causée d'un part par le besoin de ces outils à la vitesse de rotation pour pénétrer dans la roche ; et d'autre part à mesure que l'inclinaison du trou augmente, le glissement radial des particules augmente, augmentant ainsi la tendance pour que les particules se déposent au bas du puits.

L'angle critique peut être trouvé dans cette section où le phénomène de décantation a tendance à se développer dans cette section, ce qui pourrait conduire à une garniture coincée; des nombreux chercheurs croient que le régime d'écoulement turbulent est préférable à cette section comme ils ont tendance à éroder les déblais. Donc la rotation de garniture est fortement recommandée dans cette section, car elle aide à réduire la hauteur des dépôts de déblais.

#### **IV.4.4 .Les propriétés de la boue de forage MDZ773 :**

Le tableau suivant présente les propriétés de la boue utilisée. [26]

**Tableau IV. 7 : les propriétés de boue OMMZ773.**

Hole size	26"	16"	12¼"	8.5"	6"
Casing Size	18 5/8"	13 3/8"	9 5/8"	7"	
Mud Weight	1.05-1.08	1.25	2.02	1.45	0.98
Yield Point	40-50	24-18	14-10	12-10	12
Ratio Oil/Water	-	70/30	85/15	90/10	95/5

**La phase 26"**

Cette section sera forée avec une simple boue de base d'eau douce-gel qui est économique et a suffisamment de gels pour fournir une bonne suspension des déblais lors de l'arrêt des pompes et bonne capacité de transport pour le nettoyage de trou.

L'objectif de cette section est d'éviter les zones de pertes majeures avant le déplacement par OBM.

La densité de la boue doit être maintenu aussi basse que possible <1,08sg.

La densité de la boue est extrêmement importante dans l'effort de minimiser les pertes de boue dans la formation. De plus, une augmentation de la densité de la boue réduit le taux de la pénétration et augmente la durée pendant laquelle la boue est en contact avec la formation.

Le poids de la boue doit donc être maintenu principalement par un suivi attentif et contrôle des solides, et en traitant la boue chargée de solides et diluer le reste du système de fluide. L'utilisation de polymère à la place de la bentonite le contrôle de viscosité et du filtrat aideront à réduire le poids de la boue et donc maximiser le taux de pénétration.

**La phase 16"**

L'objectif de cette section est de traiter les sels sénoniens, afin de s'assurer ;il n'y a pas d'influx d'eau douce provenant de la formation albienne, et des argiles potentiellement instables.

La densité de la boue doit être maintenu dans la plage 1,25sg; selon conditions du trou avec des ajouts de baryte et une centrifugation au besoin pour maintenir une faible gravité solides

(inférieurs à 5%). La densité de la boue est importante afin de diminuer les pertes de boue dans la formation.

La densité de la boue doit être maintenue principalement en utilisant un contrôle efficace des solides.

**La phase 12.25"**

Cette section sera forée en utilisant une boue nouvellement mélangée pour constituer le volume final.

La boue à base d'huile dans cette section est recommandée pour préserver la stabilité du trou et maximiser la performance de forage à travers cette section.

L'objectif de cette section est de percer et de séparer les zones surpressées, et surtout le calcaire d'Horizon B qui est connu pour être chargé d'eau salée. La densité de la boue doit être maintenue autour de 2,02sg selon les conditions du trou avec des ajouts de baryte et une centrifugation si nécessaire pour éliminer les solides à faible densité.

Ce poids élevé de boue devrait être pesé jusqu'à 2.06sg pour stabiliser les formations surpression (LD 2), et contrecarrer la compression du sel et le flux entrant de fluides de formation (eau CaCl<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub>).

**La phase 8.5"**

Cette section sera forée avec une boue à base d'huile de densité  $d = 1,45\text{sg}$ . Elle est recommandée de préserver la stabilité du trou.

En utilisant Avabentoil SA et en réglant le rapport huile/eau du système la limite élastique doit être maintenue entre 10 et 12 lb/100ft<sup>2</sup>. Cependant, si possible la viscosité de la boue doit être maintenue dans la plage spécifiée et l'utilisation des pilules viscosifiées devrait être évitée à moins que l'on pense que le trou n'est pas nettoyé correctement (c.-à-d. pas assez de déblais venant au-dessus des connexions, frottement et couple excessifs).

La perte de filtrat est principalement contrôlée par l'émulsion dans un système à base d'huile et la quantité d'émulsifiants joue un rôle important dans le taux de filtrat. Ce contrôle est

amélioré par l'additif de réducteur de perte de fluide à base d'asphalte FRHT Avoil, ajouté à ce système pour diminuer le taux de filtrat.

La qualité du filtrat de boue est contrôlée par cet additif de perte de fluide et par la concentration d'Avabentoil SA.

**La phase 6"**

Cette section sera forée en utilisant AVOIL DS IE 95 non dommageable, qui est un système d'émulsion inversée à base de diesel.

Afin d'éviter les endommagements à la formation et d'assurer une productivité maximale du puits; la densité de la boue sera ajusté avec AVACARB (calibré décarbonate de calcium).

Le produit est utilisé comme un matériau de perte de circulation non dommageable et de pontage qui présente une distribution de particules fournissant un cake de boue très mince imperméable facile à enlever.

Le dégazeur doit être testé tous les jours.

S'assurer qu'il y a sur place au moins 120 tonnes de BARITE et 30 m<sup>3</sup> de boue (Kill mud) de densité = 2,40sg.

## CONCLUSION

Le forage directionnel est devenu une méthode très pratique et systématique dans le champ de Hassi Messaoud. Il est très maîtrisée et donne des très bonnes résultats, mais cette technique rencontre plusieurs problèmes durant la réalisation de l'opération rendre l'application difficile et prendre plus de temps et d'argent.

Dans cette étude on a défini les différentes paramètres qui influençant l'avancement de l'opération tel que le poids sur l'outil qui a une variation proportionnelle avec la vitesse de pénétration jusqu'à un seuil déterminé par le flambage et risque de déviation, l'influence de la vitesse de rotation est variée selon le type de l'outil et la dureté de formation à forer ce qui exige une étude pour déterminer l'outil approprié.

Pendant les opérations de forage, un mauvais nettoyage des trous peut entraîner une faible vitesse de pénétration. Les effets du mauvais nettoyage des trous sont le temps non productif (NPT) ; le nettoyage du trou dans des puits hautement déviés ou horizontaux est plus compliqué que dans des trous verticaux et, par conséquent, des efforts spéciaux et des considérations sont prévues dans les opérations de forage pour éviter les complications ou problèmes de nettoyage de trou.

Les propriétés de boue aussi ont une grande influence sur l'avancement de l'outil, cette influence est conclue comme suite :

- la filtration facilite le découlement des déblais et leur évacuation.
- les meilleures vitesses d'avancement seront obtenues avec un fluide ayant la plus faible viscosité à la sortie des duses.
- le pourcentage d'huile élevé préserver l'outil pour donner une meilleure performance.
- le pourcentage du sable élevé diminuer la vie de l'outil

L'étude de cas de puits OMMZ773 confirmer comment ces facteurs influencent sur l'avancement de l'outil de forage.

Il est nécessaire d'identifier ces facteurs pour améliorer l'application du forage et donner des performances pour gagner de temps et d'argent.



Pour enrichir ce travail on recommande d'établir et réaliser un système d'optimisation de la vitesse d'avancement basé sur l'utilisation de ces facteurs.

## **RECOMMANDATIONS**

Pour assurer la réussite d'une opération de forage horizontal et éviter les arrêts de travail il faut s'assurer que :

- Les paramètres (azimuth, inclination, dog leg, VS.) doivent être vérifiés chaque jour et comparé avec le programme donné par la société du forage horizontal.
- Le forage avec les paramètres appropriés est obligatoire.
- L'existence des équipements de forage horizontal back up dans le chantier est obligatoire.
- La vitesse d'avancement doit être contrôlée pour éviter la surcharge de l'espace annulaire et assure un bon nettoyage du trou.
- Le pompage d'un bouchon HI-VIS durant le forage du drain est indispensable pour assurer le nettoyage du trou.
- Il est nécessaire de faire des traitements mécaniques corrects de la boue pour évacuer les solides pour préserver la durée de vie de l'outil.
- Les mesures journalières de la densité et propriété de la boue est indispensable.

**Annexe****1- Les Vocabulaire et définitions :**

- **Trajectoire** : Le cheminement du puits depuis la tête de puits jusqu'à sa profondeur finale.
- **Kick-off point (KOP)** : Le point où le puits quitte la verticale.
- **Profondeur mesurée (MD)** : La longueur du puits mesurée le long de la trajectoire.
- **Profondeur verticale (TVD)** : La distance verticale entre le plan horizontal contenant un point du puits et le plan de la référence de profondeur.
- **Inclinaison** : L'angle du puits par rapport à la verticale.
- **Azimut** : La direction du puits par rapport au Nord.
- **Déplacement horizontal (VS)** : Distance horizontale entre un point du puits et la projection verticale de la tête de puits.
- **Dog-leg** : Le dog-leg représente un changement de direction du puits résultant d'une variation d'inclinaison et/ou d'une variation d'azimut, exprimé ( $>0$  ou  $<0$ ) en deg/10m, deg/30m ou deg/100ft.
- **Montée en inclinaison (Build-up)** : Section du puits où l'inclinaison augmente.
- **Gradient de montée (Build-up rate)** : Croissance de l'inclinaison par unité de longueur exprimé positivement en deg/10m, deg/30m ou deg/100ft.
- **Rayon de courbure** : Le rayon d'une section curviligne du puits.
- **Section droite** : Section rectiligne du puits.
- **Drain** : Section horizontale ou subhorizontale du puits située dans le réservoir.
- **ROP** : (Rate of pénétration) le taux de pénétration de l'outil de forage.
- **RPM** : la vitesse de rotation de l'outil de forage.
- **PDM (Positive Displacement Motors)** : moteur de fond
- **HI-VIS** : Bouchon lourds avec viscosité élevés pour le nettoyage de fond de puits.
- **LCM : losses circulation materiel** utilisés pour colmater les fissures en cas des pertes partiales

**Références Bibliographiques.**

- [1] Jean-Claude MIMOL «forage –puits –forage dirigé très dévié et horizontal "HMD/IAP 13-18 juin 2015.
- [2] Jean –paulSzezuk"forage dirigé : Ingénieur et méthode:édition3.3juin 2005.
- [3] H- Rabia "well Engineering &construction »
- [4] TABET –S et al « Contrôle et suivi de la trajectoire du forage horizontal en short radius Application sur le puits MD 56 ».mémoire Master UKMO 2016.
- [5]:ROKKABA et BENCHOUHRA "Etude Sur Les Moteurs De Fond Pdm Et Turbine" mémoire de master UKMO 2015/2016.
- [6] N.NOUI, N.FARES "optimisation des paramètres d'une forage horizontal mémoire d'ingénieur IAP 2006.
- [7] Babatunde Adebayo,JideMuili Akande "Drillability and Strength Characteristics of Selected Rocks in Nigeria " AU.J.T.14(1) :56-60(jul .2010).
- [8] K. Thuro "Drillability prediction: geological influences in hard rock drill and blast tunneling " Geol Rundch (1997)86:426-438.
- [9] Thomas Miyora, MagnúsÞór Jonson, Sverrirþórhallsson "Modelling and Optimization of Geothermal Drilling Parameters-A Case Study of Well MW-17 in Menengai Kenya" Article, Stanford University, Stanford, California, January 26-28, 2015.
- [10] Mehaysen A. AL-Mahasneh" Optimization Drilling Parameters Performance during Drilling in gas wells" International Journal of Oil, Gas and Coal Engineering; 2017;5(2):19-26.
- [11] MAAOUI et SOULTANI " Etude et choix des outils de forage dans le champ HMD" Mémoire d'ingénieur 2008 UMB Boumerdès.
- [12]F.GRANDIN." les outils de forage "SONATRACH Division de Forage département de formation édition janvier, 2004 Livre.

- [13] S. Tarek "étude de la performance des outils PDC de phase 16" dans le champ HMD 2006.
- [14] CHIBANI et DERHEM "Etude de performance des outils de frage dans le drain horizontal du champ HMD" Mémoire d'ingénieur 2008 UMB Boumerdès.
- [15] Jean-Paul NGUYEN "techniques d'exploration pétrolière le forage " institut de français du pétrole 1993.
- [16] H. Hichem "Approche adaptative d'optimisation des paramètres mécaniques de forage" mémoire magister Université M'hamed Bouguerra Boumerdès 2010.
- [17] ERIK JORGE SILVA FERREIRA " hole cleaning performance monitoring during the drilling of directional wells" University NOVA DE LISBOA, 2010.
- [18] CHOQUIN, "COURS DE FORAGE .Deuxième partie. Paramètre et contrôle de forage ", publication de l'institut français du pétrole ,édition octobre 1975;
- [19] M.J.FEAR "How to Rate of Penetration in Field Operation ",SPE,BP Exploration Co.Ltd.2009;
- [20] T.M.WARREN ,M.B.SMITH " Bottomhole Stress Factors Affecting Drilling Rate at Depth",J.Pet.Tech, August 1985;
- [21] A.T.BURGOYNE,M.E CHENEVENT, "Applied Drilling Engineering ",SPE, Text Book Series,Richardson,TX,1991
- [22] Programme de forage OMMZ773 TP160 2018. -Sonatrach- Division forage-DDO.2018
- [23] Programme de BHA utilisé dans la phase 6 OMMZ-773 SLB –TP160 ,2018
- [24] Programme des outils puits OMMZ-773 TP-160 -Sonatrach- Division forage-DDO.2018
- [25] Rapport Schlumberger OMMZ-773 Survey.2018
- [26] Programme de boue OMMZ-773 -Sonatrach- Division forage-DDO .2018

- [27] Master log OMMZ-773 Sonatrach- Division d'exploration-département Mud logging  
.2018
- [28] Sidorov, N.A, " Drilling oil and gas wells" (in Russian –translated by . Zabolotny). MIR  
Publishers, Moscow, 130-224- 1985.

## الملخص

الهدف من التقيب عن النفط هو الوصول إلى المكنم في أفضل الظروف الممكنة ، مقابل تكلفة مالية منخفضة قدر الإمكان مع احترام الجوانب الأمنية. الدراسة الحالية هي مساهمة في تحديد العوامل المؤثرة على عملية الحفر، خاصة عوامل الحفر الميكانيكي والهيدروليكي (الوزن على أداة الحفر، سرعة الدوران، التدفق وكثافة الوحل ... ) التي من الممكن أن تعمل على تحسين سرعة تقدم وأداء أداة الحفر. تركز هذه المذكرة على ثلاثة فصول ، يذكر الفصل الأول عموميات في الحفر الأفقي أنواعه ، تطبيقاته ، والمعدات المستخدمة لانجازه ، أما الفصل الثاني فيحتوي على تصنيف العوامل الميكانيكية والهيدروليكية وشرح كيفية تأثيرها على سرعة تقدم أداة الحفر ، ويضم الفصل الأخير دراسة حالة حقيقية للبئر OMMZ-773 من أجل تحليل وتفسير سلوك هذه العوامل. و قد أظهرت النتائج أن استخدام الحفر الأفقي واجه مع العديد من العقبات، لكن يبقى هذا التطبيق ضرورياً لتحسين إنتاج المكنم البترولي.

**الكلمات المفتاحية :** الحفر , العوامل الميكانيكية, العوامل الهيدروليكية, قابلية الحفر, أداة الحفر , كثافة طين الحفر.

## Abstract

The purpos of drilling oil -wells is to reach the target in the best possible conditions, with law cost while respecting the security aspects. The present study is a contribution to identify the parameters influencing the drillability, in particular the mechanical and hydraulic drilling parameters (the weight on bit, the rotation speed, flow and density of drilling fluid ...) which will make it possible to optimize the rate of penetration and wear of the bit. This manuscript have three chapters, the first chapter mentions overview on horizontal drilling, its types, its applications, and the equipments used, the 2<sup>nd</sup> chapter is to classify the mechanical and hydraulic parameters and explain how these parameters affect the progress of the bit penetration, the last chapter is devoted to the study of well OMMZ-773 in order to analyze and interpret the performance of this parameters. The results have shown that the use of horizontal drilling is encountered with several obstacles, but this application remains necessary to improve the reservoir production.

**Keywords:** drilling, mechanical parameters, hydraulic parameters, Drillability, drilling bit, mud density.

## Résumé

L'objectif de forage pétrolier est d'atteindre la cible dans les meilleures conditions possibles, rapport de qualité avec prix le plus réduit, toute en respectant les aspects sécuritaires. La présente étude est une contribution pour identifier les paramètres influençant la forabilité, notamment les paramètres de forage mécaniques et hydrauliques (le poids sur l'outil, la vitesse de rotation, débit et densité de boue...) qui permettra d'optimiser la vitesse d'avancement et l'usure de l'outil. Ce manuscrit met l'accent sur trois chapitres, le premier chapitre mentionne les généralités sur forage horizontal, ses types, ses applications, et les équipements utilisés, le 2<sup>ème</sup> chapitre est de pour classer les paramètres mécaniques et hydrauliques et expliquer comment ces paramètres influent sur l'avancement de l'outil de forage, le dernier est consacré à l'étude d'un cas réel puits OMMZ-773 afin d'analyser et d'interpréter le comportement des paramètres donnés. Les résultats obtenus ont prouvé que l'utilisation de forage horizontal est rencontrée avec plusieurs obstacles, mais cette application reste nécessaire pour améliorer la production du gisement.

**Mots clés :** forage, les paramètres mécaniques, les paramètres hydrauliques, forabilité, l'outil de forage, densité de la boue.