

N° d'ordre :
N° de série :

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE KASDI MERBEH OUARGLA

**Faculté des Hydrocarbures, des Energies Renouvelable
des Sciences de la Terre et de l'Univers**



Département de Forage et MCP

Mémoire de fin d'étude



En vue de l'obtention du diplôme Master

Domaine : Hydrocarbures

Option : Forage

Présenté par :

MESSALA Belkacem, RIHANI Youcef, ZAUCHE Zakaria

Thème

Utilisation du Vertitrak dans la région de Rhourde
Nouss Sur la phase 8"^{1/2}

Cas : puits RN-112

Soutenu le **17/05/2017**

Devant le jury composé de :

President:	Mr. ABIDI-SAAD Elfakeur	Univ. OUARGLA
Examineur:	Mr. FROUHAT Rachid	Univ. OUARGLA
Encadreur:	Mr. MECIBAH Ilyes	Univ. OUARGLA

2016 - 2017

ملخص

يتمثل عملنا هذا المنجز في منطقة غرد النص إلى دراسة مشكلة الانحراف كونها الأكثر ردت وأكثر تعقيدا. لا ينبغي أن نستخدم الحفر التقليدي في هذه المنطقة لأنه لا يسمح بالرقابة الكافية والمستمرة للميل. لهذا السبب، فإن استخدام نظام الحفر العمودي ضروري لإعطاء البئر العمودية المرغوب بها، التي تهدف إلى السيطرة على مسار والمراقبة المستمرة لتحقيق هذا الهدف. قمنا بتطوير هذه التكنولوجيا الجديدة للرقابة ومالمقارنتها مع التكنولوجيا التقليدية.

الكلمات المفتاحية :
غرد النص , الميل , نظام الحفر العمودي

Résumé

Ce mémoire de fin d'étude est réalisé au niveau de la région de Rhourde Nous et porte sur l'étude de problème de déviation dans la formation Silurien étant le plus répondu et plus compliqué. Le forage conventionnelle ne devrait pas être utilisé dans cette formations, elle ne permette pas un contrôle suffisant de l'azimut et de l'inclinaison.

Pour cette raison l'utilisation de Vertitark est essentielle pour donner une bonne verticalité du puits dont le but de contrôler la trajectoire et assurer la surveillance continue pour atteindre la cible. Nous avons mis cette nouvelle technologie de contrôle et comparé avec celle de technologie conventionnelle.

Mots clés :

Silurien, Azumith, Inclinaison, Veretitrak, Rhourd Nous.

Abstract

This end-of-study memory is realized at the level of Rhourde Nous region and concerns the study of problem of deviation in the silurian formation being the most answered and more complicated. Conventional drilling should not be used in this formation; it does not allow sufficient control of azimuth and tilt.

For this reason the use of vertitrak is essential to give a good verticality of the well whose objective to control the trajectory and ensure the continuous monitoring to reach the target.

We put this new control technology and compared it with that of conventional technology.

Key words:

Silurian, Tilt, Azimuth, Vertitrak, Rhourde Nous

Remerciements

En premier lieu, nous tenons à remercier notre DIEU "Allah", notre créateur pour nous avoir la force pour accomplir ce travail.

Nous adressons nos vifs remerciements à notre promoteur consultant Dr. MECIBAH Ilyes pour nous avoir diligentés tout au long de ce travail, pour sa compréhension, sa patience, sa compétence, et ces remarques qui nous ont été précieuses.

Nous tenons à remercier également, le président de jury et les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger et d'évaluer notre travail.

Nous remercions tous les enseignants département Forage qui ont assurés notre formation durant tout le cycle d'études.

Nos derniers remerciements, vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour l'aboutissement de ce travail.

Belkacem & Zakaria & Youcef

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail aux deux êtres qui me sont très chers dans cette vie, à savoir mon père et ma mère.

Je leur dis merci papa du fond de mon cœur pour ton éducation, ton sacrifice, ton assistance et pour ce que tu m'as fait et qui m'a permis d'avoir cette réussite et ce bonheur.

Je te dis merci et mille fois merci maman pour ta patience, ton courage et ton sacrifice pour moi.

Avec toute ma fidélité et tout mon amour pour vous, mes parents,

Je ne pourrai jamais égaler votre mérite

A tous mes frères et sœurs

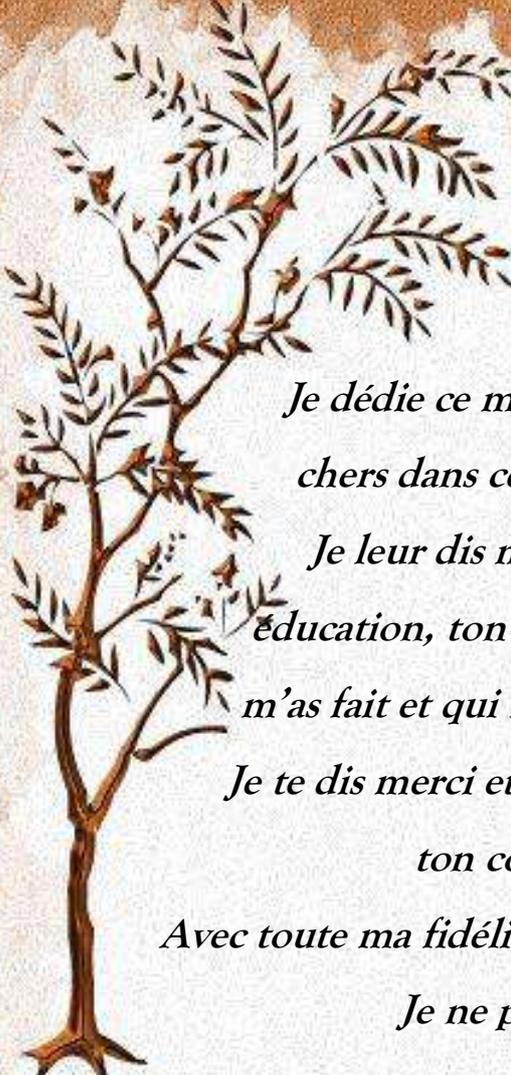
A toute ma famille, cet ensemble de personnes qui forment comme une forteresse au fond de nous et où l'on peut se réfugier à tout moment.

A tous mes amis : Djalal, Younes, Issam, Nadji, Salah, Hakou, Nadhir, Akrem, Mohammed.

A toute ma promotion de l'université.

ZAUCHE Zakaria





DEDICACES

Je dédie ce modeste travail aux deux êtres qui me sont très chers dans cette vie, à savoir mon père et ma mère.

Je leur dis merci papa du fond de mon cœur pour ton éducation, ton sacrifice, ton assistance et pour ce que tu m'as fait et qui m'a permis d'avoir cette réussite et ce bonheur.

Je te dis merci et mille fois merci maman pour ta patience, ton courage et ton sacrifice pour moi.

Avec toute ma fidélité et tout mon amour pour vous, mes parents,

Je ne pourrai jamais égaler votre mérite

A tous mes frères et sœurs

A toute ma famille, cet ensemble de personnes qui forment comme une forteresse au fond de nous et où l'on peut se réfugier à tout moment.

A tous mes amis

A toute ma promotion de l'université.

RIHANI Youcef



Sommaire

Résumé	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Nomenclatures	
Introduction générale	1

Chapitre I: Présentation de la région de Rhourde Nous

I. Présentation de la région.....	2
I.1. Situation géographique	2
I.2. Cadre géologique	3
I.2.1. Aspect structural.....	3
I.2.2. Aspect stratigraphique	4
I.2.3. Stratigraphies des formations (réservoirs)	5
I.2.4. Aspect pétrolier	7
I.3. Historique de l'exploitation	7
I.4. Situation de puits RN-112	7
I.4.1. Les coordonnées du puits	7
a) Coordonnées Lambert UTM.....	7
b) Coordonnées géographiques	8
I.4.2. But du Sondage.....	8
I.4.3. L'objectif du forage	8
I.4.4. Prévisions stratigraphiques RN-112	9
I.4.5. Cote d'arrêt.....	10
I.4.6. Problème de la région de RNS	11

Chapitre II: Problèmes de déviations

II. Introduction	12
II.1. Explications théoriques	14
II.1.1. Théorie du moment aux masse-tiges	14
II.1.2. Théorie du WHIPSTOCK	14
II.1.3. Théorie des différences de vitesse d'avancement	14

II.2. Le Problème de déviation.....	14
II.2.1. Les Causes de déviation.....	15
II.2.2. Les conséquences de déviation.....	17

Chapitre III: Forage avec la BHA conventionnelle

III. Forage avec la BHA conventionnelle (Forage Rotary)	21
III.1. Types des BHA.....	22
III.1.1. Garnitures lisses (slick assembly)	22
III.1.2. Garnitures pour chute de l'inclinaison ou pendulaires.....	23
III.1.3. Garniture de maintien de l'inclinaison (Packed-hole assembly)	24
III.2. Procédure de forage de la Phase 8 ^{n1/2}	25
III.2.1. BHA utilisé	25
III.2.2. Paramètres de forage	25
III.2.3. Caractéristique de la boue.....	25
III.2.4. Les résultats obtenus.....	26

Chapitre IV: Généralité sur le PDM

IV. Généralité sur le PDM	27
IV.1 Composition d'un PDM	27
IV.1.1. Valve à pression différentielle.....	27
IV.1.2. Etage de moteur.....	28
IV.1.3. Joint de cardan.....	29
IV.1.4. Etage des roulements (bearing section)	30
IV.2. Principe de fonctionnement	30
IV.3. Considérations opérationnelles	31
IV.3.1. Débit et Perte de charge.....	31
IV.3.2. Limitations d'utilisation et les problèmes pratiques	31
IV.4. Caractéristiques d'un PDM.....	33
IV.4.1. Le nombre de lobes	33
IV.4.2. L'excentricité et le diamètre du rotor	33
IV.4.3. Nombre d'étages.....	34
IV.5. Les MWD (Measurement While Drilling).....	34

IV.5.1. Composition d'un MWD	34
a) Le(s) étage(s) de mesures	34
b) L'étage de télémétrie	34
c) l'étage de puissance	35

Chapitre V: Vertitrak (Vertical Drilling System)

V1.1. Introduction	36
V.1.2. Description	37
a) Steering Head	37
b) Power Section	37
c) Contrôle sub.....	39
V.2. Principe de fonctionnement du VertiTrack	40
V.3. Mode opératoire.....	40
V.3.1. Réglage du mode à partir de la surface.....	40
V.4. Information sur le BHA	41
V.4.1. Type d'outil utilisé	41
V.5. Caractéristiques de la boue.....	42
V.5.1. Les colmatant	42
V.6. Caractéristiques générales du VertiTrak 6 ^{n3/4}	43
V.6.1. Limites de fonctionnement	43
V.6.2. Température de fonctionnement.....	43
V.6.3. Traction et battage	44
V.7. Autres fonctions de VTR	44
V.7.1. Reforge de ciment avec le VertiTrak.....	44
V.7.2. Reaming et back Reaming avec le VertiTrak	44

Chapitre VI: Etude de cas

VI.1. La phase 8 ^{n1/2}	45
VI.1.1. Le but du forage	45
VI.2. Application au puits RN-112	45
VI.2.1. BHA utilisée	45
VI.2.2. Caractéristiques de la boue utilisée	46
VI.2.3. L'outil utilisé avec la Vertitrak.....	46

VI.3. Les différentes opérations	46
VI.3.1. Test de la vanne de remplissage (dump valve)	46
VI.3.2. Test de VertiTrak en surface.....	47
VI.3.3. Forage avec le VertiTrak:	47
VI.4. Paramètres appliqués et les résultats obtenus de VertiTrak	48
VI.4.1. Analyse de forage par le VertiTrak.....	48
VI.4.2. Résultats de Caliper.....	49
VI.5. Performances des paramètres d'entrée-sortie et puissance produite du moteur	49
VI.5.1 Puissances du moteur	49
VI.5.2. Efficacité de moteur	49
VI.5.3. Application numérique	50
VI.6. Comparaison entre le VertiTrak et les autres modes	51
VI.6.1. Vitesse d'avancement.....	51
VI.6.2. Inclinaison	52
VI.6.3. Torque	52
VI.7. Performance de VertiTrak dans des autres puits	53
VI.7.1. Puits SALI-1 (phase 12"1/4)	53
IV.7.2. Puits RG-7 (phase 16").....	53
VI.7.3. Puits SALI-2 (phase 12"1/4)	53
VI.7.4. L'inclinaison et caliper	54
VI.7.5. Dog leg	55
VI.8. Partie économique	56
VI.8.1. Performance de VertiTrak au puits RN-112.....	56
VI.8.1.1. La durée prévisionnelle de forage du puits RN-112.....	56
VI.8.1.2. Performance dans la région de RNS	58
Conclusion générale	60
Références	

Liste des figures

Fig. I.1: Situation géographique de la région de Rhourd Nous	2
Fig. I.2: Localisation structures de Rhourde Nous	4
Fig. I.3: Coupe stratigraphique de la région de Rhourde Nous	6
Fig. I.4: Situation du puits RN-112	8
Fig. I.5: Prévisions stratigraphiques RN-112	9
Fig. I.6: Fiche stratigraphie du puits RN-112	10
Fig. II.1: Objectif d'un forage vertical - Contrôle de l'inclinaison	13
Fig. II.2: Contraintes tectoniques – Réactions et évènements	16
Fig. II.3: Les alternances de formation tendre et dure	16
Fig. II.4: Désignation de BHA	17
Fig. II.5: Coincement de la garniture	18
Fig. II.6: Formation de Dog leg	19
Fig. II.7: Formation des key-seat	19
Fig. III.1: Garniture de drop off.	23
Fig. III.2: Garniture de maintien de l'inclinaison (Packed-hole assembly)	24
Fig. IV.1: Composition générale d'un PDM	27
Fig. IV.2: Valve à pression différentielle (Dump Sub)	28
Fig. IV.3: Composition d'un Etage moteur (Section motrice)	28
Fig. IV.4: Cardan de transmission (Transmission Assembly)	29
Fig. IV.5: Composition d'un Etage de roulement (bearing section)	30
Fig. IV.6: Configurations des moteurs de fond	33
Fig. V.1: Composition du VertiTrak	36
Fig. V.2: Power Section	37
Fig. V.3: Différence entre ancien section motrice et X - treme Power Section	38
Fig. V.4: Performance de section motrice de VertiTrak	38
Fig. V.5: Contrôle sub et l'unité de pulsation	39

Fig. V.6: Outil PDC	42
Fig. VI.1: Histogramme des vitesses d'avancement.....	51
Fig. VI.2: Histogramme d'inclinaison	52
Fig. VI.3: Histogramme des torques.....	53
Fig. VI.4: Résultat des logging.....	54
Fig. VI.5: Le contrôle du Dog leg pour un puits foré par le VTR.....	55
et un autre puits foré par le BHA Rotary	55
Fig. VI.6: La durée prévisionnelle	56
Fig. VI.7: Histogramme de la durée de forage	57
Fig. VI.8: Comparaison entre le VertiTrak et le forage conventionnelle	57
Fig. VI.9: Performance de VertiTrak dans RNS	58

Liste des tableaux

Tab. I.1: Les coordonnées Lambert (UTM).....	7
Tab. I.2: Les coordonnées géographiques de zone d'étude	8
Tab. III.1: BHA utilisé	25
Tab. III.2: Les paramètres de forage	25
Tab. III.3: Les caractéristiques de la boue	25
Tab. IV.1: Comparaison entre les configurations des moteurs de fond	33
Tab. V.1: Tableau de débit (VertiTrak 6 ^{n3/4})	41
Tab. V.2: Caractéristiques générales du VertiTrak 6 ^{n3/4}	43
Tab. V.3: Les limites de fonctionnement du Vertitrak 6 ^{n3/4}	43
Tab. V.4: Température et pression de fonctionnement du Vertitrak 6 ^{n3/4}	43
Tab. V.5: Les limites de traction et battage du Vertitrak 6 ^{n3/4}	44
Tab. VI.1: Composition de BHA utilisé	45
Tab. VI.2: Les caractéristiques de boue utilisée dans la phase 8 ^{n1/2}	46
Tab. VI.3: Caractéristiques de l'outil utilisé avec la Vertitrak	46
Tab. VI.4: Les résultats obtenus avec la Vertitrak dans la phase 8 ^{n1/2}	48
Tab. VI.5: La variation de L'inclinaison en fonction de profondeur	49
Tab. IV.6: Comparaison entre le VertiTrak et les autres modes.....	51
Tab. VI.7: Torque en fonction de l'outil	52

Nomenclatures

RNC : Rhourde Nouss Central

RNSW : Rhourde Nouss Sud-Ouest

RNSE : Rhourde Nouss Sud-Est

RA : Rhourde Adra

TAGS : Trias Argilo Gréseux Supérieur

TAGI : Trias Argilo Gréseux Inférieur

ROP : Rate of Penetration

BHA : Bottom Hole Assembly

WOB : Weight on Bit

STAB : Stabilisateur

HWDP : Heavy Weight Drill Pipe

DC : Drill Pipe

DP : Drill Collar

RPM : Revolutions per minute

Y_P : Yield Value Plastique

MWD : Measurment While Drilling

PDM : Positive Displacement Motors

VTR : Vertitrak

HP_{mécanique} : Puissance mécanique

HP_{hydraulique} : Puissance hydraulique

η_{moteur} : Efficacité de moteur

Introduction générale

La finalité d'un forage est d'atteindre la cible, qui est le réservoir, avec un prix de revient minimum, sans endommagement ni compromettre son exploitation (production, injection). Cependant, plusieurs techniques ainsi que plusieurs équipements ont été développés selon les besoins et les difficultés rencontrées durant le forage. Toute perte de temps augmente le coût de forage. Celle-ci est générée la plupart du temps par différentes causes principales comme la nature des terrains traversés et l'état des équipements utilisés.

Parmi les problèmes majeurs qui constituent un grand obstacle pour la poursuite du forage dans le champ de Rhourde Nouss, c'est celui des déviations dans la phase 8"^{1/2} conduit à une perte en temps et en argent considérable. Par ailleurs, lorsque ces difficultés sont constatées, nécessitant l'établissement des programmes spécifiques pour la résolution de ses derniers.

A cet effet par cette étude nous allons concentrer notre contribution sur l'analyse des déviations dans la phase 8"^{1/2}, on essayant de comprendre et expliquer les causes, les conséquences, ainsi que les solutions adaptés jusqu'au là par les ingénieurs pétroliers pour surmonter ce problème tout en espérant avoir porté un plus pour la résolution.

Chapitre

I

**Présentation de la région
de *R*hourd *M*ouss**

I. Présentation de la région

I.1. Situation géographique

La zone d'étude fait partie de la willaya d'Illizi et se positionne entre 29°16' et 30° parallèles et 06°24' et 07° méridien. Elle est située à 350 km au Sud-Est de Ouargla, à 1200 km au Sud-Est d'Alger et à 270 km au Sud-Est de Hassi Messaoud. L'altitude moyenne est située à 275m par rapport au niveau de la mer, son climat est désertique (avec un très faible taux d'humidité), la température maximale est de 50°C en été. Elle enregistre une pluviométrie très faible (2 à 4 mm/an). Les vents dominants sont de direction Nord-Est avec une vitesse maximale de 70 à 80 km/h pendant la période de vents de sable (Février et Mars). Elle est limitée à l'Ouest par le môle d'Amguid –El Biod au niveau de la faille de Ramade ce môle présente une vaste unite structurale subméridienne s'étendant sur 600Km allant d'Amguid, au Sud à Rhourde El Baguel, au Nord et Nord-Est par le bassin de Ghadamès vers lequel s'ennoient les axes, au Sud-Ouest et Nord-Est les structures de Rhourde Hamra et de Rhourde Chouff, au Sud-Est par la partie occidentale de la môle d'Ahara [2].

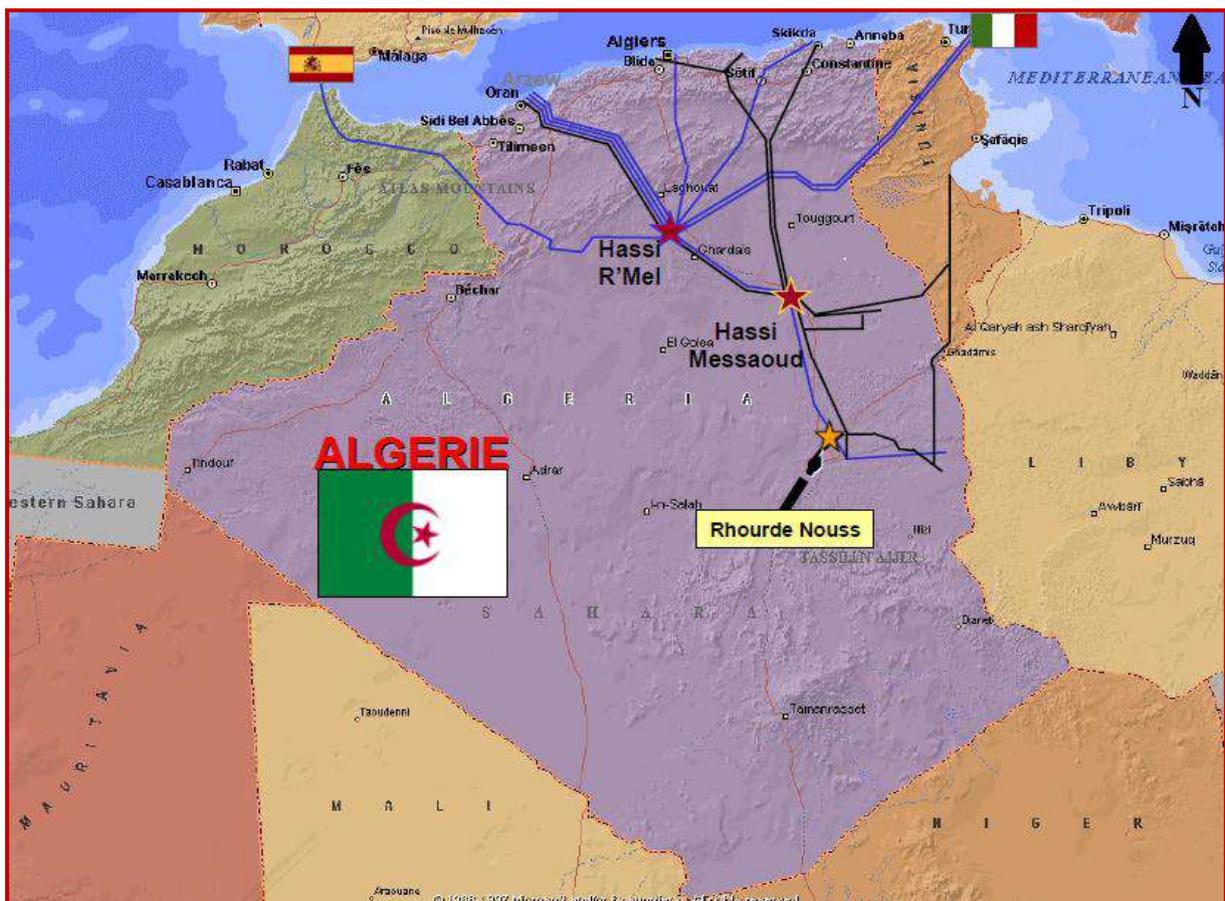


Fig. I.1. Situation géographique de la région de Rhourde Nous

I.2. Cadre géologique

I.2.1. Aspect structural

La région de Rhourde Nouss est située sur la bordure Sud du bassin triasique.

Son structure est très complexe, mais on peut la définir comme étant le croisement de deux anticlinoriums. On distingue deux familles, la première famille, de direction Nord-Sud et la deuxième de la direction Nord-est, Sud-est. Cette structure serait de dimension 40 x 30 km², elle est composée de quatre structures différentes à savoir (Fig. I.2).

Rhourde Nouss Central (RNC)

Cette structure est alignée Nord-Sud et s'étend sur environ de 16 x 8 km² avec une petite structure au Nord-est de 4 x 2,5 km². Le réservoir contient du gaz avec un anneau d'huile d'une trentaine de mètres dans lequel on a foré 64 puits.

Rhourde Nouss Sud -Ouest (RNSW)

Elle est alignée S-SW, N-NE sur une surface de 16 x 3,5 km². Le réservoir est à gaz avec un anneau d'huile d'une vingtaine de mètres, le nombre de puits forés dans le réservoir est de 17 puits.

Rhourde Nouss Sud -Est (RNSE)

Cette structure est alignée Nord-Sud sur une surface de 8,5 x 4 km². Le nombre de puits forés dans le réservoir est de 18 puits, dont 11 puits forés dans le Trias Argilo Gréseux Supérieur (TAGS), qui est producteur de gaz, avec un anneau d'huile d'une dizaine de mètres, et 7 puits forés dans le Trias Argilo Gréseux Inférieur (TAGI), qui est producteur d'huile.

Rhourde Adra (RA)

Elle est alignée SW-NE sur une surface de 23 x 2,5 Km², le réservoir contient du gaz et le nombre de puits foré est égal à 17 puits.

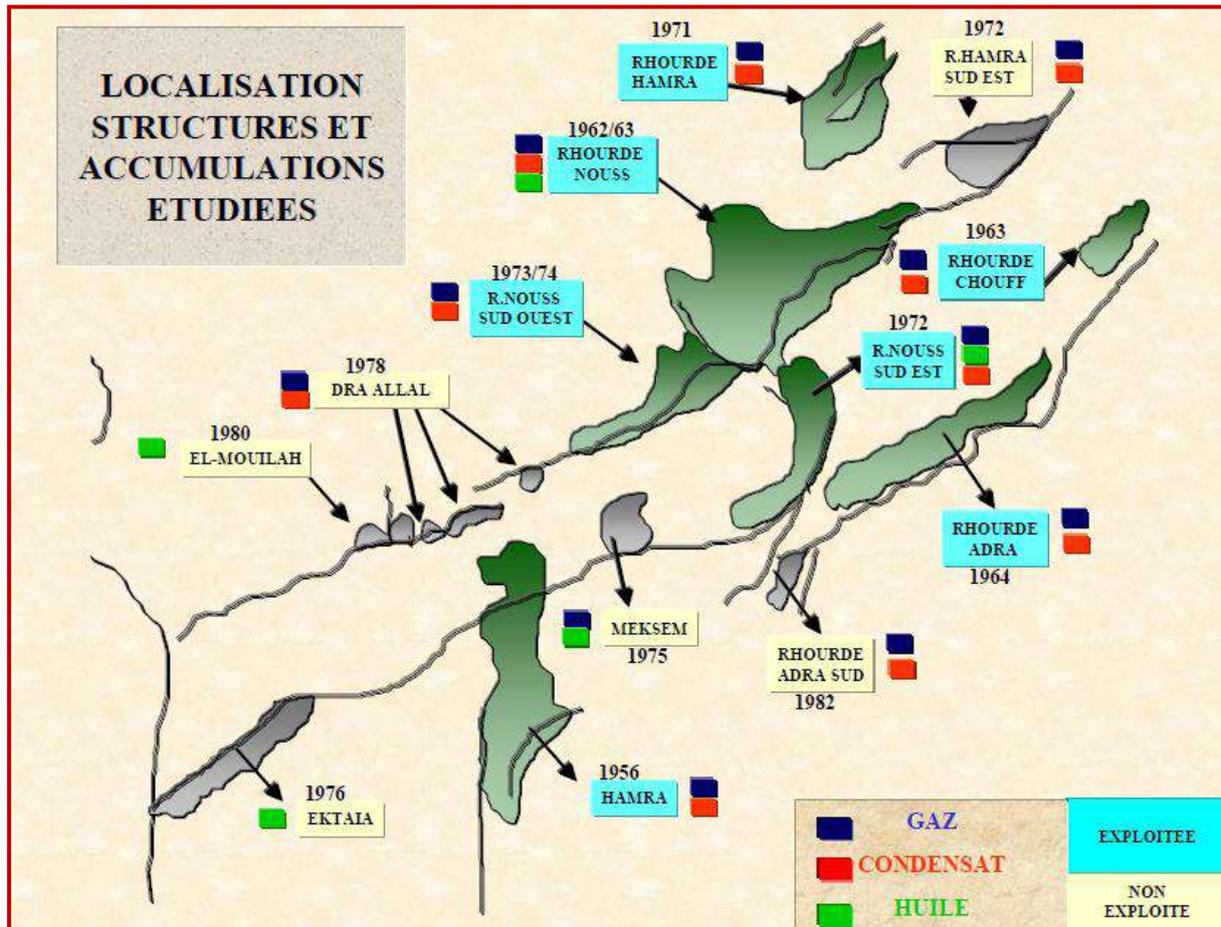


Fig. I.2. Localisation structures de Rhourde Nous

I.2.2. Aspect stratigraphique

La série sédimentaire dans la région est représentée par les terrains cénozoïques, mésozoïques et paléozoïques pour une épaisseur totale, supérieure à 4000m.

Le cénozoïque

Il n'est représenté que par le Mio-Pliocène, qui a une épaisseur de 150 à 370m.

Le mésozoïque

Il est représenté par le *crétacé*, le *jurassique* et le *trias* avec une épaisseur totale de 2621m.

Le crétacé n'est représenté que par le sénonien, le turonien, le cénomaniens, l'albien et le néocomien, avec une épaisseur totale de 1273m ; le Jurassique est présenté avec tous ces termes, soient le dogger et le lias avec une épaisseur totale de 1012m et le Trias considéré comme l'un des objectifs de ce forage, le trias dans la région est représenté par le TAGS, le trias intermédiaire II, le trias moyen l'intermédiaire I et le trias inférieure pour une épaisseur totale de 389m.

Le Paléozoïque

Le premier horizon paléozoïque, sous la discordance hercynienne et le Silurien Argilo-Gréseux (BL), le Dévonien et le carbonifère étant érodé. On note par ailleurs, la présence de tous les termes ordoviciens et siluriens, à l'exception du niveau B2 qui est érodé. [3]

I.2.3. Stratigraphies des formations (réservoirs)

Dans la région de Rhourde Nouss on distingue, d'après la (Fig. I.3), deux réservoirs importants à savoir :

Trias Argilo Gréseux Inférieur (TAGI)

Il repose sur une surface d'érosion suivie du trias intermédiaire I, essentiellement gréseux et quartzique, comportant des niveaux argileux, dépôt attribué à un milieu marin peu profond.

Trias Argilo Gréseux Supérieur (TAGS)

Le réservoir TAGS est caractérisé par la superposition de 3 faciès :

- Des grés grossiers à moyens sous forme de micro conglomératiques, galets, stratifications obliques et de couleur beige à blanchâtre. Leur contact basal est érosif et leur granulométrie diminue vers le sommet ;
- Des grés fins beiges ou bruns parfois argileux.
- Des pyélites et des argiles rouges à versicolores, très localement gris sombre.

Les deux premiers faciès se développent sur de fortes épaisseurs et constituent les principaux faciès réservoirs. [3]

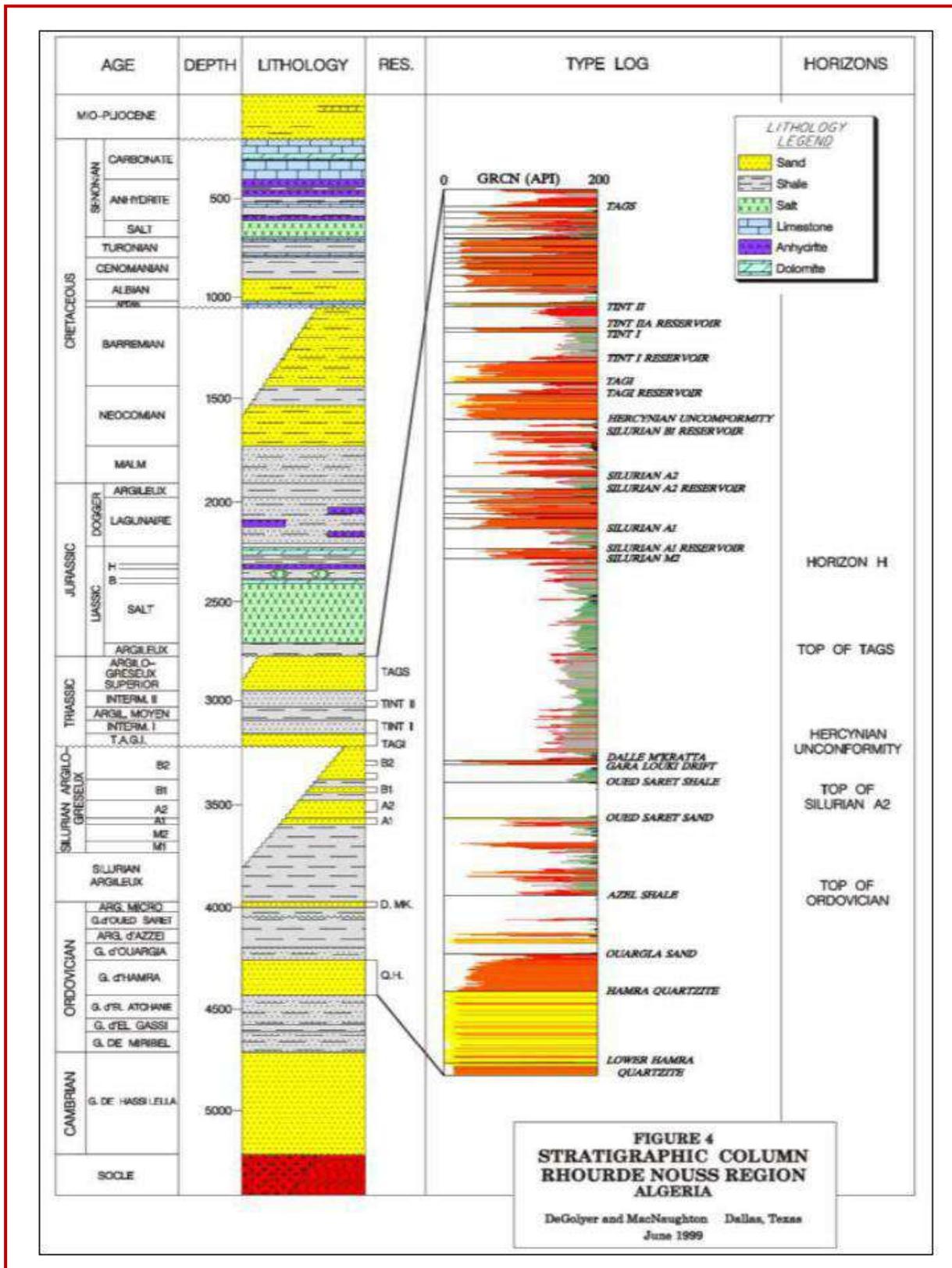


Fig. I.3. Coupe stratigraphique de la région de Rhourde Nous

I.2.4. Aspect pétrolier

L'exploration sur la structure de Hamra a permis de découvrir la présence de gaz au niveau de l'Ordovicien, Quartzites Hamra, (puits Hamra2 en 1956). Le forage profond du puits RN-101 sur la structure de Rhourde Nouss a confirmé l'existence de gaz riche en condensat au niveau de cette formation. Juste après, une trentaine des puits sont réalisés sur d'autres structures dont certains ont été positifs et ont confirmé l'importance de ce réservoir. [3]

I.3. Historique de l'exploitation

Les travaux de recherche sur cette région ont débuté en 1956 par la compagnie ELPASO France Afrique avec l'implantation de HR-1 qui a été foré sur la structure de Hamra. Au cours de ce forage, un seul test a été effectué dans le Barrémo–Néocomien. La poursuite des travaux sur cette même structure a permis en 1958 de forer HR-2. Ce dernier a donné du gaz dans les réservoirs du Trias Gréseux et l'Ordovicien. Dès lors, les travaux ont été poursuivis vers l'Ouest avec la mise en évidence en 1959 de la structure de Ramade Nord qui a fourni des résultats négatifs. Par la suite, les recherches ont été orientées vers le Nord-Est, où la structure de Rhourde Nouss a été mise en évidence.

En 1962, le sondage RN-1 de 2100m de profondeurs a révélé du gaz dans le trias et le Gothlandien. A partir de cette découverte, plusieurs autres puits furent forés. Donc de nombreuses accumulations d'hydrocarbures ont été reconnues par SONATRACH et les sociétés opératrices le long des 30 dernières années, avec environ 8500Km de sismique postérieur à 1970, et 197 forages au total, dont 79 d'exploration et 118 de développement sur ces puits, 42 tiennent donc les objectifs du Cambro-ordovicien. [3]

I.4. Situation de puits RN-112

I.4.1. Les coordonnées du puits

a) Coordonnées Lambert UTM

X (m)	Y (m)	Z TABLE	Z SOL
280 933,74	3 288 370,30	265.00	254.30

Tab. I.1. Les coordonnées Lambert (UTM)

b) Coordonnées géographiques

Longitude	Latitude
06° 45' 35".2294 E	29° 42' 33".3425 N

Tab. I.2. Les coordonnées géographiques de zone d'étude

I.4.2. But du Sondage

RN-112 est un puits de développement, il est foré comme puits producteur dans la région de Rhourde Nouss, dans la structure de Rhourde Nouss Centre (RNC), il aura les Quartzites de Hamra, Grès de Ouargla et Grès d'El Atchane avec comme objectif principal.

I.4.3. L'objectif du forage

L'objectif du forage de ce puits est d'atteindre le réservoir Ordovicien qui constitué de Quartzites de Hamra, Grès de Ouargla et Grès d'El Atchane.

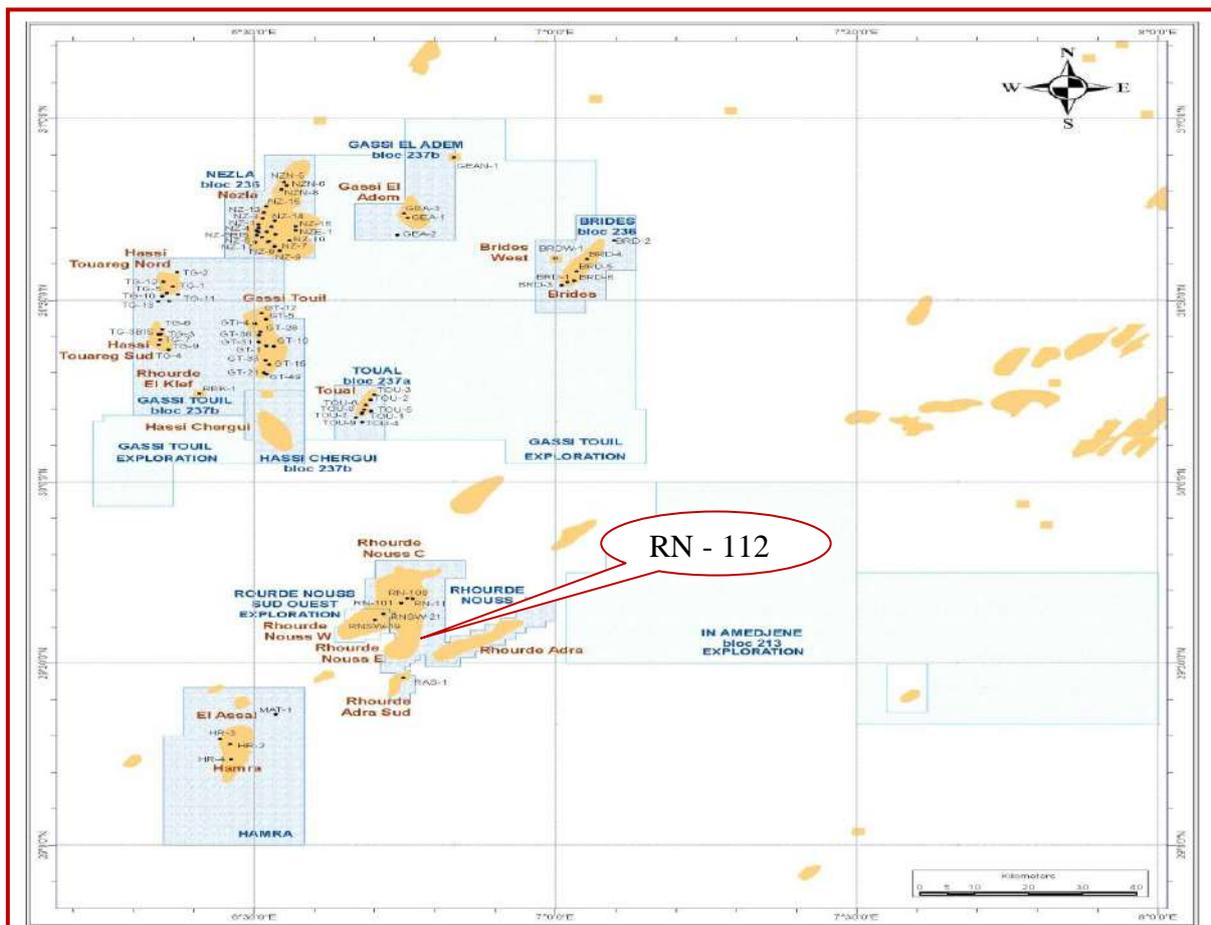


Fig. I.4. Situation du puits RN-112

I.4.4. Prévisions stratigraphiques RN-112

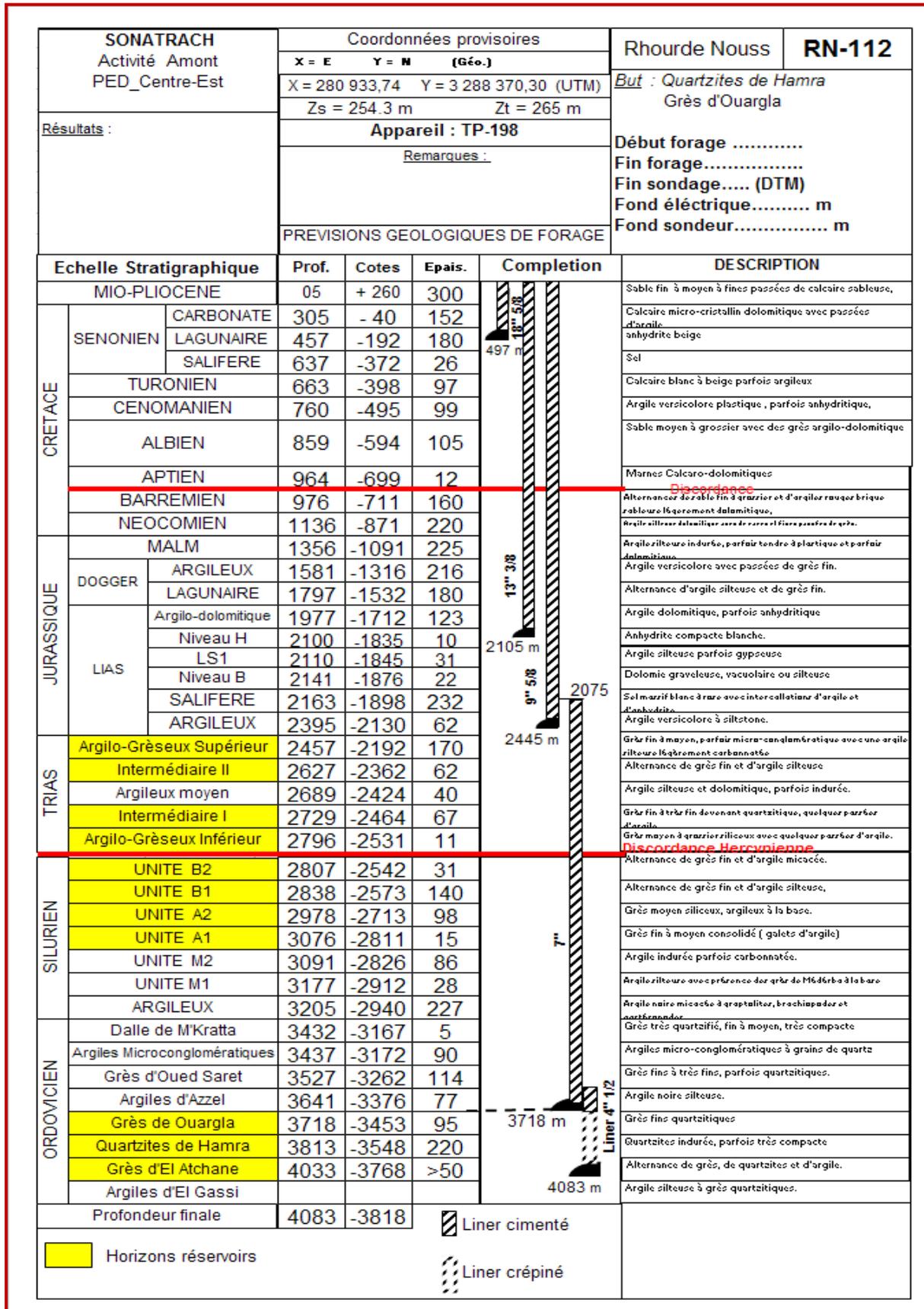


Fig. I.5. Prévisions stratigraphiques RN-112

I.4.5. Cote d'arrêt

Le forage Rhourde Nouss Centre (RN-112) sera arrêté vers 4083 m, soit après pénétration de Quartzites de Hamra, Grès de Ouargla et Grès d'El Atchane d'une centaine de mètres.

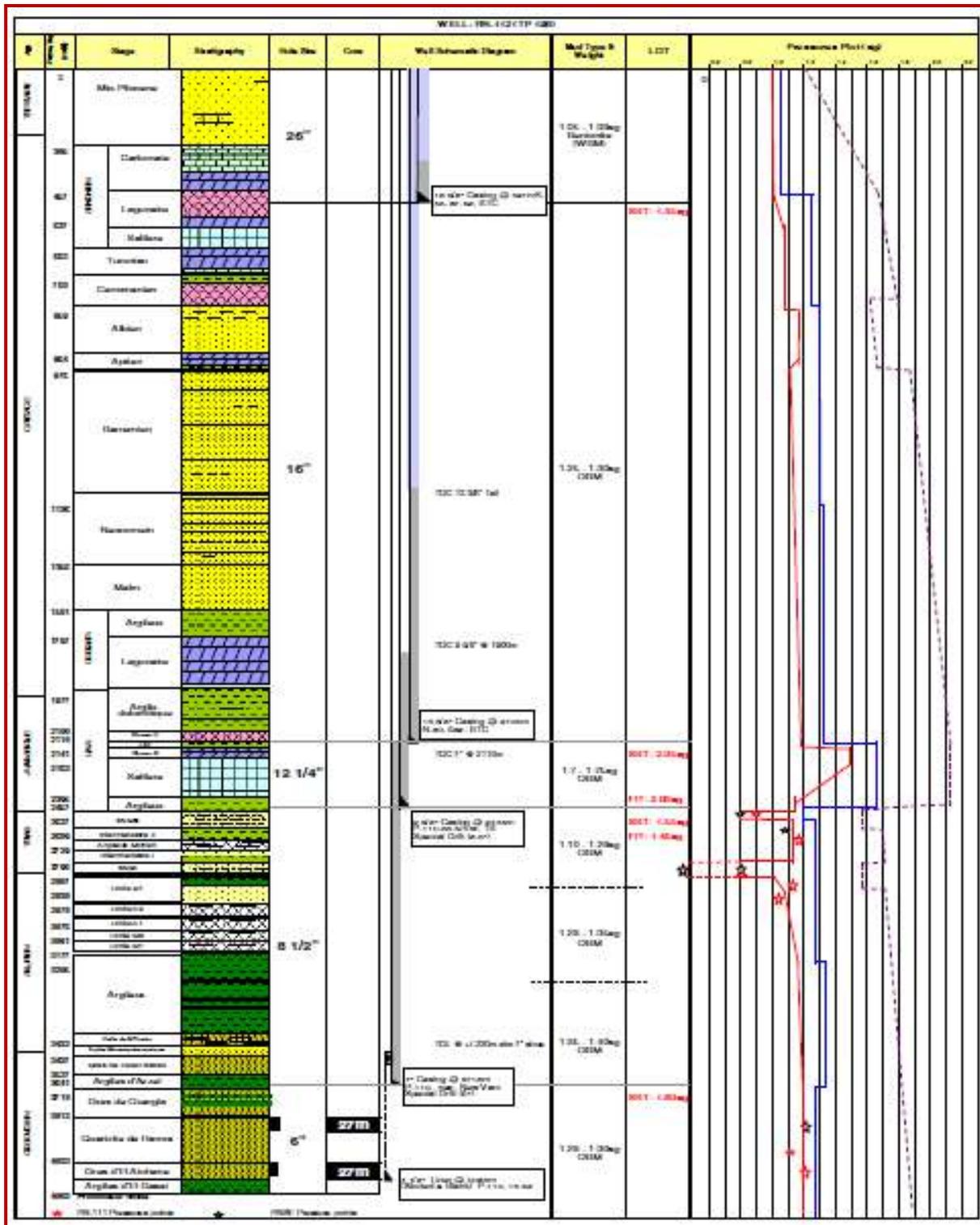


Fig. I.6. Fiche stratigraphie du puits RN-112

I.4.6. Problème de la région de RNS

En se référant sur les forages des puits réalisés dans le cadre de l'exploration et développement des gisements de RNS, on a constaté certaines difficultés des problèmes rencontrés lors de la réalisation de plusieurs forages au niveau des différentes structures telles que, RN-111, RN-112, RN-113, RA-101, RNSE-101, HR-2, HR-4, RN-110, RNZ-123....

Parmi ces difficultés on site :

- Instabilité des parois des puits lors des phases 26" et 16" due au caractère sableux des formations.
- Possibilités de pertes partielles ou totales dans les niveaux carbonatés des mio-pliocènes, dans les calcaires dolomitiques de l'éocène, l'apparition des pertes dans le mio-pliocène peut être due à l'origine d'éboulements des sables de surface pouvant aller jusqu'à la déstabilisation de l'appareil de forage.
- Venue d'eau douce ne pouvant être liée à la densité de la boue utilisée dans la phase 16", qu'à un mauvais remplissage en manœuvre ou un effet de pistonage.
- Coincement dans le Néocomien, principalement au niveau des intercalations de formation.
- Traction rencontrée dans les lias salifères dans la phase 12"^{1/4}.
- Faible avancement de forage notamment lors des phases 8"^{1/2} et 6" se traduisant par le caractère compact et dureté de formation.
- Perte de boue (partielle ou totale) lors des phases 8"^{1/2} et 6" expliquant l'existence des fissures et fractures ayant affectés la région.
- TIAGS est un réservoir à gaz dans la phase 8"^{1/2}.
- Risque de déviation des puits verticaux dont la tendance varie entre 10° et 15° particulièrement pour les de phase 8"^{1/2} et 6".

Ce dernier est très connu dans la région de RNS étant le plus répandu et plus compliqué et constitue un vrai casse de tête pour les superviseurs travaillant dans la région de RNS [4].

Chapitre

II

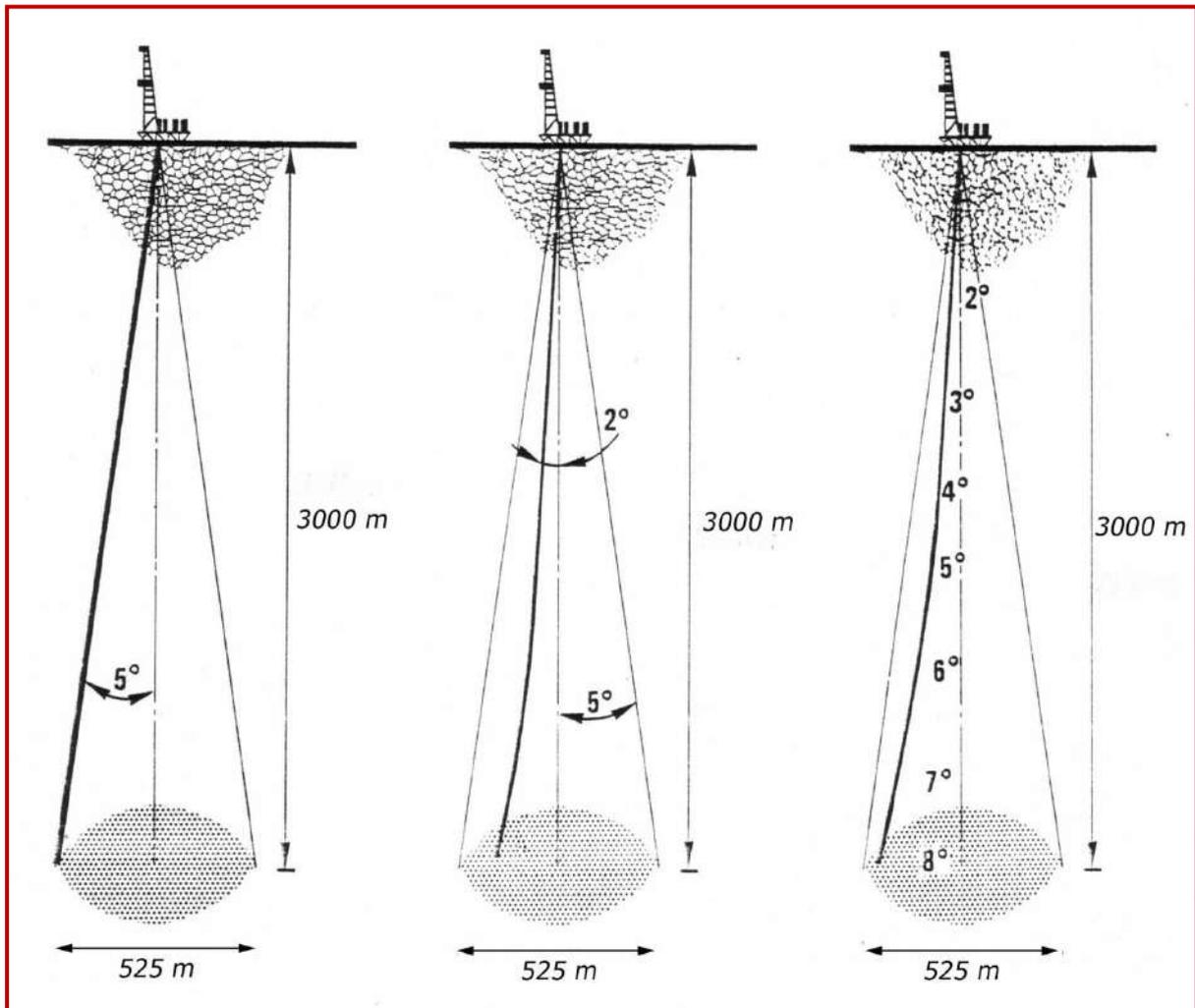
Problèmes de déviations

II. Introduction

L'objectif d'un forage vertical est d'atteindre une cible donnée avec une certaine tolérance. Pour rester dans des limites admissibles (distance maximum par rapport à la verticale à respecter), il est nécessaire de contrôler et parfois de corriger l'inclinaison. Les programmes de forage imposent souvent une limite maximum d'inclinaison. Il est à noter cependant que l'écartement par rapport à la cible dépend non seulement de l'inclinaison, mais aussi du processus de montée en angle.

Si le programme prévoit un puits à 3 000 m avec une déviation maximum de 5 degrés par exemple, la déviation maximum peut être obtenue dès la surface et être conservée jusqu'à la profondeur finale auquel cas l'écartement par rapport à la verticale sera maximum (260 m dans notre exemple). Plus fréquemment le trou restera dans la limite de 2 degrés pour une partie puis s'éloignera progressivement de la verticale. Si l'on s'impose de rester dans la limite maximum de 5° en limitant le poids sur l'outil et donc en pénalisant l'avancement, on atteindra la profondeur finale à une distance bien inférieure, par ailleurs, il est fort possible de rester à l'intérieur de la cible tout en atteignant des valeurs de déviation bien supérieures aux 5 degrés imposés. Certaines spécifications ont d'ailleurs été écrites permettant une augmentation de l'angle avec la profondeur, tout en se maintenant dans une cible prévue.

Limiter et contrôler la valeur maximum de déviation constitue cependant la manière la plus simple et la plus courante de garantir un éloignement minimum par rapport à l'objectif. Dans les cas délicats cependant, on procédera à un multishot pour estimer de façon plus précise cet éloignement [4].



Ex. A

Ex. B

Ex. C

Fig. II.1. Objectif d'un forage vertical - Contrôle de l'inclinaison

- Dans le cas **A** la déviation est à 5° tout au long du forage.
- Dans le cas **B** la déviation est maintenue dans un minimum sur une partie du puits pour terminer à 5° en fin de forage.
- Dans le cas **C** la déviation est maîtrisée au début du puits, et dérive par la suite à 8° en fin de forage.

Ces quelques exemples montrent l'intérêt de maîtriser la déviation donc le comportement de la garniture, sur toute une durée de puits afin d'éviter le risque de se retrouver à 250 mètres de la verticale (exemple ci-dessus) [5].

II.1. Explications théoriques

II.1.1. Théorie du moment aux masse-tiges

Lorsqu'un outil passe d'une formation tendre à une formation dure, le poids sur l'outil n'est pas réparti de façon uniforme sur le fond du trou. Du fait que le plus de poids est porté par la roche la plus dure, surtout lorsqu'elle est également la plus compressible (cas du sel et de l'anhydrite), il apparaît un moment à l'outil.

En l'absence de stabilisateur sur l'outil, le moment de flexion est transmis aux masse-tiges situées directement au-dessus de l'outil. L'angle d'attaque à l'outil, ou tilt angle (angle que fait l'axe de l'outil avec l'axe du puits), est alors augmenté du fait du jeu entre les masse-tiges et le trou [4].

II.1.2. Théorie du WHIPSTOCK

Se basant sur les observations expérimentales de HUGHES et sur les hypothèses de plusieurs chercheurs américains, cette théorie est très ancrée aux Etats Unis. Des escaliers miniatures sont créés par effet de bord entre les alternances (subsistance de parties de roches non détruites). L'outil est ainsi guidé par ces escaliers et tend à remonter la pente et à forer perpendiculairement aux couches [4].

II.1.3. Théorie des différences de vitesse d'avancement

L'outil forant moins vite dans la formation la plus dure, il a tendance à basculer dessus jusqu'à avoir éliminé toute la formation tendre. Il se trouve ainsi ramené à la perpendiculaire de la formation dure. Au passage d'une formation tendre à une formation dure cette théorie prévoit que l'outil remonte la pente de la frontière entre les deux formations [4].

II.2. Le Problème de déviation

Une expérience pour visualiser le phénomène du forage vertical en présence d'alternances de terrain a été menée par la compagnie HUGHES TOOL. Des plaques de verre inclinées par rapport à l'horizontale représentaient ces alternances. Dans tous les cas étudiés (pente des plaques inférieure à 45°), l'outil avait tendance à forer perpendiculairement aux plaques, provoquant une déviation du trou foré par rapport à la verticale. Deux autres auteurs (T. HORIBE & M. USHIDA) ont mené au Japon des expériences analogues qui ont montré que lors du passage d'une formation tendre à une formation dure, l'inclinaison de la frontière entre les deux formations et l'usure de l'outil jouaient un rôle important dans l'apparition de phénomènes de déviation.

D'après ces expériences, la déviation augmente si :

- l'érosion latérale, ou élargissement du trou en cours de forage, diminue de la formation supérieure à la formation inférieure,
- le rapport entre la forabilité des deux formations $R = ROP \text{ sup}/ROP \text{ inf}$ augmente. En utilisant sa cellule de forage et du gneiss prélevé sur le terrain, TERRA TEK a également observé que tant que l'inclinaison de la frontière entre formations dures et tendres restait inférieure à 45° , l'outil avait tendance à remonter la pente pour tendre à forer perpendiculairement à cette frontière [4].

II.2.1. Les Causes de déviation

a) Problème de formation

a.1) Déformations cassantes

Elles se manifestent par des surfaces généralement perpendiculaires ou fortement obliques aux surfaces de stratification.

Faïlle

Une faille est une fracture accompagnée du déplacement relatif des différents compartiments.

a.2) Déformations souples : les plis

b) pendage des couches

Le pendage de la formation traversée affecte fortement la direction du forage. Le phénomène varie selon la valeur du pendage. Il a été observé que le pendage est inférieur à 45° , le puits aura tendance à "monter" pour venir perpendiculaire au pendage, Si le pendage est supérieur à 45° : le puits aura tendance à "suivre" le pendage. Le contrôle de ce phénomène est difficile et il est préférable de l'utiliser plutôt que de le combattre.

c) Contraintes du a la formation (mécaniques, tectoniques)

Se sont des forces latérales naturellement présentes dans les formations qu'elles engendrent l'outil de forage a dévie et la Réalisation d'un profil de puits elliptique [4].

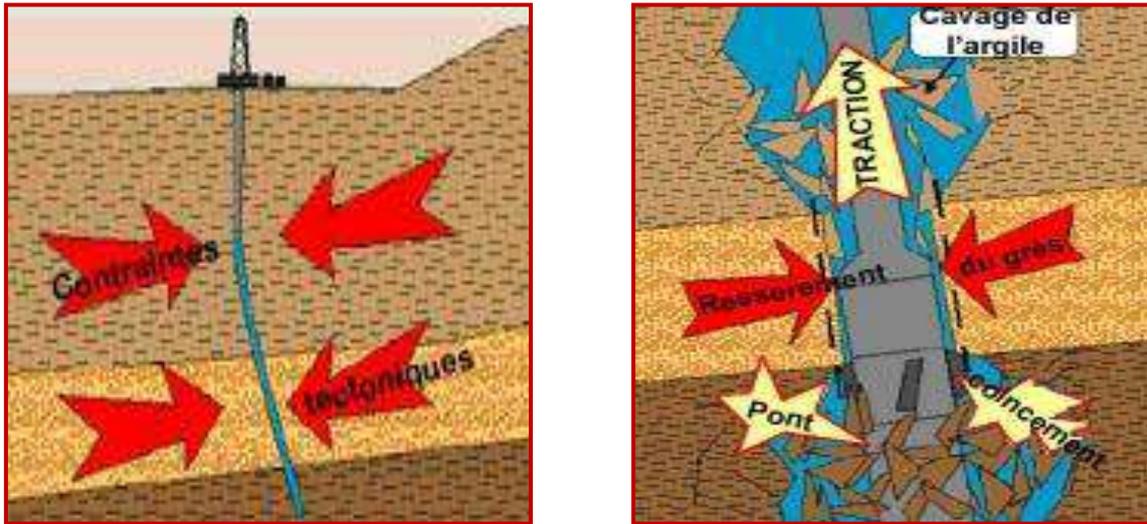


Fig. II.2. Contraintes tectoniques – Réactions et évènements

d) Les alternances de formation tendre et dure

Les alternances de formations tendres et dures peuvent provoquer un décalage de l'axe du puits, résultant en un diamètre "apparent" inférieur au diamètre de forage. Les formations tendres posent moins de résistance à l'avancement de l'outil, et en raison de leurs instabilités le forage de ces formations se fait d'une manière très facile mais aléatoire. Les formations dures, qui possèdent une résistance plus élevée, la forabilité devient plus difficile, ce qui entraînera une déviation incontrôlée de l'outil sur sa trajectoire destinée [4].

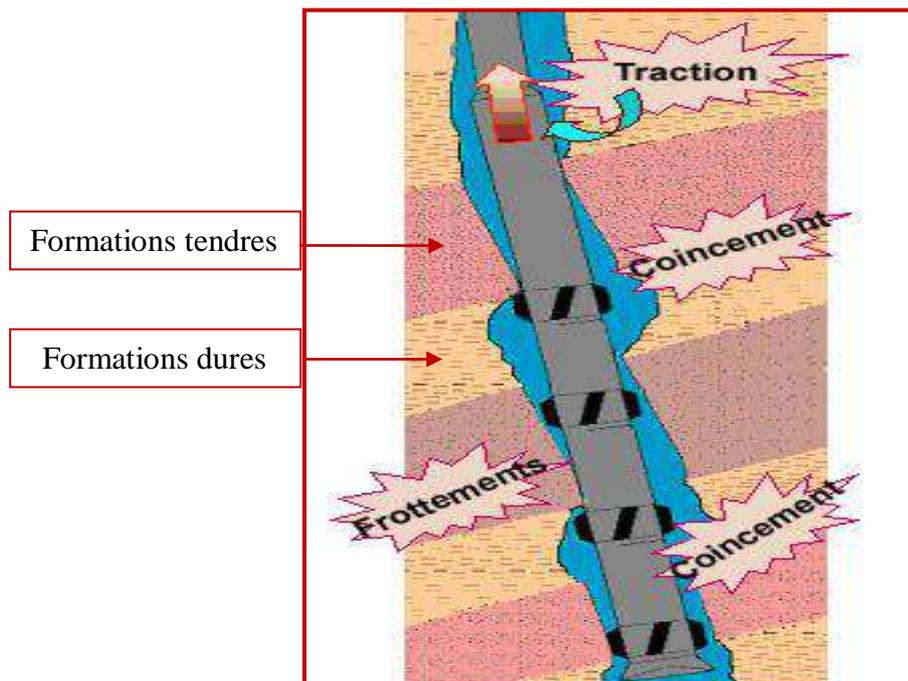


Fig. II.3. Les alternances de formation tendre et dure

e) Désignation du BHA

Les écarts de trajectoire en puits vertical, peuvent être provoqués involontairement par une garniture mal choisie, avec des paramètres de forage non adaptés et par des anomalies du terrain foré. Le pendage par exemple, ceci entraîne une variation d'inclinaison et/ou d'azimut. Si ce coude ou "dog leg" est assez important, il peut provoquer de très sérieuses difficultés au passage de l'outil et des stabilisateurs, notamment si cela fait suite à un changement de BHA.

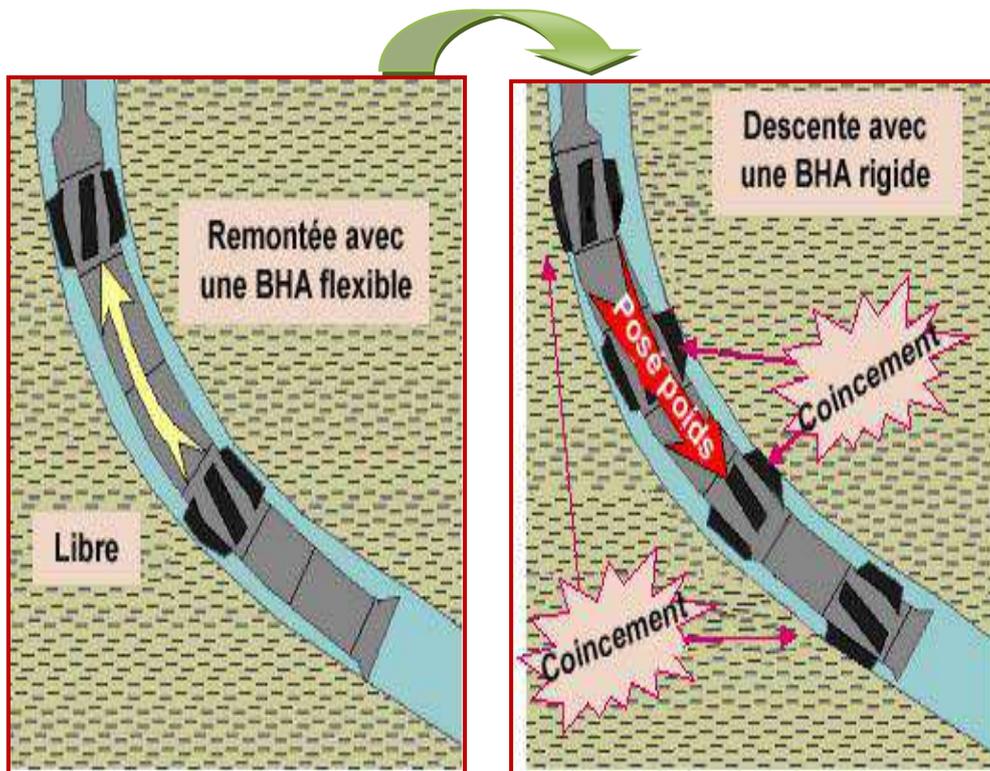


Fig. II.4. Désignation de BHA

II.2.2. Les conséquences de déviation

La déviation correspondant a une situation d'exception a la quelle engendre plusieurs problèmes :

a) cible non rencontre

Des cibles géologiques ne peuvent être rencontre si le degré de déviation est haut.

b) coincement

Le coincement est un obstacle qui impose un arrêt de forage dont la durée est difficilement prévisible. De toute manière c'est un problème grave, les opérations qu'il est nécessaire d'entreprendre entraînent des dépenses dont le seuil de rentabilité est souvent très difficile à déterminer et des risques pouvant aller jusqu'à la perte du puits [4].

Le silurien argileux est bien connue comme une formation instable et failles, toute en forant cette intervalle la garniture est coincée .les conséquence sont particulièrement grave dans RNS.

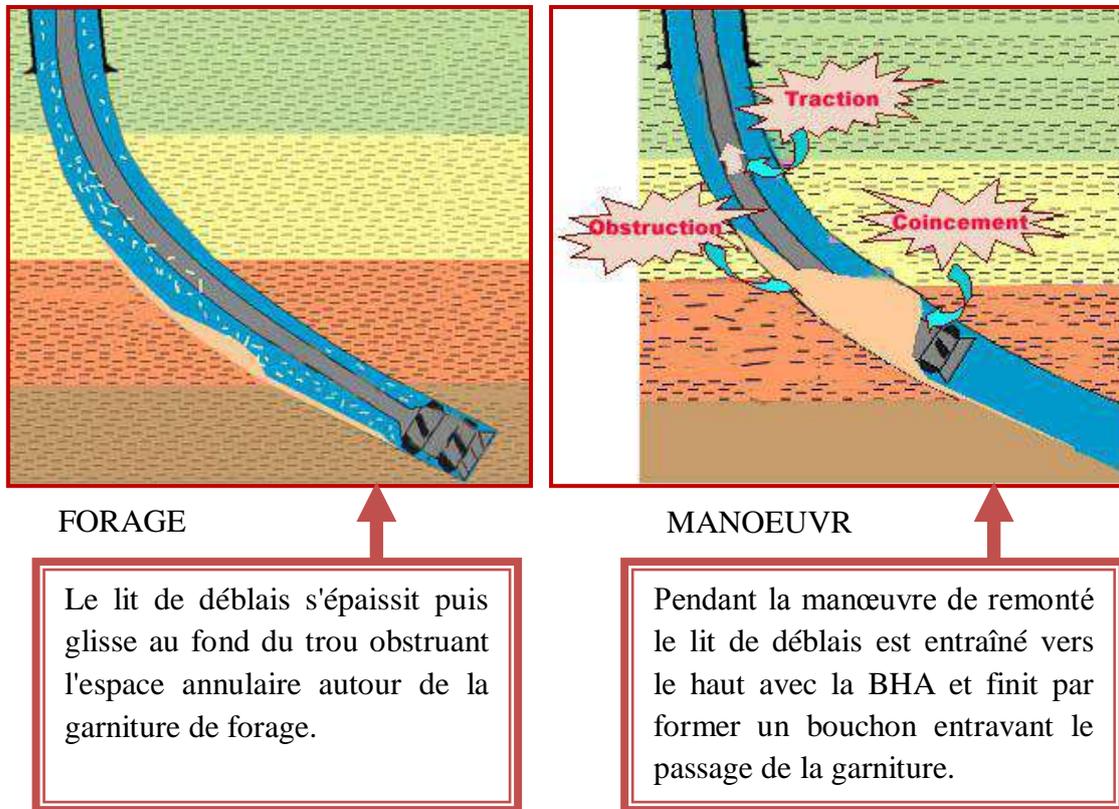


Fig. II.5. Coincement de la garniture

c) Formation de dog leg

Les Dog-Leg sont des changements brusques d'inclinaison et d'azimut exprimé par unité de longueur forée. Généralement, on fait référence à un changement d'angle par 10 m, 30 m ou 100 ft forés. Si ce "dog leg" est assez important, il peut provoquer des difficultés au passage de l'outil et des stabilisateurs [4].

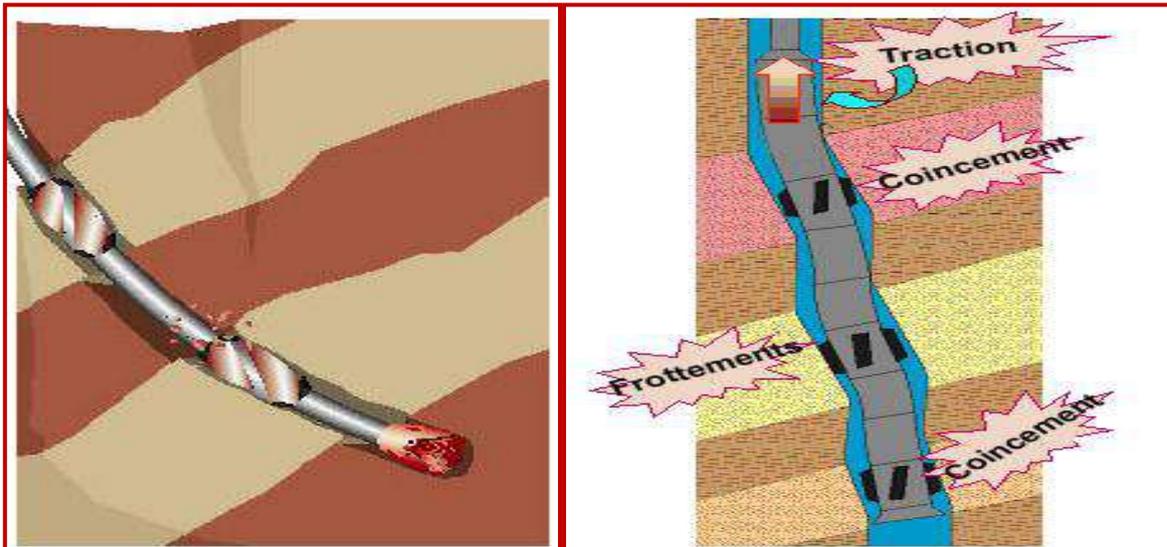


Fig. II.6. Formation de Dog leg

d) Formation des key-seat

Les Key Seat sont des gouttières creusées dans le terrain par le frottement des tiges pendant le forage ou les manœuvres, ces gouttières se développent au niveau des dog legs ou des décrochements que sont d'autant plus profond que :

- Le terrain est tendre.
- Le dog legs est élevé.
- La tension des tiges est grande [4].

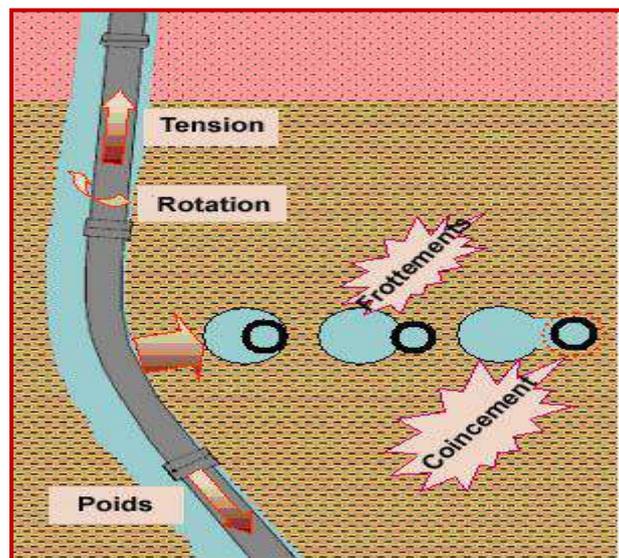


Fig. II.7. Formation des key-seat

e) Frottement de la garniture de forage

La première surprise pour le foreur qui n'est pas familier avec le forage est l'importance des frottements. Ils sont dues aux contacts entre les tiges et les parois du puits et dépendent principalement de la géométrie de la garniture, de la trajectoire du puits et des coefficients de frottements garniture-paroi de puits. Les frottements se manifestent par un torque excessif, une variation importante du poids au crochet, l'incapacité à transmettre du poids et à orienter l'outil [4].

f) Reaming et Back reaming

- Les Key Seat et les dog legs sont réduits par Reaming et Back reaming.
- Le Reaming et Back reaming améliore grandement la géométrie du trou.

g) Une mauvaise géométrie de puits

Une mauvaise géométrie affecte chaque aspect de la cimentation et de la complétion d'un puits :

- Mauvais transport des cuttings et mauvais nettoyage.
- Casing excentré : Impossibilité de centrer un casing dans un puits de géométrie irrégulière.
- Instabilité des parois du puits pendant la phase de production

h) L'augmentation du Torque et Drag

Le Torque, est le couple nécessaire en surface pour faire tourner le train de tiges dans le puits de forage.

Le Drag, est la force nécessaire au crochet pour manœuvrer (sortir ou descendre) le Train de tiges dans le puits de forage.

Les pertes de transmission de couple et de force axiale sont les facteurs les plus importants pouvant perturber le forage d'un puits vertical. Les conséquences principales seront réduites la vitesse d'avancement de l'outil en empêchant le transfert du poids WOB requis, elles provoquent des twist-off et du survissage (over-torque) dans les équipements de forage, et peuvent rendre la descente d'un tubage ou liner tout à fait impossible [4].

Chapitre



III

**Forage avec la BHA
conventionnelle**

III. Forage avec la BHA conventionnelle (Forage Rotary)

Le choix de la garniture de fond se fera en fonction du diamètre du puits, du poids à appliquer sur l'outil de la trajectoire. Il faut veiller à utiliser des garnitures de fond aussi courtes que possible afin de réduire le couple, la friction, les pertes de charge annulaires et les risques de rupture liés au travail de cette partie de la garniture en compression. Une transition doit être aménagée entre les tiges et la garniture de fond afin de minimiser les risques d'endommagements par fatigue. Lorsqu'une garniture fore d'une profondeur H_1 à une profondeur H_2 plusieurs problèmes peuvent se présenter :

- La forme du trou varie constamment. L'érosion latérale, l'érosion hydraulique, les défauts de la formation empêchent le trou de rester un cylindre parfait ;
- La courbure du trou et par conséquent l'angle change sous l'effet de la BHA elle-même, les pendages, les failles, les changements de strates ou toute autre raison géologique,
- Le comportement mécanique de la formation change : certaines formations peuvent avoir une réponse rigide, élastique, plastique ou viscoplastique à l'effort induit par les contacts avec l'outil, les stabilisateurs ou les masse-tiges
- Les efforts internes à la formation, et ainsi sa réponse à l'attaque latérale ou frontale de l'outil varient constamment ;
- Les vibrations et des chocs sur les parois du trou apparaissent avec des amplitudes et des fréquences diverses.

Toutes ces influences sont difficiles à quantifier car le manque de données précises, et les lois physiques applicables.

Dans le cas du diamètre du trou, par exemple, lorsque le "caliper" est descendu, de nombreux facteurs ont pu changer la géométrie du puits :

- Les chocs des tiges ont pu altérer les parois du trou ;
- Des réactions physico-chimiques entre la boue et les formations ont pu faire gonfler des argiles ;
- L'érosion hydraulique a provoqué des cavages ;
- L'évolution des contraintes internes de la formation a pu modifier la forme du trou ;
- Les outils et stabilisateurs ont une agressivité latérale qui attaque les parois du trou.

A moins que le caliper ne montre un trou parfaitement calibré, il est presque impossible de prédire quel était le diamètre correct à prendre en compte au moment du choix des garnitures.

Et pourtant, il s'agit d'un paramètre important. Mais une chose peut être connue parfaitement, la garniture elle-même. Les lois générales de l'élasticité et de la mécanique ont prouvé être des outils utiles à l'analyse du comportement mécanique d'une garniture. Quelles que soient les conditions du trou et de sa géométrie, l'existence ou non des failles, des pendages, ou de changements de formation, il est toujours possible de comparer deux BHA différentes afin de choisir la plus rigide ou la plus flexible. Les analyses à posteriori des puits déjà forés où toutes les données mesurables ont été recueillies permettent de partager le puits en zones de comportement normal ou anormal. Pour cela, on a besoin de la description précise de la garniture (y compris l'outil), des diagrapies de surface (avec lithologie, avancement, poids sur l'outil, rotation, couple), des données de déviation précises, (les pendage-mètres, et les calipers) [5].

Le premier pas est d'établir une carte d'identité des garnitures, avec une description précise de leur composition et des conditions dans lesquelles elles sont descendues, Le second pas est d'analyser leur comportement théorique suivant leurs réactions à toutes les variations de paramètres possibles, et Le troisième pas est de comparer le comportement théorique au comportement réel, et ainsi d'être capable de diviser le puits en plusieurs parties, tendances normales et prévisibles, et tendances anormales.

C'est la seule façon de savoir si un comportement non désiré observé sur un puits donné est dû à, un mauvais choix de la garniture, et des conditions spécifiques à manipuler soigneusement.

Cependant, il est toujours possible de définir des critères pour définir une BHA optimum et d'utiliser notre savoir actuel pour sélectionner la meilleure BHA qui remplira ces conditions.

III.1. Types des BHA

III.1.1. Garnitures lisses (slick assembly)

La plus simple des garnitures est dite "lisse" (*Slick assembly*). Elle consiste

1 outil - 1 NMDC ou MWD - 1 DC ou NMDC - n DC - ...

L'application de la théorie pendulaire permet les considérations lorsque le train de tiges est suspendu (pas de poids sur l'outil), seule la force pendulaire est appliquée à l'outil. Elle tendrait à ramener le puits à la vertical, et quand l'application d'un poids introduit une flexion et rapproche le point de tangence de l'outil, diminuant donc force pendulaire et créant une force axiale poussant l'outil. La résultante de ces forces est difficilement prévisible, dépendant à la fois du poids et de la rigidité des éléments inférieurs [5].

III.1.2. Garnitures pour chute de l'inclinaison ou pendulaires

Une chute d'inclinaison est souvent difficile à réaliser ou à contrôler, en particulier aux faibles inclinaisons. Une chute d'inclinaison a peu de chance de réussir dans les formations dures. Ce devrait être évité dans la mesure du possible. L'effet de chute sera d'autant meilleur que la force pendulaire est forte, il faut donc repousser le point de tangence aussi loin que possible de l'outil. La garniture de chute la plus courante consiste à intercaler dans les masses tiges un stabilisateur (*string* plein trou), à 15 à 20 mètres au dessus de l'outil. Si une garniture de chute ne produit pas l'effet est compté, diverses tentatives peuvent être faites pour améliorer le résultat par la diminution de poids sur l'outil et la rotation [5].

Les garnitures les plus Utilisées sont les suivantes :

1 outil + 1 NMDC ou MWD 9m + 1 DC ou NMDC 9m + Stab stg fg + DC 9m + Stab stg fg + n DC ...

1 outil + 1 NMDC ou MWD 9m + NMDC courte 6m + Stab stg fg + n DC ...

1 outil + 1 NMDC ou MWD 9m + Stab stg fg + 1 DC ou NMDC 9m + Stab stg fg + n DC ...

Avec des stabilisateurs pleins trous, les garnitures en partante la 5^{ème} vers la 1^{ère} sont de plus en plus descendante [5].

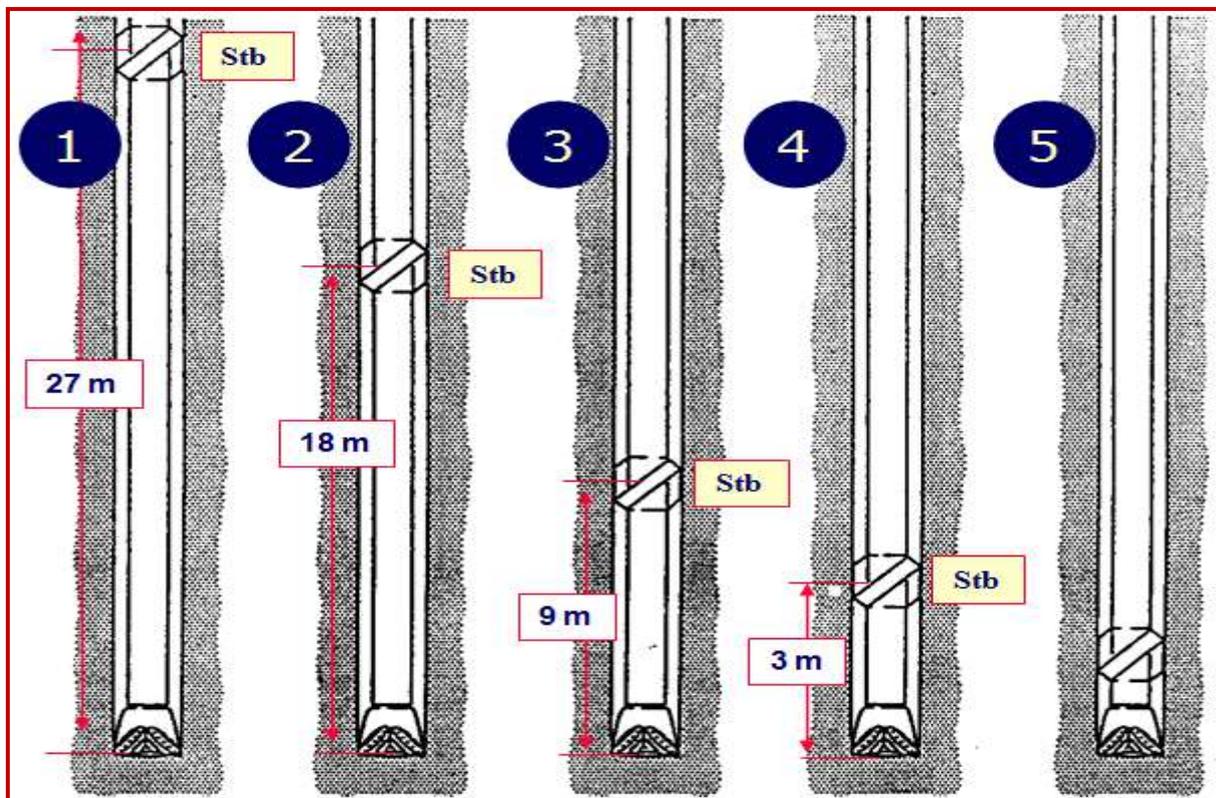


Fig. III.1. Garniture de drop off.

III.1.3. Garniture de maintien de l'inclinaison (Packed-hole assembly)

L'inclinaison d'un puits peut être maintenue à l'aide d'une garniture dite "stabilisée" (Packed-hole assembly), combinaison de plusieurs stabilisateurs et éléments tubulaires arrangés de manière à obtenir une résultante latérale nulle ou négligeable. La composition de base d'une telle garniture consiste un stabilisateur *near-bit* (plein trou, rarement sous dimensionné) ,plusieurs stabilisateurs *string* (plein trous ou sous dimensionnés) et des éléments tubulaires (drill-collars, MWD, etc.) les reliant de manière à obtenir un ensemble rigide, mais aussi suffisamment souple pour, par exemple, permettre de compenser une tendance à la chute. Les garnitures les plus utilisées sont dites:

- "Trois points" un near-bit et deux stabilisateurs string.
- "Quatre points" un near-bit et trois stabilisateurs string [5].

Les garnitures les plus utilisées sont les suivantes :

1 outil + NB.fg + 1 DC courte 2 à 3m+ Stab stg fg + MWD ou NMDC + NM.stb.fg + NMDC 9m + stb.fg + DC 9m + Stab stg fg + n DC ...

1 outil + NB.fg + 1 DC courte 2 à 3m+ Stab stg fg + MWD ou NMDC + NM.stb.ug + NMDC 9m + stb.fg + DC 9m + Stab stg fg + n DC ...

1 outil + NB.fg + MWD ou NMDC + NM.stb.fg + NMDC 9m + stb.fg + DC 9m + n DC...

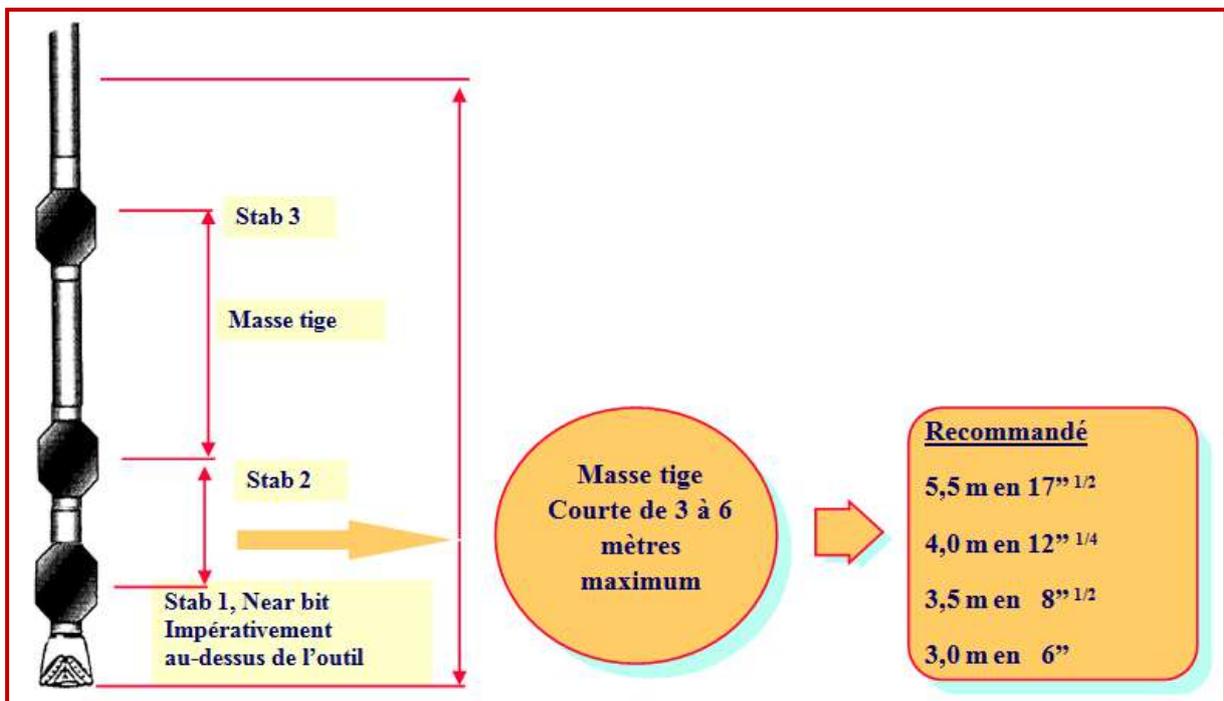


Fig. III.2. Garniture de maintien de l'inclinaison (Packed-hole assembly)

III.2. Procédure de forage de la Phase 8^{1/2}

D'après la procédure de forage de RNC, la phase 8^{1/2} est forée par packed hole assembly [7].

III.2.1. BHA utilisé

Description	No of Joints	OD (inch)	ID (inch)	Connection	
				Bottom	Top
PDC Bit	1	8,5			4 ^{1/2} REG P
8 ^{7/16} NB Stab	1	8,4375	2,813	4 ^{1/2} REG B	4" IF B
SHDC	1	6,5	2,813	4" IF P	4" IF B
8 ^{7/16} Stab	1	8,4375	2,813	4" IF P	4" IF B
1 x DC	1	6,5	2,813	4" IF P	4" IF B
8 ^{7/16} Stab	1	8,4375	2,813	4" IF P	4" IF B
6 x DC	6	6,5	2,813	4" IF P	4" IF B
Jar / Flex Joint	1	6,5	2,5	4" IF P	4" IF B
2 x DC	2	6,5	2,813	4" IF P	4" IF B
X Over	1	6,5	2,813	4" IF P	4 ^{1/2} IF B
15xHWDP Body	15	5	3,125	4 ^{1/2} IF P	4 ^{1/2} IF B
HWDP T. J.		6,5	3,125		
DP G105 Body	Surface	5	4,276	4 ^{1/2} IF P	4 ^{1/2} IF B
DP G105 T. J.		6,5	3,25		

Tab. III.1. BHA utilisé

III.2.2. Paramètres de forage

WOB (tonne)	RPM (tr /mn)	Débit (l/mn)
9-12	150 – 200	1700-2200

Tab. III.2. Les paramètres de forage

III.2.3. Caractéristique de la boue

Densité	Viscosité (second)	Y _P (lb/100ft ²)
1,10 - 1,40	35 - 40	12 - 14

Tab. III.3. Les caractéristiques de la boue

III.2.4. Les résultats obtenus

RNZ 123

Le forage a été incliné dans la phase 8^{"1/2} à 8,81° puis redresser à 1,95° dans la même phase grâce à l'utilisation du MWD.

RN 111

Coincement de la garniture causé par la déviation de plus de 5° d'inclinaison dans la phase 8^{"1/2} suivi par un abondant de puits et un side trak.

RN 113

Tendance de déviation de 9° en fin de forage.

Ce problème de déviation est très connu dans la région de RNC étant le plus répondu et plus compliqué. Sauf le forage rotary ne devrait pas être utilisé pour le forage de la phase 8^{"1/2} dans RNC. Les garnitures rotary ne permettent pas un contrôle suffisant de l'azimut et de l'inclinaison et leur utilisation augmente le risque de rater la cible.

C'est pour cette raison, il oblige l'utilisation du VertiTrak (PDM) dans la phase 8^{"1/2} pour donner une bonne verticalité du puits [7].

Chapitre

IV

Généralité sur le PDM

IV. Généralité sur le PDM (Positive Displacement Motors)

IV.1. Composition d'un PDM

Les différents éléments d'un PDM sont :

- **Un étage moteur** (power section) ou bien section motrice composée d'un rotor et un stator qui convertie l'énergie hydraulique du fluide de forage en énergie mécanique de rotation.
- **Un étage de roulement** (bearing section) ou bien section d'appui qui contient des paliers/roulements qui supportent la charge axiale et radiale pendant le forage et transmet la rotation de l'arbre vers l'outil.
- **Un joint de cardan** le rotor et l'arbre de transmission sont reliés par un joint de cardan, nécessaire pour transformer le mouvement excentrique du rotor en un mouvement concentrique.
- **L'arbre de transmission** qui transmet le couple et la vitesse de rotation produite par la section motrice à l'arbre de sortie (drive shaft).
- **Une valve à pression différentielle** est optionnellement installée en haut du moteur [8].

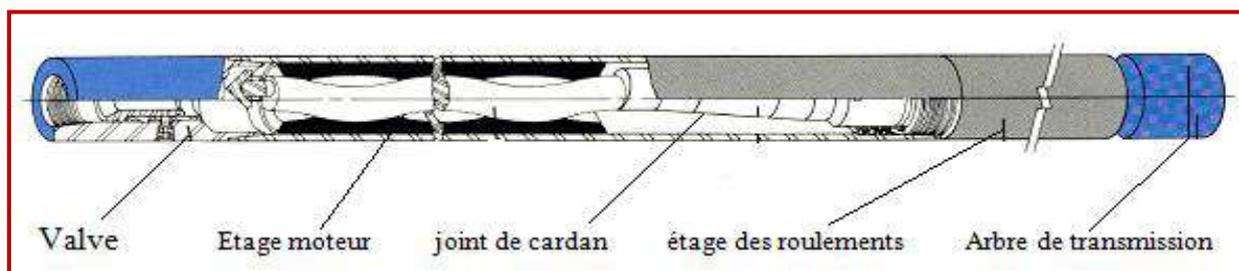


Fig. IV.1. Composition générale d'un PDM

IV.1.1. Valve à pression différentielle

Les PDM sont protégés par une valve de détournement (by-pass) installée à la partie supérieure du corps. Cette valve fonctionne par pression différentielle et permet le détournement du fluide lorsque le moteur ne tourne pas (Il faut se souvenir que l'étage moteur est étanche lorsque le rotor ne tourne pas). A plus au moins de 30% du débit maximum recommandé la vanne est activée, la boue déplace une chemise vers le bas, isolant les orifices latéraux, et la circulation se fait à travers le moteur. Si on arrête la circulation, le ressort pousse la chemise vers le haut, ouvrant les orifices latéraux. Cette vanne est optionnelle sur beaucoup de PDM au lieu de faire partie intégrante du moteur il s'agit alors d'une partie indépendante que l'on visse en haut.

Elle a plusieurs rôles, permet le remplissage du train de tiges en cours de descente et son vidage en cours de remontée, et d'amortir le démarrage de la rotation [8].

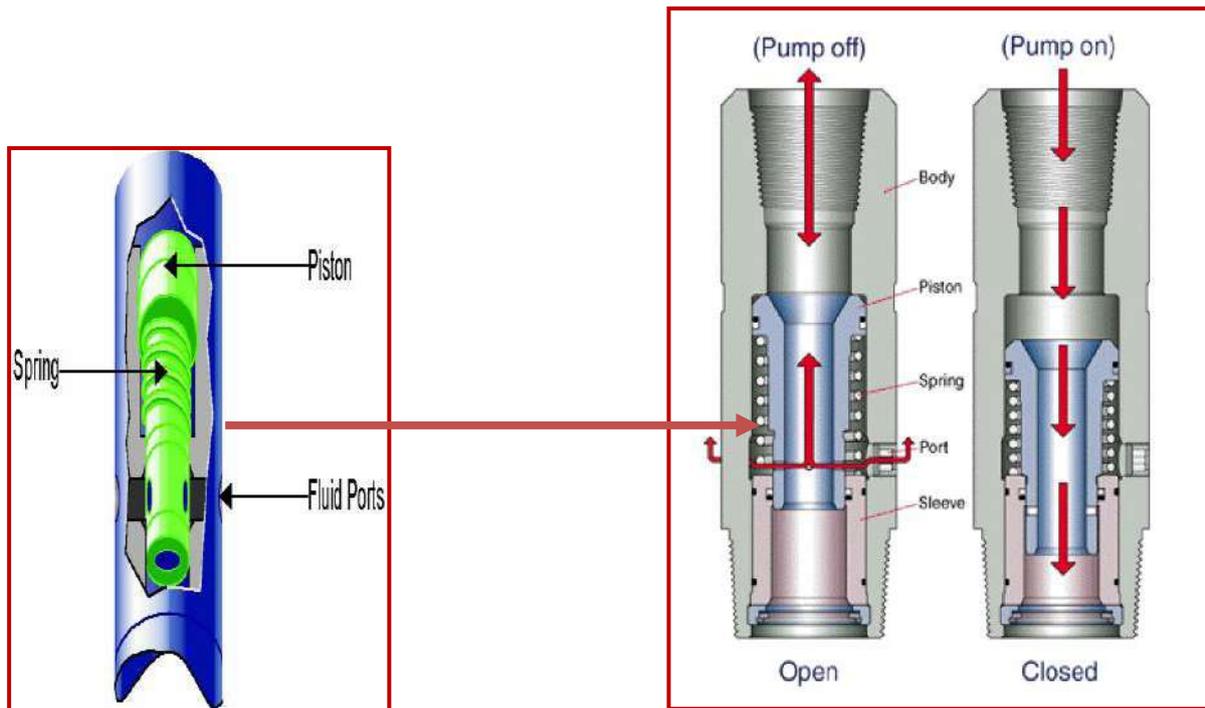


Fig. IV.2. Valve à pression différentielle (Dump Sub)

IV.1.2. Etage de moteur

L'étage moteur ou bien la section motrice se compose d'un rotor en acier et un stator en élastomère (élastique-polymère) collé au corps du moteur. Le stator moulé a un profil multilobé hélicoïdal sur toute sa longueur. L'hélice a son pas en sens inverse des aiguilles d'une montre. Le rotor a un profil usiné se mariant parfaitement aux lobes du stator, mais avec un lobe en moins, et évidemment le même pas d'hélice. L'assemblage stator / rotor crée une cavité puisque le rotor a un lobe de moins.

La pression hydraulique de la boue force cette dernière à s'écouler à travers la cavité hélicoïdale, ce qui oblige le rotor à tourner par rapport au stator [8].

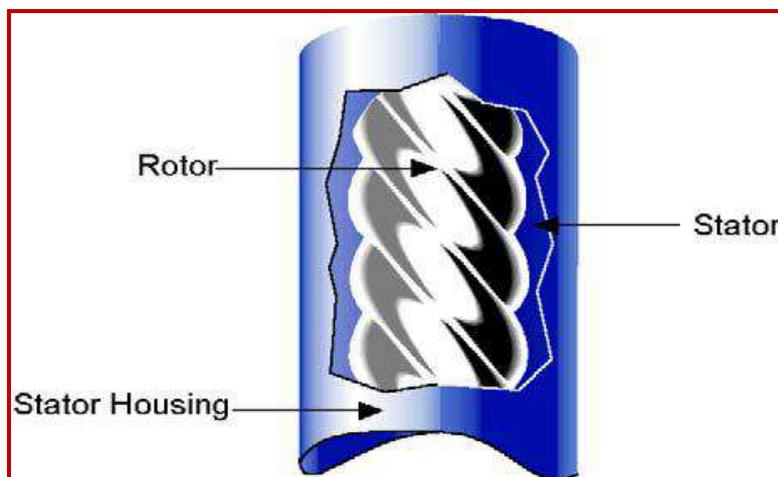


Fig. IV.3. Composition d'un Etage moteur (Section motrice)

Remarque

- Le rotor est une pièce hélicoïdale (hélice externe) fabriquée en acier inoxydable.
- Le stator est un élastomère moulé en forme d'hélice interne, avec une spire supplémentaire par rapport au rotor.
- Le rotor et le stator correspondent étroitement et engendrent des cavités étanches les une des autres.

IV.1.3. Joint de cardan

Une transmission (joint de cardan) qui transmet le couple et la vitesse de rotation produits par la section motrice à l'arbre de sortie (drive shaft). Cette transmission doit éliminer les mouvements du rotor (qui sont légèrement excentriques) par rapport au stator, et délivrer uniquement un mouvement concentrique à l'arbre de sortie. De plus elle doit être capable d'absorber et de transmettre la poussée vers le bas engendrée par la section motrice, et de permettre au rotor de rester correctement aligné par rapport à l'axe du stator, et en fin de supporter une certaine excentricité dans le cas d'un housing présentant une déflexion (bent housing). La transmission peut être constituée d'une seule pièce (flex coupling) en alliage de titane ou d'un axe rigide avec une rotule (universal joint) à chaque extrémité [8].

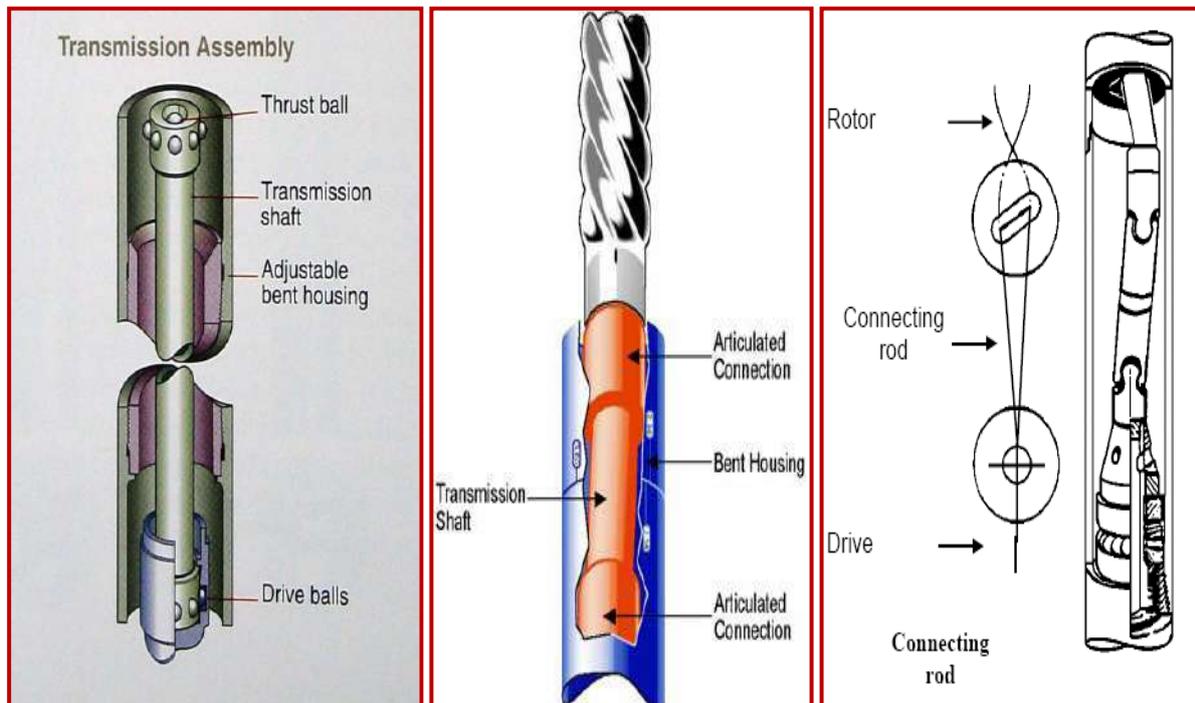


Fig. IV.4. Cardan de transmission (Transmission Assembly)

IV.1.4. Etage des roulements (bearing section)

Il est constitué de roulements axiaux et radiaux qui supportent l'arbre de transmission et transfèrent les efforts de manière à ce que l'étage moteur ne soit pas sous contrainte. Ces roulements sont lubrifiés, Soit en étant enfermés dans des logements étanches remplis d'huile (série S), Soit par le fluide de forage lui-même (série M) et dans ce cas de figure on utilise des coussinets en carbure de tungstène pour réduire le flux du liquide de forage. Le système de roulements adopté influe sur la longévité du moteur, le poids maximal applicable sur l'outil et enfin la distance entre l'outil et le bend housing. Plus que l'étage moteur, c'est l'étage "sensible" duquel dépend la durée de vie du moteur [8].

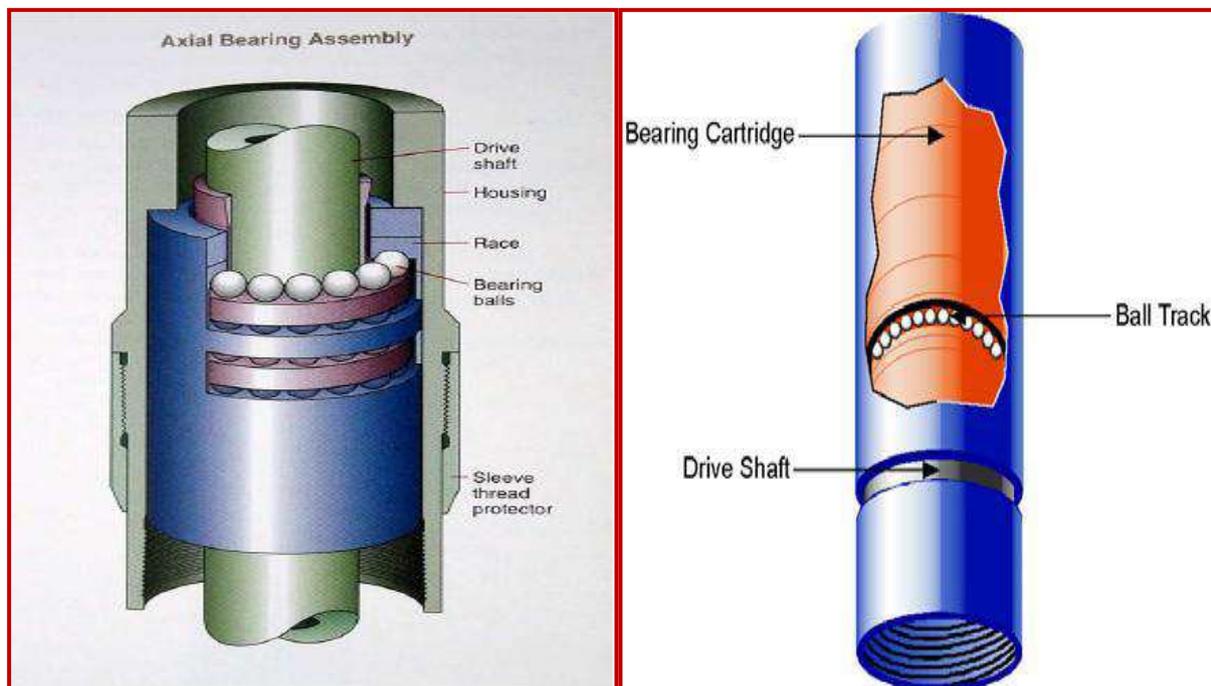


Fig. IV.5. Composition d'un Etage de roulement (bearing section)

IV.2. Principe de fonctionnement

Quand le fluide de forage est pompé à travers le moteur en remplissant la première cavité qui se présente, une montée de pression apparaît entraînant la rotation du rotor 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. Cette action se traduit par une conversion d'énergie hydraulique contenue dans le fluide de forage en énergie mécanique de rotation. La vitesse de rotation est proportionnelle au débit à travers le moteur. Les moteurs de fond fonctionnent correctement dans une plage de débit donnée, indiquée par le constructeur.

A débit constant et dégagé du fond, la perte de charge à travers le moteur est constante. Elle augmente quand l'outil atteint le fond et avec elle la pression de circulation.

Le poids sur l'outil est directement proportionnel à cet accroissement de pression appelé "delta P" du moteur [8].

IV.3. Considérations opérationnelles

Les PDM sont des équipements assez fragiles, particulièrement les stators et sections d'appui. Cela crée donc quelques contraintes opérationnelles. La vie d'un PDM peut diminuer grandement si des précautions ne sont pas observées. Les paramètres fournis par le fabricant doivent être scrupuleusement observés [12].

IV.3.1. Débit et Perte de charge

Les moteurs de fond fonctionnent correctement dans une plage de débit donnée, indiquée par le constructeur. A débit constant et dégagé du fond, la perte de charge à travers le moteur est constante. Elle augmente quand l'outil atteint le fond et avec elle la pression de circulation. Le poids sur l'outil est directement proportionnel à cet accroissement de pression appelé "delta P" du moteur [12].

IV.3.2. Limitations d'utilisation et les problèmes pratiques

Les moteurs de fond sont des outils relativement fragiles, en particulier leurs stator et roulements. Ceci entraîne quelques limites de fonctionnement. La durée de vie d'un moteur peut être dramatiquement réduite si les ces limites ne sont pas respectées [12].

- ***Couple réactif***

La rotation de l'arbre est obtenue par le passage du fluide de forage à travers le rotor/stator. Pendant le forage l'outil de forage rencontre une résistance qui se traduit par un couple, et le moteur à alors tendance à tourner en sens inverse en raison du débit qui continue à l'actionner, jusqu'à atteindre un état d'équilibre. Ce phénomène est appelé couple réactif. Son amplitude dépend à la fois du type d'outil de forage, de la puissance du moteur et de la formation forée. Si le couple réactif est trop fort, il deviendra difficile de contrôler le tool-face et donc la trajectoire. Ceci peut aller jusqu'à l'impossibilité de diriger le puits et donc de forer [12].

- ***Calage***

Si un poids excessif est appliqué à l'outil de forage, le moteur calera (*stall-out*) c'est à dire stoppera brutalement de tourner. Des calages répétitifs risquent d'endommager le moteur, en particulier son stator, et doivent être évités. Le calage est en général dû à un excès de poids sur l'outil, lui-même dû à un excès de "delta P". Il peut également être dû à une usure du moteur résultant en une perte de puissance et une impossibilité de forer [12].

Remarque

En cas de calage le foreur doit dégager l'outil du fond, remonter quelques mètres en stoppant la circulation, puis redémarrer la circulation et reprendre le fond doucement en n'excédant pas le "delta P" nominal [12].

• Chute de pression à l'outil de forage

La perte de pression à travers l'outil de forage affecte le débit de circulation et donc la quantité de fluide traversant les roulements et donc leur lubrification. Il est donc quelquefois nécessaire de limiter cette perte de pression en utilisant soit des duses de gros diamètre soit un outil sans duses [12].

• Bouchage

Dans les formations tendres ou dans les formations où l'accumulation de déblais est un problème, le moteur peut avoir tendance à se remplir et se boucher. Ce problème peut être résolu par l'introduction d'une valve anti-retour entre l'outil et le moteur [12].

• Quantité de solides dans le fluide de forage

Un excès de solides dans le fluide de forage aura un effet abrasif accélérant l'usure du stator et même du rotor.

• Température

Les élastomères constituant les stators supportent mal les hautes températures réduisant la durée de vie des moteurs. Cependant des élastomères dits "hautes températures" sont apparus dans les années récentes repoussant les limites d'utilisation des moteurs [12].

• Boues à l'huile

De même les boues à base d'huile ont un effet corrosif sur les élastomères et réduisent la durée de vie des moteurs. Là aussi des progrès récents améliorent les performances des moteurs [12].

• Durée de vie des outils de forage

La durée de vie des outils de forages à molettes est limitée par un nombre total de rotation des roulements et donc inversement proportionnelle à la vitesse de rotation des outils. Un outil utilisé avec un moteur à grande vitesse verra sa durée de vie réduite, limitant la longueur forable en une seule descente [12].

IV.4. Caractéristiques d'un PDM

Ces moteurs sont caractérisés par trois paramètres principaux

IV.4.1. Le nombre de lobes

Le plus courant est 1/2 lobes, c'est à dire 1 lobe pour le rotor et 2 lobes pour le stator. Des multilobes sont aussi employés (3/4, 5/6 et même 9/10) [9].

En augmentant le nombre de lobes, on obtient :

- Un couple plus élevé
- Une vitesse de rotation plus faible
- Une diminution de l'efficacité
- Une diminution de la durée de vie

Rotor/stator configuration	1/2	3/4	5/6	9/10
Length (ft)	21	22,2	23,1	23,5
Weight (Ib)	2350	2100	3290	3400
Maximum pressure drop across bit (psi)	500	1500	1000	1500
Flow rate (gpm)	325-450	250-500	350-600	200-650
Speed range (rpm)	230-332	65-135	90-160	55-185
Maximum pressure drop across motor (psi)	360	250	390	800-1000
Maximum torque (ft Ib)	1160	2100	4200	4500-6000
Maximum power output at max. rpm and torque (hp)	73	54	128	211

Tab. IV.1. Comparaison entre les configurations des moteurs de fond



Fig. IV.6. Configurations des moteurs de fond

IV.4.2. L'excentricité et le diamètre du rotor

Par construction, le stator est de forme intérieure sinusoïdale, la section étant composée de deux demi-cercles, de diamètre D , dont la distance entre centres est $4e$ réunis par deux parallèles tangentes aux cercles.

- D étant le diamètre du rotor et
- e étant l'excentricité du rotor.

Toute augmentation du diamètre du rotor et de son excentricité entraîne une augmentation de la section des alvéoles donc une augmentation de la pression différentielle admissible pour l'alvéole ce qui se traduit par une augmentation du couple et de la puissance disponible [9].

IV.4.3. Nombre d'étages

L'augmentation du nombre d'étages permet d'accroître la perte de charge totale admissible par le moteur donc le couple et la puissance de sortie [9].

IV.5. Les MWD (Measurement While Drilling)

Les premiers MWD sont apparus dans les années 70, apportant au forage dirigé l'un des instruments qui allait lui permettre une évolution sans précédent, en particulier le développement du forage horizontal et de ses séquelles. Ils mesurent et transmettent l'inclinaison, l'azimut et le tool face, à l'aide de capteurs ultra sensibles, accéléromètres et des magnétomètres, leur conférant une précision inégalée par les instruments de mesure classiques (totco) [12].

Les paramètres mesurés sont transmis vers la surface après avoir été codés sous forme binaire. Deux systèmes de transmission sont utilisés :

- La transmission par impulsions à travers le fluide de forage ("mud pulses")
- La transmission électromagnétique

IV.5.1. Composition d'un MWD

Les composants d'un MWD sont :

a) Le(s) étage(s) de mesures

A leur origine les MWD ont été conçus pour fournir les mesures nécessaires aux opérations de déviation et sont donc équipés de capteurs permettant les mesures d'inclinaison et d'azimut, et de tool-face si le système est indexé à l'outil de déviation [12].

b) L'étage de télémétrie

L'étage de télémétrie a pour fonction de transmettre les mesures depuis le fond de trou vers la surface. Deux systèmes de télémétrie sont couramment utilisés :

- La transmission par impulsions à travers le fluide de forage ("*mud pulses*")
- La transmission électromagnétique utilisant les formations en tant que conducteur.

Pour être transmis les paramètres mesurés doivent préalablement être transformés en information binaire [12].

b.1) Télémétrie par impulsions à travers le fluide de forage

Le principe consiste à créer des impulsions dans le fluide de forage, à l'aide d'un système mécanique appelé "*pulser*". Ces impulsions sont :

- Soit des dépressions (impulsions négatives)
- Soit des surpressions (impulsions positives)

Ces impulsions se transmettent à travers le fluide à l'intérieur du train de tiges et sont mesurées en surface par l'intermédiaire d'un capteur de pression installé sur la ligne d'injection. Divers systèmes sont utilisés, plus ou moins performants dans leur capacité de transmission. Les systèmes à impulsions sont très dépendants du fluide de forage. Ils ne peuvent fonctionner avec l'air ou la mousse [12].

b.2) Transmission électromagnétique

Un courant électrique est injecté dans la formation et mesuré en surface. Ce type d'outil à l'avantage d'être totalement indépendants du fluide de forage. Ils peuvent donc transmettre en permanence (y compris pendant les arrêts de circulation) ou dans les puits forés en dépression. Les possibilités d'opération de ces outils sont limitées par la résistivité des formations traversées [12].

c) l'étage de puissance

Les différents composants d'un MWD nécessitent une alimentation électrique fournie soit :

- Par des batteries
- Par une turbine entraînant un alternateur
- Une combinaison batteries - turbine

Chapitre



V

Vertitrak
(Vertical Drilling System)

V1. Introduction

Les travaux de recherches ont débuté avec l'idée de créer un système de forage qui nous permet de réaliser des puits distants de 8 m et dont la profondeur que d'atteindre 3000 m, afin d'éviter le croisement entre ses puits. Dans les années 1990, la création du VertiTrak a prouvé son efficacité en forant des profils parfaitement verticaux. Le VertiTrak a été développé pour forer des formations avec des pendages élevés (high dip angle) de 30 à 60° ou l'outil de forage (BHA conventionnelle) [10].

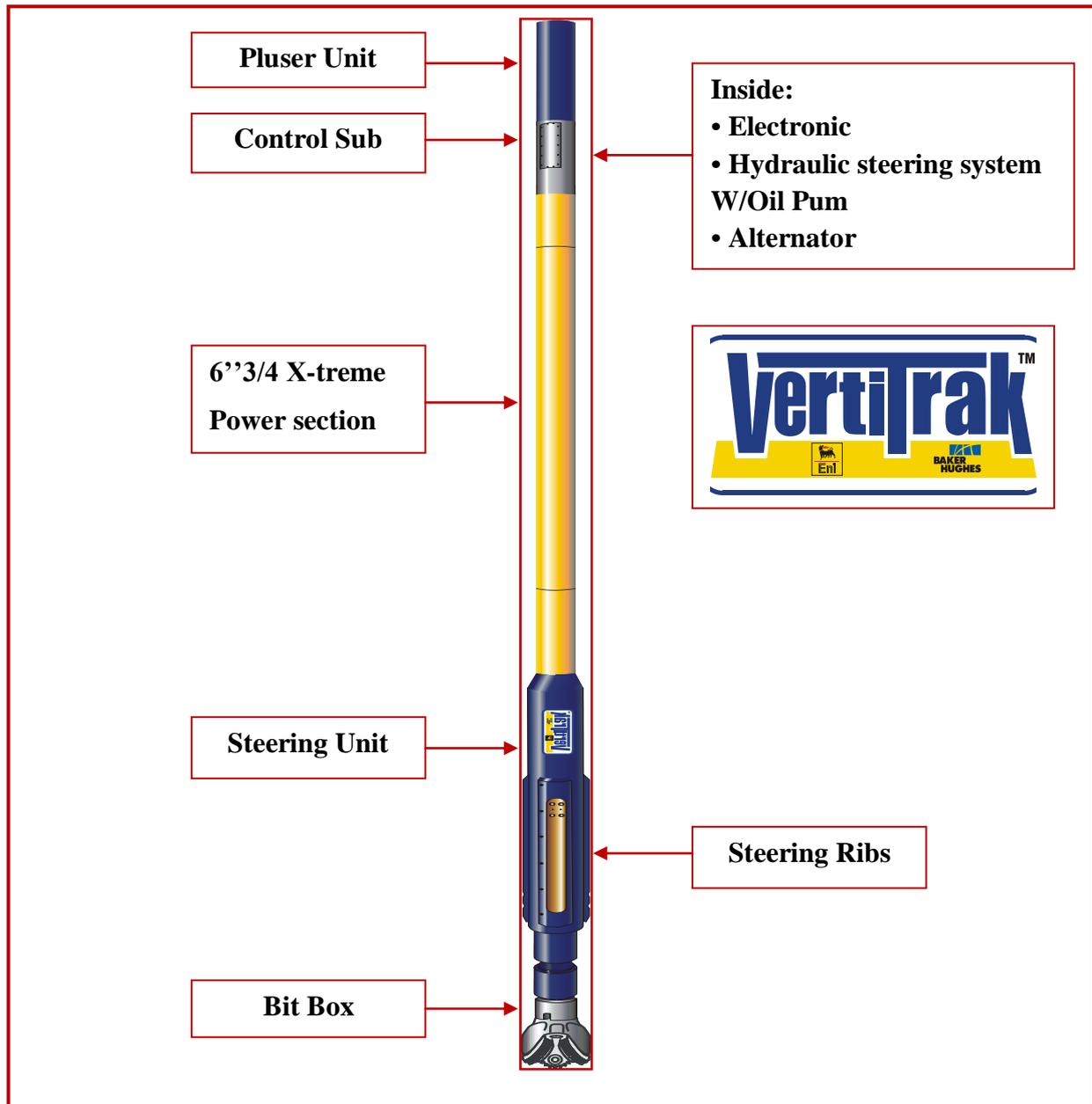


Fig. V.1. Composition du VertiTrak

V.1.2. Description

Le VertiTrak est un nouveau système de moteur intégré avec un MWD, il permet un contrôle continu de l'inclinaison, il incorpore une nouvelle section de puissance avec rendement élevé et une technologie pour commander la direction de la garniture. Il compose du bat vers le haute de [10]:

a) Steering Head

Constitue de deux parties :

- **Drive Sub** : c'est la partie mobile de VertiTrak qui permet la rotation de l'outil de forage.
- **Steering Ribs** : Il est Constitue de trois ribs qui sont localisés dans l'étage de roulement (bearing housing).les piston hydrauliques sous les ribs sont actionnés par des pompe qui peuvent produire des forces latérales de 1,5 à 3 tonnes pour chaque ribs .Afin de maintenir la vertical du puits .Selon le diamètre du puits, les ribs sont échangeables [10].

b) Power Section

Elle contient de rotor et stator et un système de transmission qui permet de transforme le mouvement de rotation du rotor d'un mouvement excentrique en un mouvement concentrique [10].

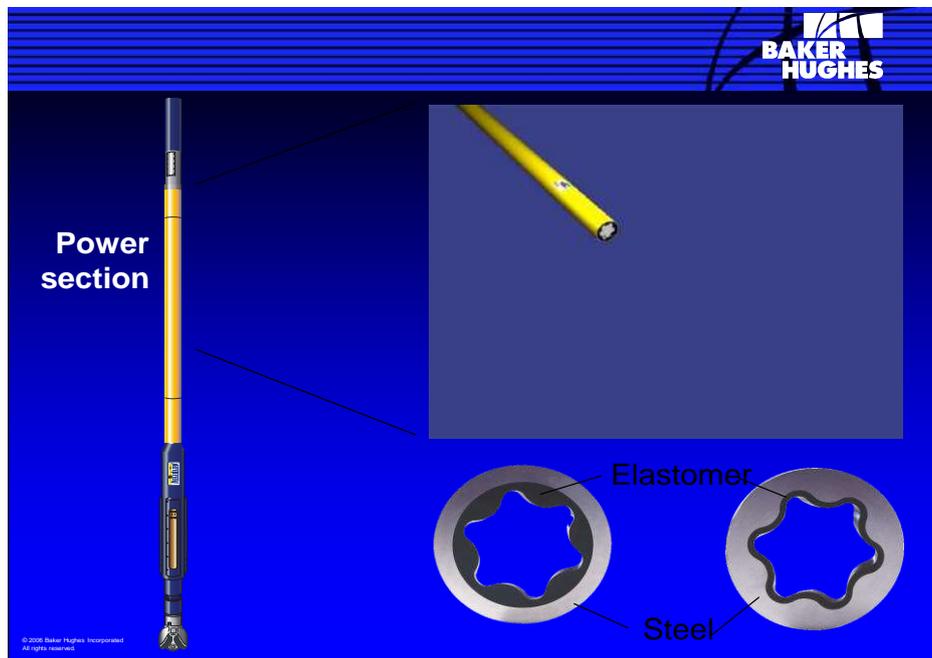


Fig. V.2. Power Section

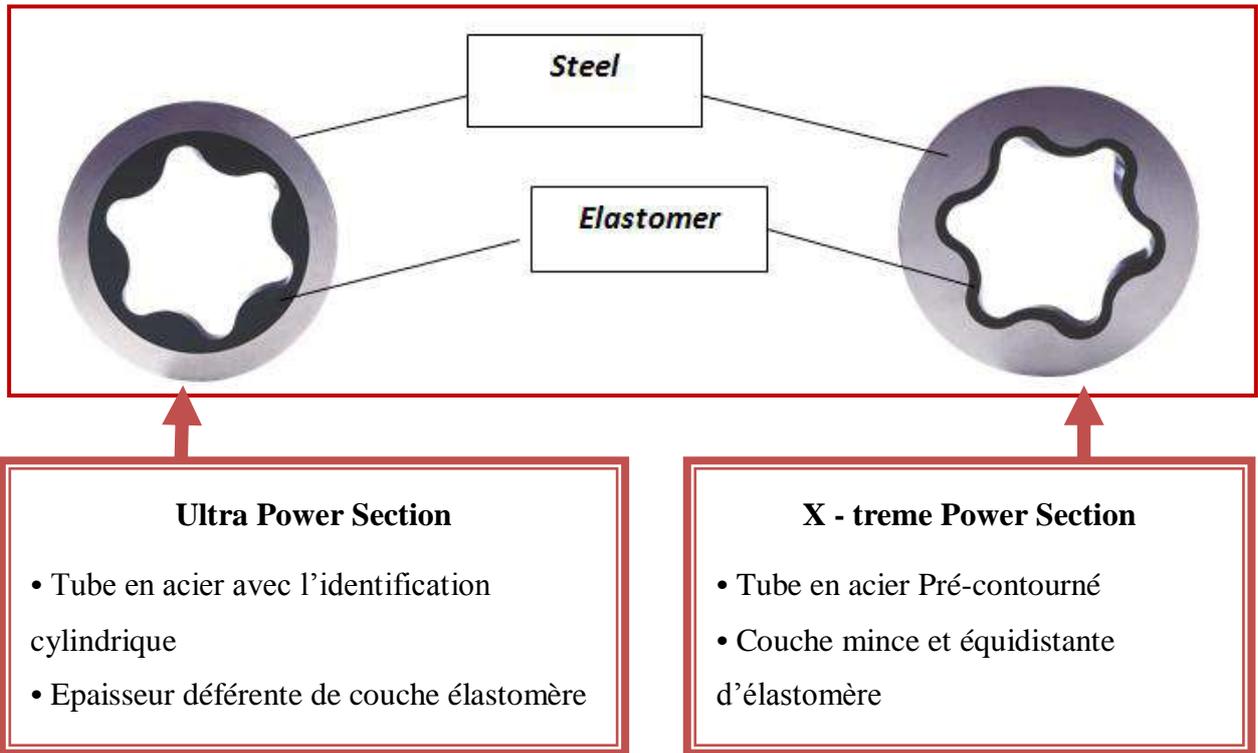


Fig. V.3. Différence entre ancien section motrice et X - treme Power Section

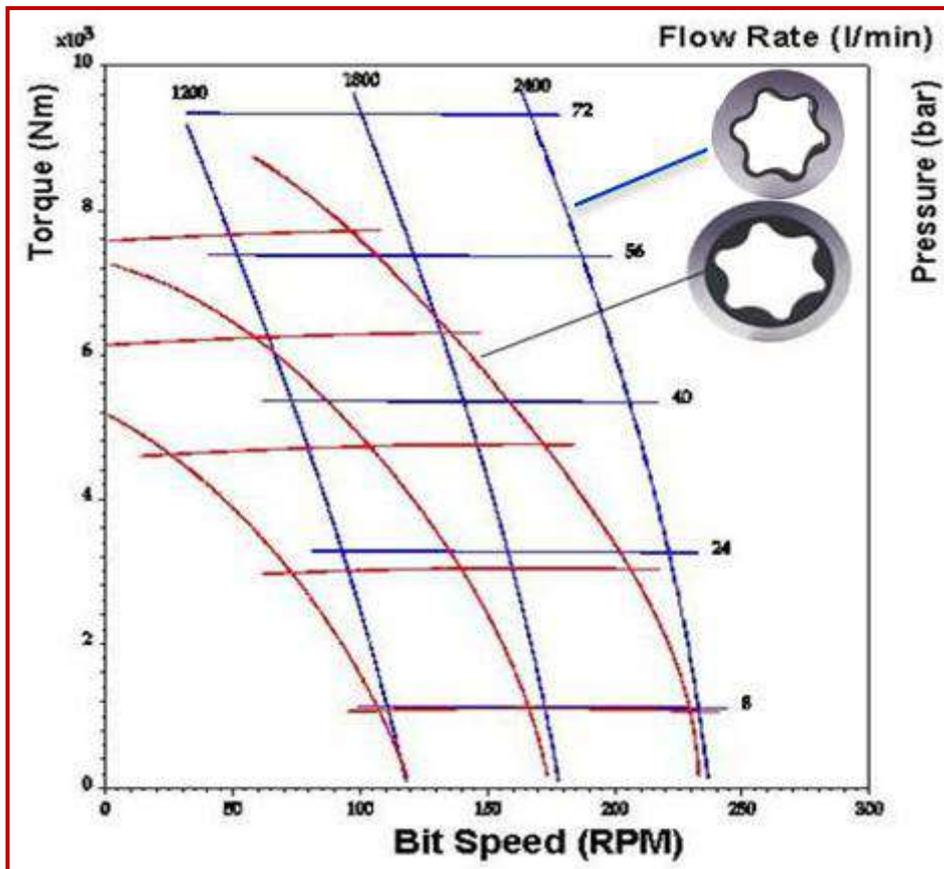


Fig. V.4. Performance de section motrice de VertiTrak

c) Contrôle sub

Contient les parties suivantes :

- **Turbine et alternateur** : sert à alimenter le système électronique.
- **Système électronique** : permet de prendre les mesures d'inclinaison, d'azumith
- **Système hydraulique** : permet de générer la force nécessaire pour pousser les ribs.
- **Système de pulse** : sert à transformer des mesures sous forme des pulse à travers la boue de forage [10].

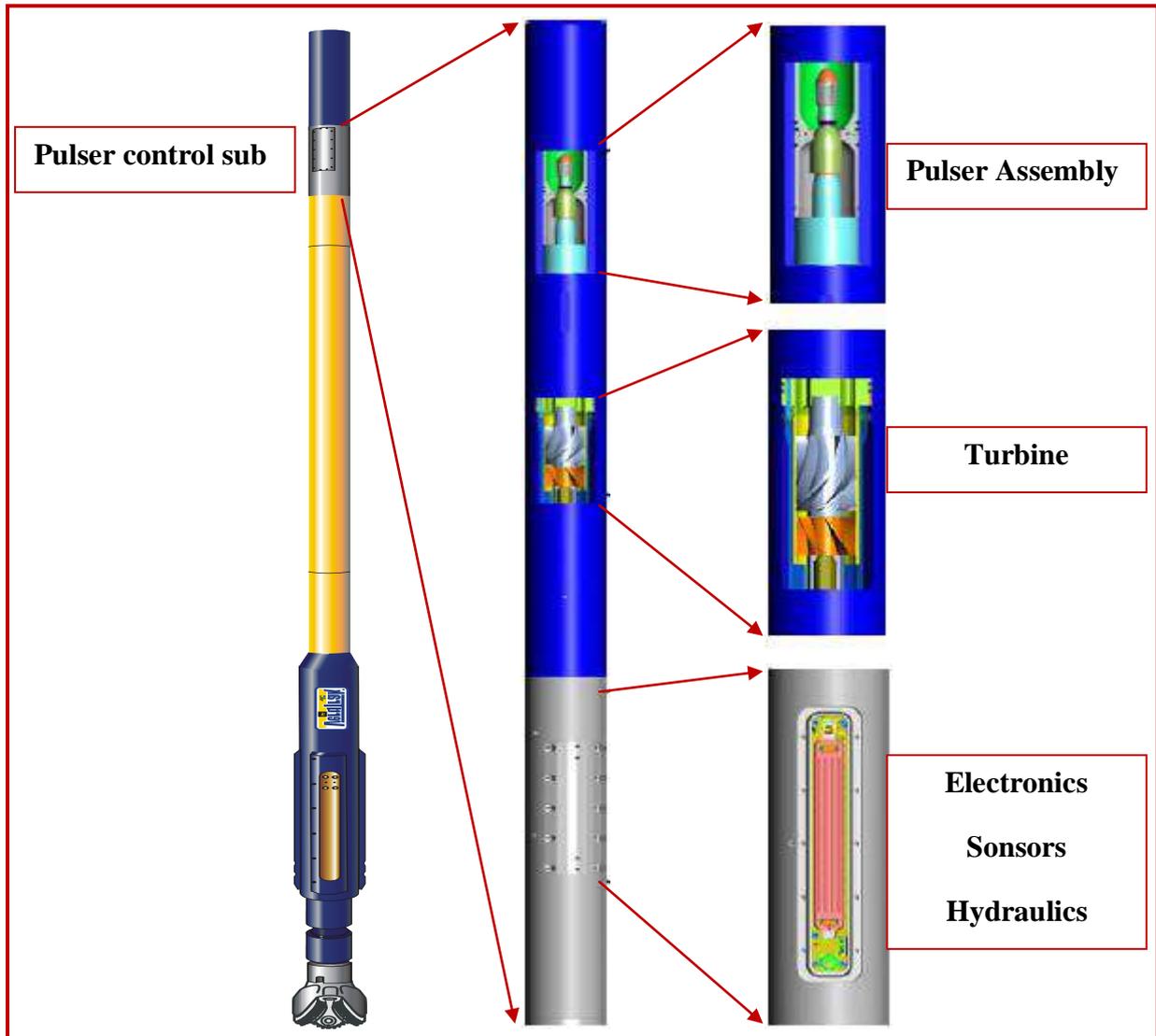


Fig. V.5. Contrôle sub et l'unité de pulsation

V.2. Principe de fonctionnement du VertiTrack

Dès que le système électronique de MWD enregistre une valeur d'inclinaison différant de zéro. La pompe actionne automatiquement les pistons hydrauliques situés derrière les ribs. Ces derniers sont actionnés par une force de 1,5 à 3 tonnes qui poussent les ribs vers les parois du puits, l'outil revient à la verticale. Le système de commande fonctionne automatiquement, sans intervention de la surface, le circuit hydraulique et l'électronique maintient le puits vertical. Les parois du trou dans des formations tendres sont souvent cavées lorsqu'elles sont soumises aux chocs des ribs. Des ingénieurs ont déterminé que la qualité du puits est souvent affectée par la rotation de train de tige. Pour garder une bonne verticalité du puits, le système a été conçu pour fonctionner seulement en **mode sliding** sans rotation de la BHA [10].

V.3. Mode opératoire

Il existe deux modes opératoires du VertiTrack :

a) *Streaming mode*

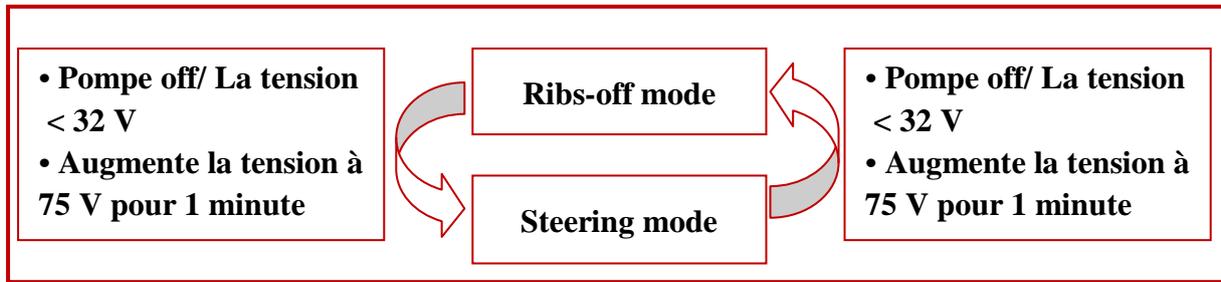
Dans ce mode, 1 ou 2 ribs du VertiTrack sont entièrement rétractés et l'autre rib est ouvert pour pousser l'outil à la verticalité. Dans ce mode, il n'y a pas de rotation et torque de la table de rotation (top drive) (mode sliding) pour ne pas endommager les ribs en position ouvertes. S'il y a un problème dans le puits qui nécessite une courte rotation de BHA de la surface on peut le faire avec ce mode. Si le problème nécessite une longue rotation on passe directement au ribs off mode pour ne pas endommager les ribs [10].

b) *Ribs off mode*

Dans ce mode, les ribs sont rétractés, le VertiTrack est incapable d'orienter et de garder la verticalité. Elles sont utilisées dans les opérations de Reaming et Back Reaming et dans le contrôle du puits et lors de l'opération de remontée de l'outil à la surface [10].

V.3.1. Réglage du mode à partir de la surface

Pour changer le mode il faut descendre la tension au-dessous de **32V** correspond à un débit de **600 l/mn**, puis maintenir la tension à **75V** correspond à un débit **1200l/mn** pendant une minute. Le changement du mode fait automatiquement [10].



Turbine	Débit (l/m)	Voltage(V)	Turbine	Débit (l/m)	Voltage(V)
low débit	600	32	Normal débit	800	32
	900	50		1100	50
	1100	70		1500	70
	1300	80		1700	80
	1400	90		2000	100
	1800	120		2500	130

Tab. V.1. Tableau de débit (VertiTrak 6^{3/4})

V.4. Information sur le BHA

D’après les expériences, la meilleure configuration de BHA utilisée avec le VertiTrak pour toute phase de forage est la suivante :

1. Outil de forage
2. VertiTrak
3. Stabilisateur
4. Filtre
5. Float valve
6. Dump valve
7. X/O
8. DC
9. JAR
10. DC

V.4.1. Type d’outil utilisé

Le succès de VertiTrak est limité par le choix de l’outil de forage, il existe plusieurs outils PDC qui donnent des performances au VertiTrak. Pour cela, une gamme d’outil de forage de type PDC a été développé spécifiquement pour utiliser avec le VertiTrak. Le choix de l’outil de forage doit être bien défini pour chaque utilisation de VertiTrak. Ceci a exigé une évaluation suivant les caractéristiques de formation et les données des puits avoisinaient. Le couple et la puissance sont plus élevés dans le power section de VertiTrak peuvent créer un défaut dans le profil de puits si l’outil est mal choisi. La stabilisation de l’outil de forage est la clé pour une meilleur performance de VTR afin d’éviter toutes problèmes dans le système électronique, Motors et fatigue de BHA [11].

La plus grande amélioration dans le PDC est **EZ STEER (partie de coupe)**. La technologie de **EZ STEER (partie de coupe)** permet l'augmentation de l'efficacité de sliding et réduit de manière significative les vibrations.

Chacun d'outil de forage est choisi suivant l'abrasivité et la dureté de formation. Une conception appropriée de gauge de l'outil, pour donner une meilleur qualité de trou. La sélection des cutters est aussi joue un rôle important pour donner une meilleur performance au système qui varié suivant la dureté et la résistance des terrains [11].



Fig. V.6. Outil PDC

V.5. Caractéristiques de la boue

- Absence des particules abrasives.
- Le pourcentage de sable maximum recommandé est de 1%, Au delà de cette concentration, la durée de vie du VertiTrak est notablement réduite (abrasion du stator en particulier)
- Il a été constaté que l'utilisation d'hématite comme alourdissant réduit la durée de vie des VertiTrak [11].

V.5.1. Les colmatant

L'utilisation de colmatant est possible avec le VertiTrak, en tenant compte de quelques principes.

a) Taille de colmatant

La taille des colmatant doit être inférieure à 1/4 ".

b) Concentration

Il est difficile de donner une limite, mais on peut considérer que 8,6 Kg/m³ est une concentration normale, et 114 Kg/m³ un maximum [11].

V.6. Caractéristiques générales du VertiTrak 6^{3/4}

Diamètre de puits	8 ^{1/2} , 8 ^{3/4} , 9 ^{1/2} , 9 ^{7/8}
Diamètre de VTR	6 ^{3/4}
Type de Motors	6 ^{3/4} M1X-P
Longueur	9,4m
Poids	1450 Kg
Lobe	5/6
Connexion	NC50
Connexion de l'outil	4 ^{1/2} API REG

Tab. V.2. Caractéristiques générales du VertiTrak 6^{3/4}

V.6.1. Limites de fonctionnement

Débit (L/min)	Débit de fonctionnement	1000 - 2500
	Débit (Low)	1000 - 1800
	Débit (high)	1200 - 1500
Vitesse de l'outil (tr/mn)		90 - 220
ΔP opérationnelle (PSI)		870
Torque opérationnelle (N.m)		7840
WOB opérationnelle (tonne)		16
ΔP maximum (PSI)		1090
Torque maximum (N.m)		9800
WOB maximum (tonne)		24

Tab. V.3. Les limites de fonctionnement du Vertitrak 6^{3/4}

V.6.2. Température de fonctionnement

Les moteurs du VertiTrak sont assemblés avec un jeu précis entre le rotor et le stator. Les forces de contact entre rotor et stator augmentent avec la température, du fait du gonflement du stator. Il est donc impératif de tenir compte de la température au fond [11].

Température maximum	300 (°F) ou 150 (°C)
Pression maximum du fond	1400 (bar)

Tab. V.4. Température et pression de fonctionnement du Vertitrak 6^{3/4}

V.6.3. Traction et battage

En cas de coincement du VertiTrak, les opérations normales de dégagement doivent être prises. Le tableau ci-dessous indique la traction maximale admissible à ne pas dépasser [11].

Les limites permettant la réutilisation de VertiTrak 6^{n3/4}		
Traction Max à l’outil	163 Klbs	726 KN
Traction Max sur le corps	627 Klbs	2790 KN
Les limites pour la quelle le VTR ne peut être réutilisé sans vérification a l’atelier		
Traction Max à l’outil	476 Klbs	2118 KN
Traction Max sur le corps	950 Klbs	4227 KN

Tab. V.5. Les limites de traction et battage du Vertitrak 6^{n3/4}

Au cours d'une opération de battage, le VTR est soumis à des chocs et des efforts, Après cette opération de battage, le VertiTrak ne doit pas être utilisé pour continuer le forage. Il faut impérativement le dégerber et le renvoyer à l'atelier du fournisseur pour contrôler.

V.7. Autres fonctions de VTR

V.7.1. Reforge de ciment avec le VertiTrak

- Descente l’outil jusqu'à 5m au dessus de l’anneau de retenue.
- Circulation pendant 10 minutes.
- Mettre le VertiTrak en RibS-off mode.
- Maintien le débit constant.
- On éviter toute rotation de BHA.
- Forage de l’anneau, ciment, le sabot et 3m au dessous du sabot.
- Remonter l’outil du fond.
- Mettre le VertiTrak en steering mode(le mode se fait en open hole)
- Continue le forage.

V.7.2. Reaming et back Reaming avec le VertiTrak

L’opération de Reaming ou de back Reaming se fait comme suit :

- Mettre le VertiTrak en RibS-off mode
- Rotation de BHA de 40 RPM au maximum
- Maintenir le minimum de débit pour minimiser la rotation de l’outil.

La traction maximale sur le VertiTrak en Back Reaming est de :

Traction maximum	36,4 klbs	162 kN
-------------------------	-----------	--------

Chapitre

VI

Etude de cas

VI.1. La phase 8^{1/2}

VI.1.1. Le but du forage

- Le but de la phase est d'atteindre les objectifs principaux représentés par les réservoirs à gaz du Trias (TAGS, TAGI) et ceux du Silurien.
- En principe, pour les puits ayant comme objectif principal les réservoirs du Trias et du Silurien, la cote d'arrêt du forage se situe dans le Silurien M1.
- Pour les puits ayant comme objectif secondaire les Quartzites de Hamra, la phase 8^{1/2} est approfondie jusqu'aux séries supérieures de l'Ordovicien. Le sabot 7" sera posé dans les grès d'Ouargla.

Des problèmes de déviation relativement importants peuvent se présenter principalement sur la structure centrale RN. Pour réduire ces tendances, des garnitures de forage spécifiques seront employées [13].

VI.2. Application au puits RN-112

VI.2.1. BHA utilisée

Description	No of Joints	OD (inch)	ID (inch)	Connection	
				Bottom	Top
Bit – PDC	1	8,5			4 ^{1/2} REG P
VertiTrak	1	6,75	4	4 ^{1/2} REG B	4 ^{1/2} REG B
X-trem Motor	1	6,791	4,772	4 ^{1/2} REG B	4 ^{1/2} IF B
Stab - string	1	6,75	2,25	4 ^{1/2} IF P	4 ^{1/2} IF B
Float Sub	1	6,5	2,875	4 ^{1/2} IF P	4 ^{1/2} IF B
Circulation Sub	1	6,625	2,3125	4 ^{1/2} IF P	4 ^{1/2} IF B
X Over	1	6,4375	2,875	4 ^{1/2} IF P	4" IF B
DC	12	6,5	2,813	4" IF P	4" IF B
Jar	1	6,5	2,5	4" IF P	4" IF B
DC	2	6,5	2,813	4" IF P	4" IF B
X Over	1	6,25	2,5	4" IF P	4 ^{1/2} IF B
HWDP Body	15	5	3	4 ^{1/2} IF P	4 ^{1/2} IF B
HWDP T.J		6,5			
DP G 105 Body	Surface	5	4,276	4 ^{1/2} IF P	4 ^{1/2} IF B
DP G 105 T.J		6,5			

Tab. VI.1. Composition de BHA utilisé

VI.2.2. Caractéristiques de la boue utilisée

Type de boue	Avoil DS.IE.90	
L'intervalle	mètres	2445 - 3718
La densité	s.g	1,10 – 1,40
La viscosité plastique	cp	ALAP
Yield value à (150 °C)	lb/100ft ²	12 – 14
RPM 6 à (150 °C)	tr/min	4 - 6
Gel 10'' à (150 °C)	lb/100ft ²	5 – 8
Gel 10 à (150 °C)	lb/100ft ²	10 – 12
Filtrat (HP/HT)	ml/30min	4,0 – 6,0
Rapport (Oil/Water)		90/10
Pm	ml H ₂ SO ₄ 0,1N	2,0 – 2,5
Excès d'acide	g/l	7 - 10
Nacl	% / poids	26,0
Solide	% / volume	16 – 18
Sable	% / volume	< 0,5
L.G.S	% / volume	< 5

Tab. VI.2. Les caractéristiques de boue utilisée dans la phase 8^{n1/2}

VI.2.3. L'outil utilisé avec la Vertitrak

Size (inch)	Type	Nozzles	From (m)	Top (m)	WOB (t)	RPM (tr/min)	Flow rate (l/min)
8 ^{n1/2}	HCM 607Z	4x 14+4x12	2445	3718	9 – 12	150-200	1700- 2200

Tab. VI.3. Caractéristiques de l'outil utilisé avec la Vertitrak

VI.3. Les différentes opérations

VI.3.1. Test de la vanne de remplissage (dump valve)

La vanne est active avec un débit de +30% de débit maximum ($Q=600L/M$). La boue déplace une chemise vers le bas, isolant les orifices latéraux, et la circulation se fait à travers le moteur. Si on arrête la circulation, le ressort pousse la chemise vers le haut, ouvrant les orifices latéraux. L'utilisation d'un moteur sans dump valve pendant la remontée de la garniture pleine et la nécessité de remplir la garniture lors des manœuvres de descente [11].

VI.3.2. Test de VertiTrak en surface

Ce test peut être effectué en premier lieu, avant le montage de l'outil :

- Connecter la top drive, et descendre de façon à ce que la dump valve du moteur soit sous la table de rotation.
- Démarrer les pompes lentement, pour atteindre le débit nécessaire à la rotation du moteur. Noter le débit et la pression.
- Dégager suffisamment, de façon à pouvoir voir le drive sub du moteur sous la table de rotation.
- Vérifier sa rotation, et confirmer le passage de boue entre le palier radial et le drive sub (cette fuite est normale, et indique une bonne lubrification des paliers).
- Réaliser le test à deux débits différents et noter les pressions correspondantes.

($Q_1=1800L/M$ $P_1=850PSI$) ($Q_2=1400L/M$ $P_2=650PSI$)

- Des vibrations importantes peuvent se produire à certains débits, c'est une caractéristique commune à tous les moteurs.
- Descendre, de façon à avoir la dump valve sous la table de rotation, et arrêter les pompes. Attendre l'ouverture de la dump valve du moteur, et l'écoulement total de la boue à travers les orifices [11].

Remarque

Un test de surface avec un outil diamant ou PDC en rotation dans le casing est déconseillé.

VI.3.3. Forage avec le VertiTrak :

- Démarrer les pompes et augmenter le débit progressivement jusqu'au débit prévu en forage avant d'atteindre le fond.

a) Pression "OFF-BOTTOM"

Quand on circule avec le moteur au-dessus du fond, la perte de charge à travers le VertiTrak est constante. La pression off-bottom est la somme de la 'pression sans charge' et de toutes les autres pertes de charge du système de circulation. (**$Q=2200L/M$ $P=1650PSI$**)

b) Pression "ON-BOTTOM"

Lorsque l'on pose l'outil sur le fond, la résistance à la rotation crée une augmentation de torque et donc de pression au standpipe. Pour un débit et un poids sur l'outil donnés, on appelle cette pression de surface 'Pression on-bottom' [11].

La différence de pression

C'est la différence entre la pression ON BOTTOM et celle de OFF BOTTOM

$$\Delta P = (P \text{ On bottom}) - P \text{ (off bottom)}$$

Cette différence de pression représente l'intervalle de fonctionnement du moteur [11].

VI.4. Paramètres appliqués et les résultats obtenus de VertiTrak

Profondeur (m)	P (Psi)	WOB (t)	Débit (l/mn)	ROP (wc)	ROP (woc)	RPM (tr/mn)	Formation	Durée (hr)	Incl (°)
3014-3077	3150	4-10	2050	3,11	3,65	184	Silurrien A2	16,50	0,35
3134-3138	3400	4-10	2150	2,65	3,06	192	Silurrien M2	2	0,26
3138-3177	3200	4-10	2050	1,69	2	192	Silurrien M2	24	0,5
3204-3218	3200	4-9	2000	1,84	1,97	181	Silurrien M2 Silurrien M1 Silurrien argileux	8,25	0,45
3241-3251	3250	3-12	2000	1,4	1,53	182	Silurrien argileux	6,5	0,26
3260-3269	3600	6-10	2150	1,13	1,41	195	Silurrien argileux	8,5	0,26
3269-3410	3600	2-12	2100	7,23	8,45	195	Silurrien argileux	20	0,7
3457-3501	3500	2-10	2000	3,41	5,19	180	Silurrien argileux Dalle de M'ratta Arg Microconгло	9,5	0,6
3536-3572	3500	2-10	2000	2,42	2,61	200	Arg Microconгло Grés Oued Saret	15,25	0,8
3572-3582	3700	2-7	2150	0,98	1,01	190	Grés Oued Saret	10,25	0,76

Tab. VI.4. Les résultats obtenus avec la Vertitrak dans la phase 8^{1/2}

VI.4.1. Analyse de forage par le VertiTrak

D'après les données de tableau :

- Forage de **568 m** avec une vitesse d'avancement moyenne (ROP) de **3,08 m/h**.
- Tout le métrage a été foré **100%** en **Sliding Mode**.
- L'inclinaison varie entre **0,26°** et **0,8°**.

On peut dire que le VertiTrak donne une bonne qualité de trajectoire et une meilleure vitesse d'avancement (ROP) [13].

VI.4.2. Résultats de Caliper

Profondeur (m)	3082	3110	3165	3195	3251	3420	3503	3560	3570
Inclinaison (°)	0,35	0,26	0,5	0,45	0,26	0,7	0,6	0,8	0,76

Tab. VI.5. La variation de L'inclinaison en fonction de profondeur

Le log caliper a été fait juste après le forage par le VertiTrak. D'après ce log, on remarque :

- Pas de cavage le long de la partie de log.
- Un profil parfaitement vertical.
- Basse tortosité
- Moins de dog leg
- Un trou bien calibré
- Un trou bien centré.

VI.5. Performances des paramètres d'entrée-sortie et puissance produite du moteur

VI.5.1 Puissances du moteur

La puissance du moteur est définie comme étant la puissance mécanique produite par la section motrice, c'est une fonction du couple produit et de la vitesse (RPM) du moteur. Les puissances réelles devraient être calculées en utilisant la valeur de couple à la différence de pression opérationnelle et la valeur correspondante de RPM pour cette pression (pour un débit spécifique) [12].

La formule suivante nous permet de déterminer la puissance mécanique du moteur en HP (Horsepower)

$$HP_{\text{mécanique}} = \frac{\text{Output RPM} \times \text{Output Torque}}{5252}$$

HP _{mécanique} : La puissance mécanique **HP (Horsepower)**

RPM: Revolutions per minute (**tr/mn**)

Torque : Le couple nécessaire pour faire tourner les tiges de forage (**lb.ft**)

VI.5.2. Efficacité de moteur

L'efficacité d'un moteur relie les puissances hydrauliques (débit et pression) mises dans le moteur aux puissances mécaniques correspondantes (couple et RPM) produites du moteur.

La puissance produite du moteur est la puissance hydraulique, c'est une fonction du débit d'entrée et de différence de pression. La puissance hydraulique d'entrée à une charge spécifique est calculée en utilisant la valeur de la différence de pression à cette charge, et la valeur spécifique de débit [12].

Elle déterminée par la formule suivante :

$$HP_{hydraulique} = \frac{Q \times \Delta P_f}{1714}$$

HP_{hydraulique} : La puissance hydraulique **HP (Horsepower)**

Q : Débit (gal/mn)

ΔP_f : Pression différentielle de fonctionnement (**psi**)

L'efficacité de moteur à une différence de pression spécifique est obtenue en divisant la valeur de la puissance mécanique par la valeur de la puissance hydraulique correspondante d'entrée, à cette différence de pression de fonctionnement.

L'efficacité de moteur est donnée par la formule suivante :

$$\eta_{moteur} = \frac{HP_{mécanique}}{HP_{hydraulique}} \times 100$$

η_{moteur} : L'efficacité de moteur (%)

VI5.3. Application numérique

$$HP_{mécanique} = \frac{4200 \times 160}{5252} = 127,95 \text{ HP}$$

$$HP_{hydraulique} = \frac{390 \times 600}{1714} = 136,52 \text{ HP}$$

$$\eta_{moteur} = 93,72 \%$$

On peut dire que le rendement des moteurs est affecté par plusieurs paramètres dont :

- La nature des couches géologiques traversées.
- Types de moteur.
- La configuration du rotor/stator.
- Les paramètres de forage.

VI.6. Comparaison entre le VertiTrak et les autres modes

Puits	Type de profil	Méthode de forage	Mode de forage	ROP moyenne (m/h)	Métrage (m)	Durée totale de la section (jours)	Formation
RN-112	Vertical	Vertitrak	Sliding	3,08	568	5,03	Silurrien
Hr-101	Vertical	Vertitrak	Sliding	4,02	563	4,42	Silurrien
RN-111	Vertical	PDM + MWD	Sliding + Rotary	2,72	558	7,56	Silurrien
RNZ-123	Vertical	PDM + MWD	Sliding + Rotary	2,63	360	5,88	Silurrien
RN-113	Vertical	BHA	Rotary	2,01	473	8,2	Silurrien
Hr-102	Vertical	BHA	Rotary	1,9	385	9	Silurrien

Tab. IV.6. Comparaison entre le VertiTrak et les autres modes

VI.6.1. Vitesse d’avancement

L’histogramme suivant montre bien les valeurs d’avancement en fonction de l’outil le VertiTrak, PDM et BHA.

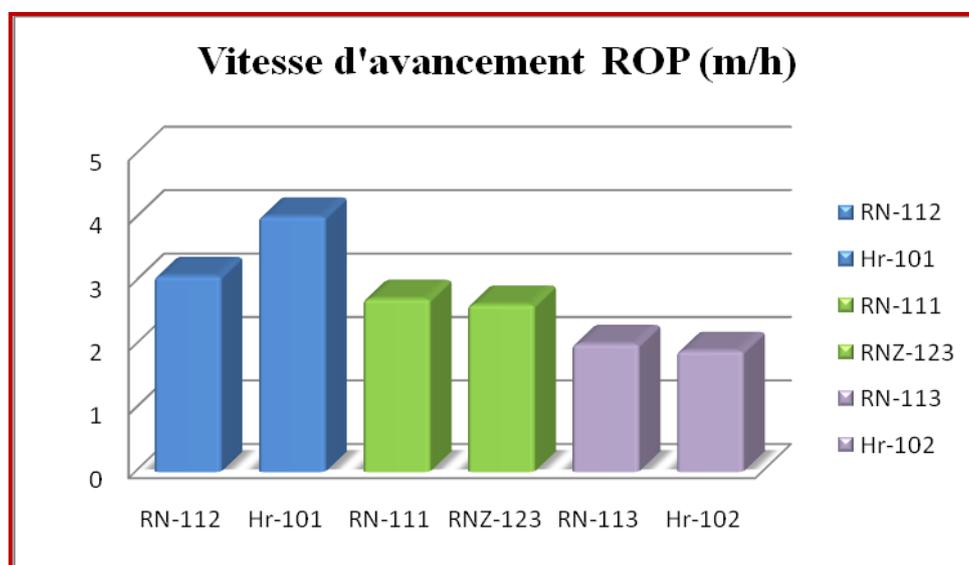


Fig. VI.1. Histogramme des vitesses d’avancement

On remarque que les vitesses d’avancement sont meilleures dans les puits forés par le VertiTrak système (Hr-101, RN-112) par rapport aux autres puits réalisés par le BHA rotary (Hr-102, RN-113) et le PDM (RN-111, RNZ-123). L’histogramme suivant montre bien les différents ROP.

VI.6.2. Inclinaison

L'histogramme suivant montre bien les valeurs d'inclinaisons en fonction de l'outil utilisé :

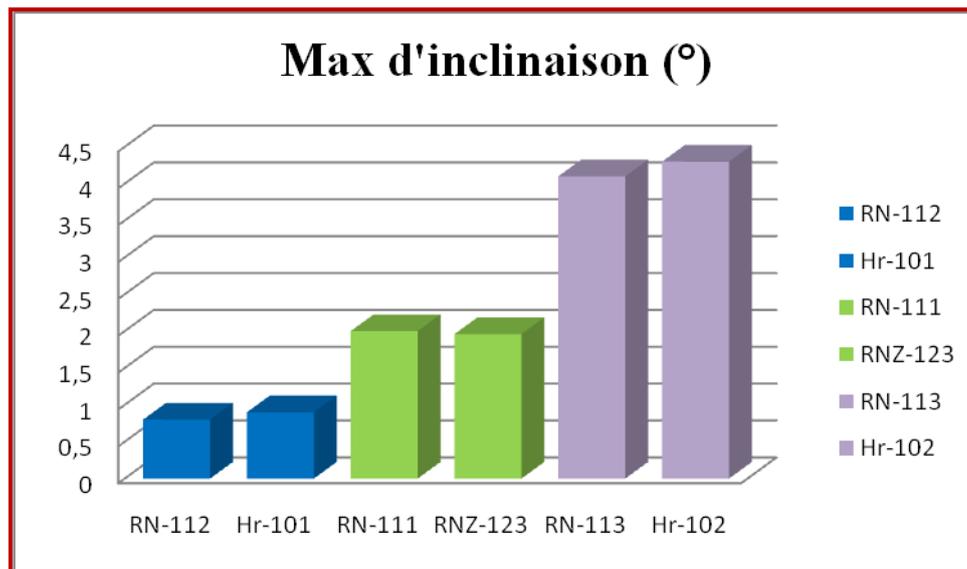


Fig. VI.2. Histogramme d'inclinaison

On remarque que l'inclinaison mesurée dans les puits forés par le VertiTrak système (RN-112, Hr-101) est plus faible par rapport aux autres puits réalisés par le PDM (RN-111, RNZ-113) rotatif et le BHA (RN-113, Hr-102).

VI.6.3. Torque

L'histogramme suivant montre bien les valeurs de torque en fonction de l'outil le VertiTrak (RN-112, Hr-101), BHA Rotary (Hr-102, RN-113) et le PDM (RN-111, RNZ-123).

Puits	Méthode de forage	Torque (klb.ft)
RN-112	Vertitrak	1460
Hr-101	Vertitrak	1320
RN-111	PDM + MWD	2560
RNZ-123	PDM + MDW	2850
Hr-102	BHA	5000
RN-113	BHA	4600

TAB. VI.7. Torque en fonction de l'outil

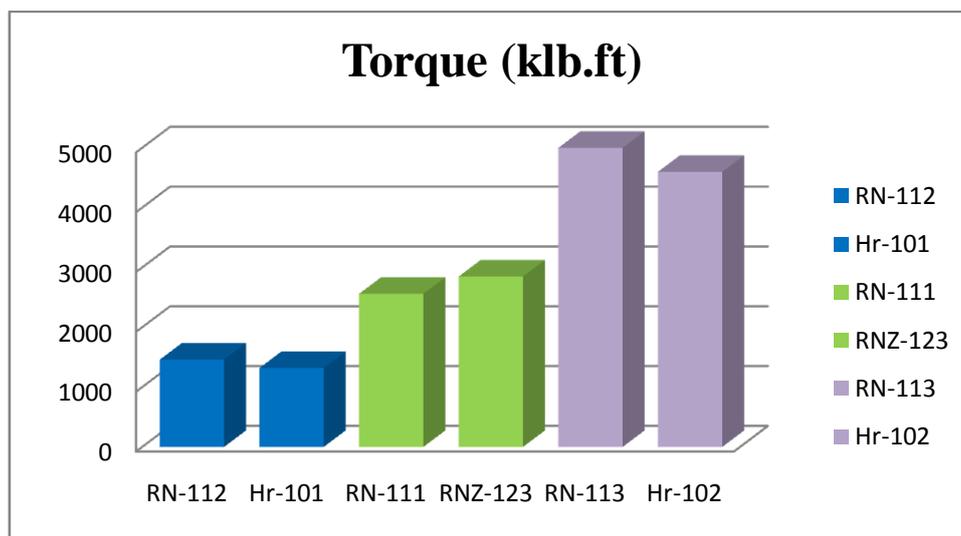


Fig. VI.3. Histogramme des torques

On remarque que le torque est minimum dans le puits foré par le VertiTrak par rapport au puits réalisé par le BHA rotary.

VI.7. Performance de VertiTrak dans des autres puits

VI.7.1. Puits SALI-1 (phase 12''^{1/4})

- Localisation : Algérie, Bassin de Reggane
- Puits : SALI-1 (verticale)
- Formation : Carbonifère, Top Dévonien.
- Objectif : contrôle de la déviation et bon qualité de puits.
- Résultats obtenue : ROP 17,1 m/h et L'inclinaison 0,32°.

IV.7.2. Puits RG-7 (phase 16'')

- Localisation : Algérie, Bassin de Reggane
- Puits : RG-7 (verticale)
- Formation : Tournaisien, Strunien.
- Objectif : contrôle de la déviation et bon qualité de puits.
- Résultats obtenue : ROP 10,7 m/h et L'inclinaison 0,27°.

VI.7.3. Puits SALI-2 (phase 12''^{1/4})

- Localisation : Algérie, Bassin de Reggane
- Puits : SALI-2 (verticale)
- Formation : Moyen Dévonien, Top Dévonien.
- Objectif : contrôle de la déviation et bon qualité de puits.
- Résultats obtenue : ROP 18,24 m/h et L'inclinaison 0,35°.

VI.7.4. L'inclinaison et caliper

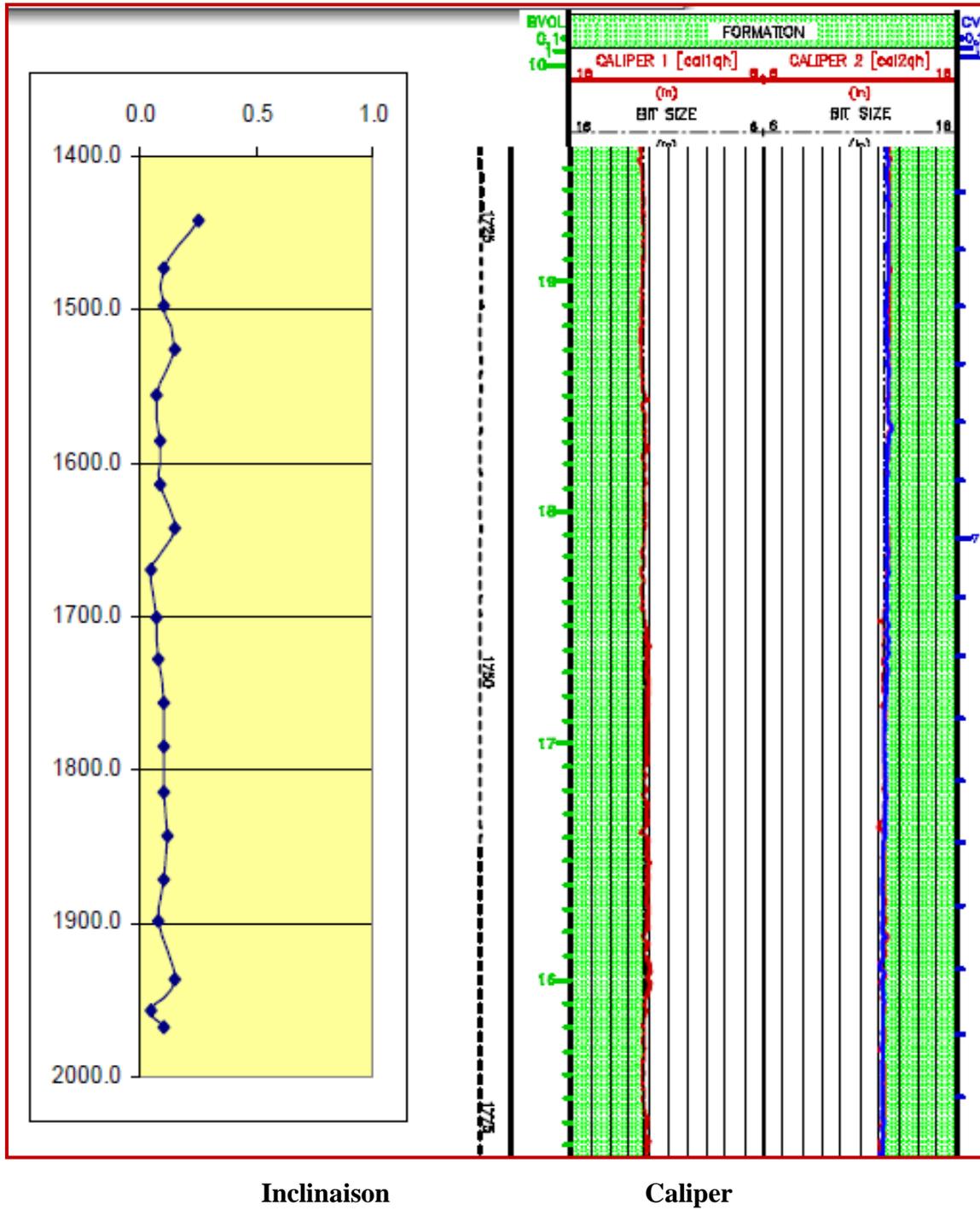


Fig. VI.4. Résultat des logging

VI.7.5. Dog leg

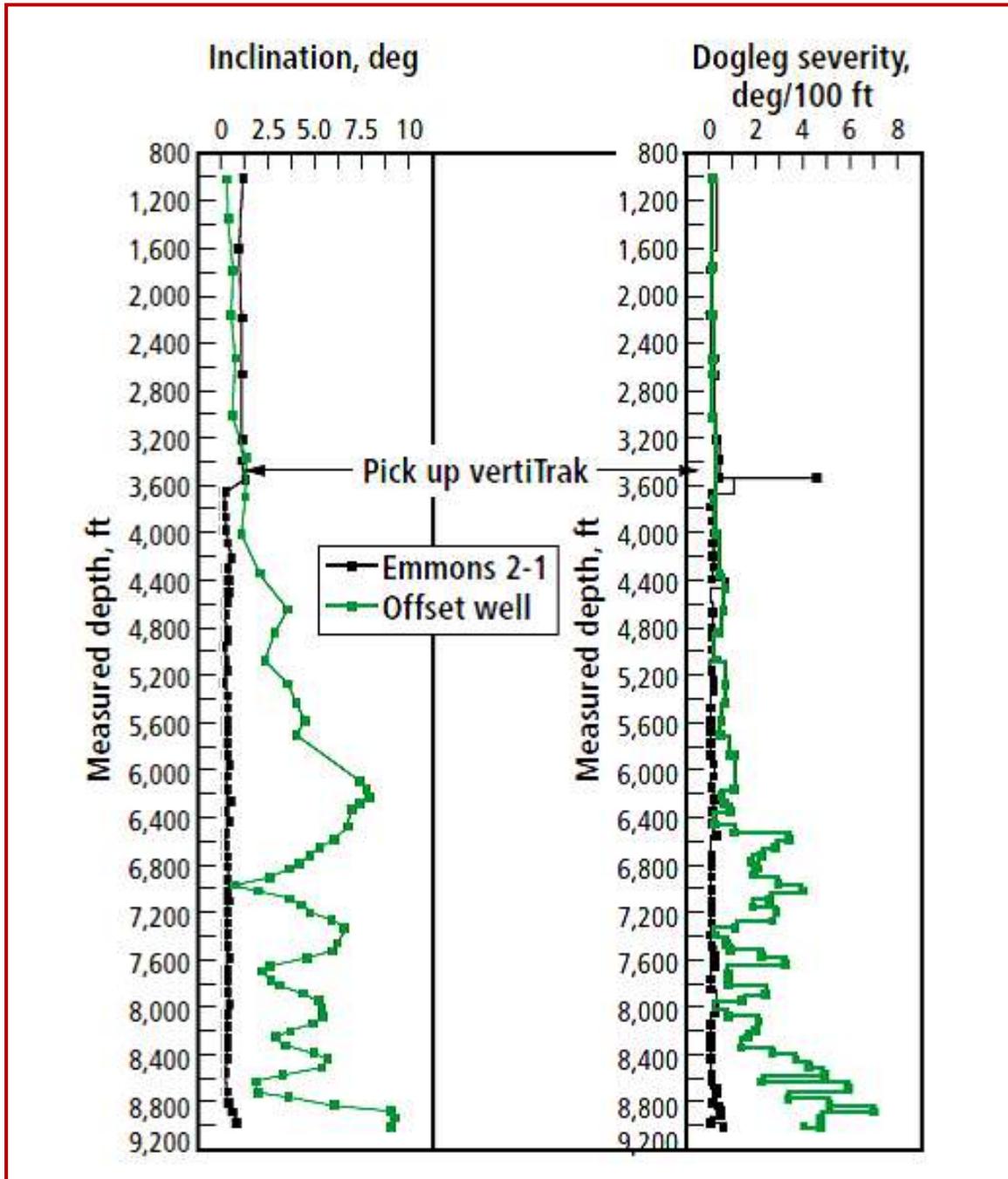


Fig. VI.5. Le contrôle du Dog leg pour un puits foré par le VTR et un autre puits foré par le BHA Rotary

Les dog leg atteinte 4°/30m avant la descente de VTR. Le VTR a ramène l'inclinaison et les Dog leg environ 0,41° et 0,2°/30m.

On remarque que les Dog-leg sont assez importante dans le puits foré par le BHA rotary que par VertiTrak.

VI.8. Partie économique

VI.8.1. Performance de VertiTrak au puits RN-112

VI.8.1.1. La durée prévisionnelle de forage du puits RN-112

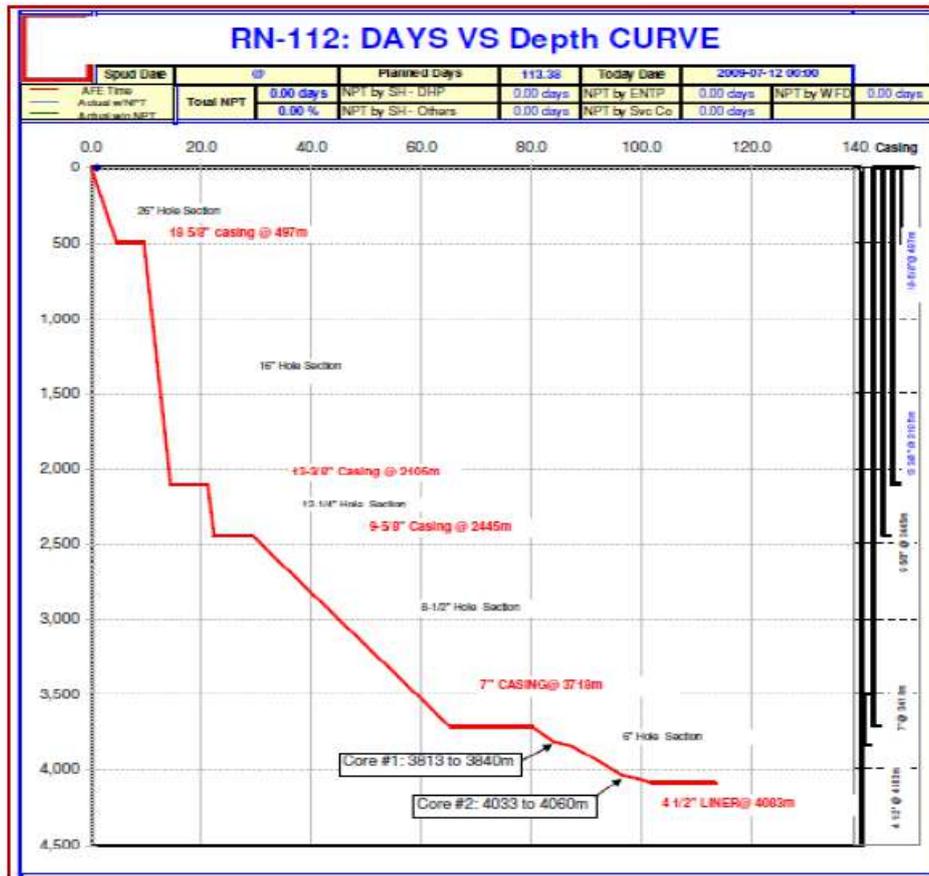


Fig. VI.6. La durée prévisionnelle

D’après ce graphe :

La durée de forage prévue de 3014 m à 3582 m est de 14 jours.

Le forage avec le VertiTrak à été réalisée dans 8 jours .On à un gain de 6 jours

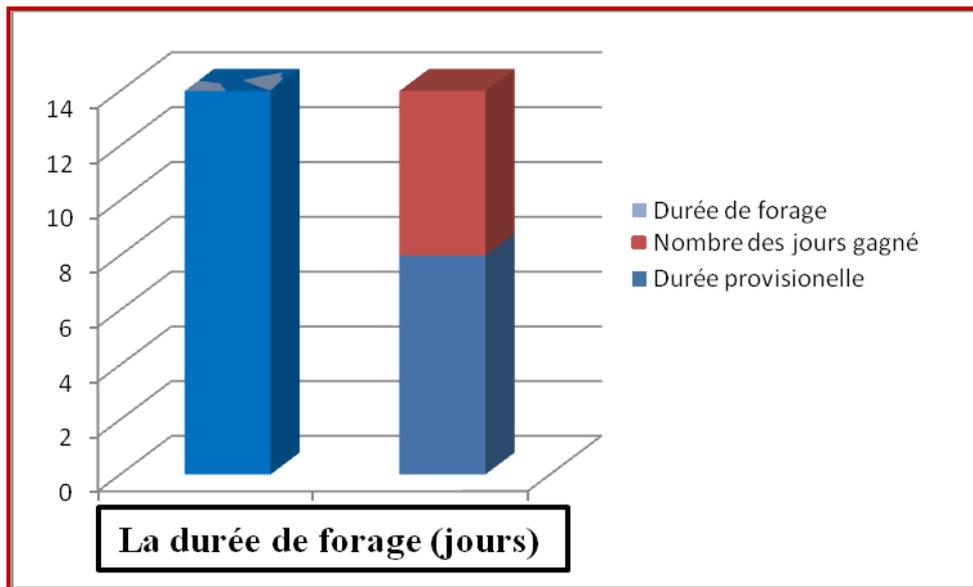


Fig. VI.7. Histogramme de la durée de forage

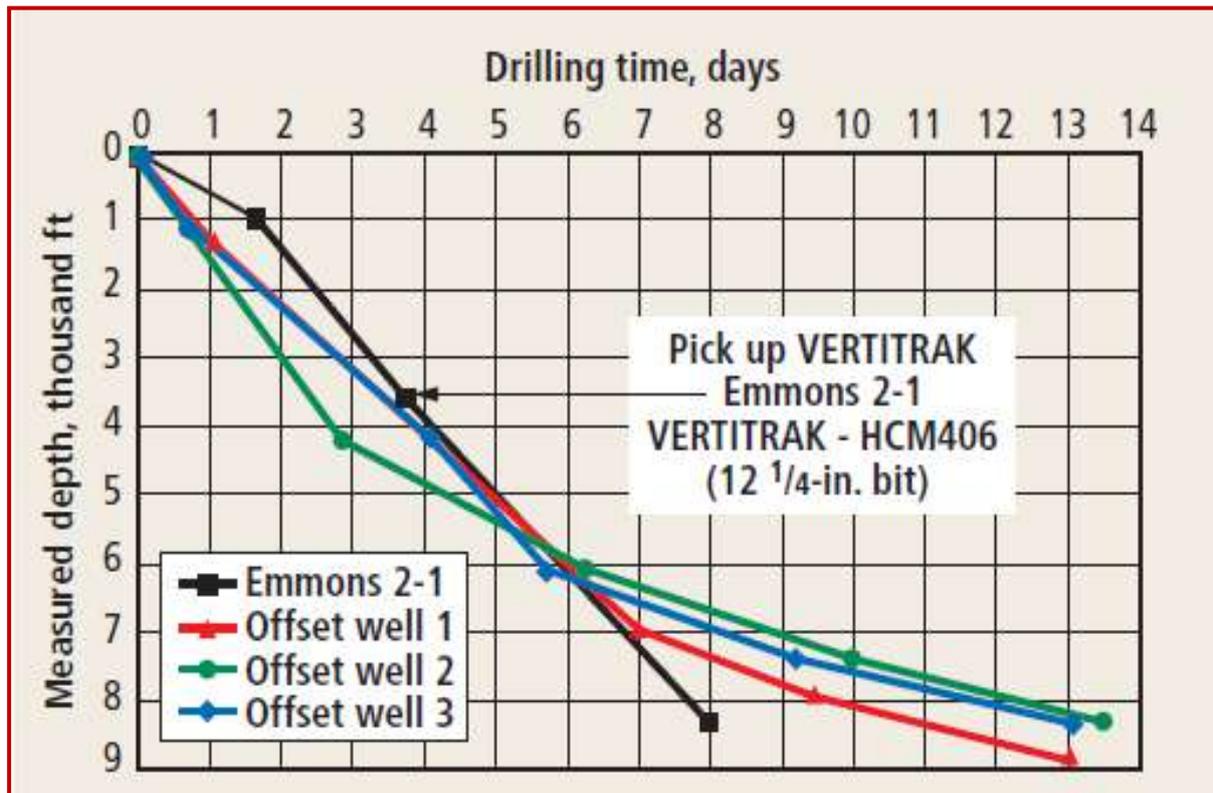


Fig. VI.8. Comparaison entre le VertiTrak et le forage conventionnelle

(La durée de forage)

Les résultats obtenus

Les courbes Suivantes représentent la durée de forage en fonction de métrage.

- La courbe noire : puits (Emmons 2-1) a été foré par le VertiTrak dans 8 jours.
- Les autres courbes : les offset puits (1, 2,3) ont été forés par le mode rotary dans 13 jours environ pour chaque puits.

Donc l'utilisation de VertiTrak permet un gain en temps (5 jours).

VI.8.1.2. Performance dans la région de RNS

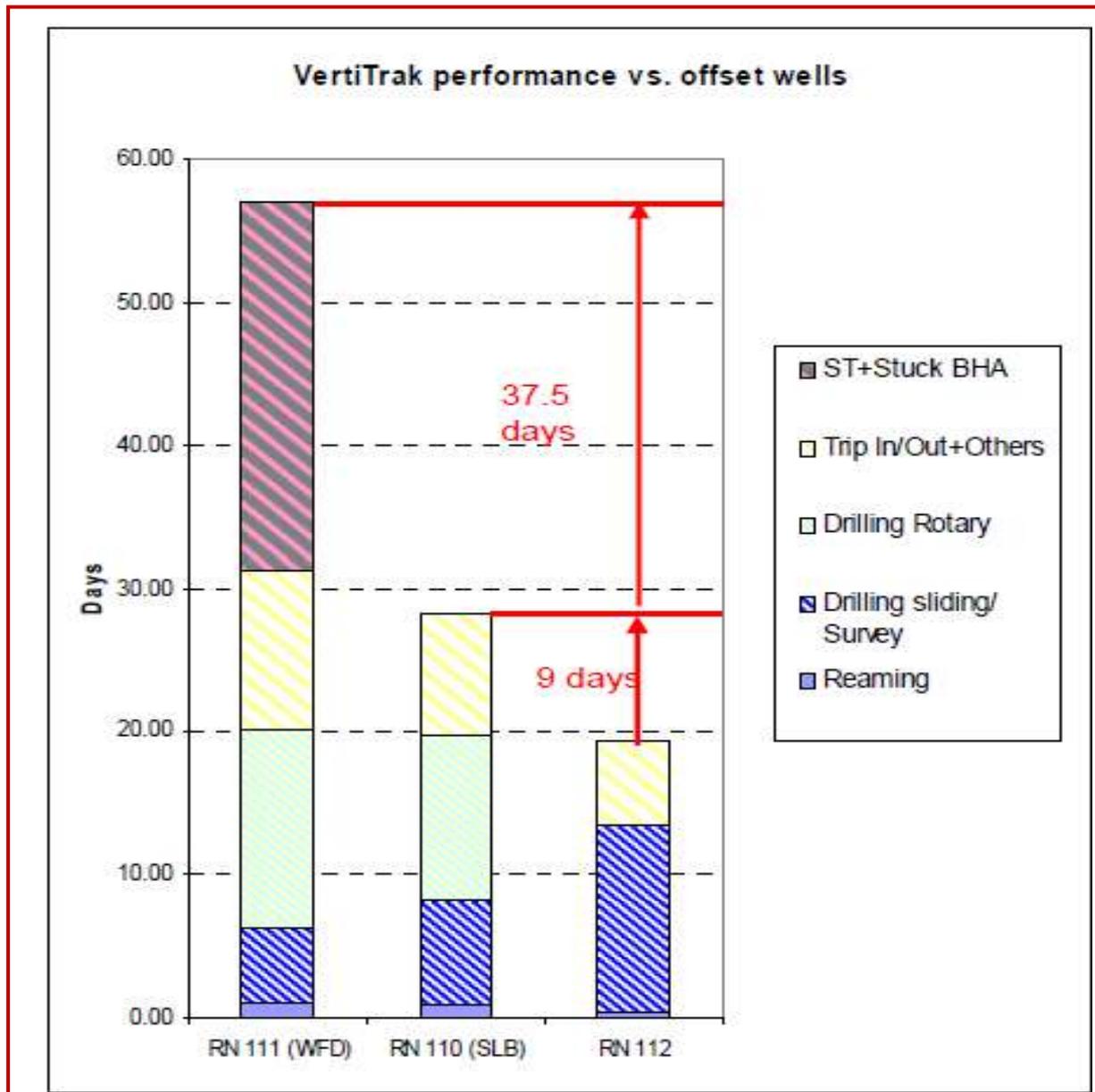


Fig. VI.9. Performance de VertiTrak dans RNS

Les résultats obtenus

L'histogramme suivant représente la durée de forage des différents puits.

- Puits RN-112 : forage par le VertiTrak.
- Puits (RN-110, RN-111) : forage par le moteur de fond.

Le VertiTrak offre de bien meilleure performance et montre un énorme avantage par rapport aux PDM. Ce dernier travaille selon **02 mode** (rotary, sliding) entraîne une durée de forage plus grande par rapport au VertiTrak qui travaille selon le mode sliding.

L'utilisation de VertiTrak réduit le risque de coincement de garniture (il est assez important avec l'utilisation de PDM), Ce-ci réduit la durée de forage.

Conclusion générale

La caractérisation des formations Silurien (la phase 8^{1/2}) représente encore aujourd'hui une difficulté majeure de contrôle d'inclinaison dans la région de Rhourde Nouss. Au terme de cette étude qui nous a tout particulièrement intéressées et portant sur l'étude d'une nouvelle technologie de contrôle d'inclinaison qui est le Vertitrak (Vertical Drilling System), elle est consiste à introduire dans le puits pour arrivé au minimum de perturbation (inclinaison, azumith,...).

Les résultats obtenu par cette étude ont démontré que l'influence des formations Silurien et le pendage des couches sur le profil du puits nous à donné une inclinaison indésirable lors l'utilisation du BHA ou PDM par rapport au Vertitrak. Nous avons une bonne idée sur cette formation dans chaque puits avec de telles donnée nous avons pu établir une étude de contrôle qui a pour but de garder la trajectoire du puits pour assurée la cible. Ce système possède plusieurs avantages, on cite :

- Maitrise de la verticalité du trou de forage.
- Une bonne qualité de puits (trou bien calibré, réduction de la tortuosité et des dog leg dans le puits).
- Réduction du torque et du drag de la garniture.
- Diminution du risque d'usure de la BHA.
- Facilité les Opérations de forage (descente et cimentation du tubage, les opérations de logging)
- Gain du temps du forage (réduction du temps improductif NPT)
- Meilleur ROP dans des zones faillées et à fort pendage des couches.

Ce système peut aussi présente des inconvénients :

- Son prix est plus élevé qu'un moteur de fond classique.
- Nécessite un spécialiste.
- Nécessite beaucoup plus de vigilance durant le suivi.
- Son utilisation est limitée au forage vertical.

Pour cela nous recommandons l'utilisation du VertiTrak dans les régions faillées et où le pendage des couches est important tout en respectant les conditions de fonctionnement pour une meilleure performance de ce système.

Références

- [1]- G.C.Naik, Tight Gas Reservoirs – An Unconventional Natural Energy Source for the Future.
- [2]- D. Degoluer, Nacnaughton, Report on a reservoir Engineering Study of Certain Fields in Rhourde Nouss Region-ALGERIA, (February 1999).
- [3]- Historique et présentation de la région de Rhourde Nouss.
- [4]- “ Problèmes de trou”, Division forage, 2004 SLIMANI. A
- [5]- “ Module M2”, Division forage, 2004. SLIMANI. A
- [6]- “ Module M3”, Division forage, 2004. SLIMANI. A
- [7]- Procédure de forage de Rhourde Nouss.
- [8]- Le forage, technique d’exploitations pétrolières, JP. NYGUEN édition 93.
- [9]- Directional Drilling Petroleum Engineering and Development Studies
- [10]- Baker Hughes, Drilling Engineering WORK.
- [11]- Document Baker Hughes (Mature field Benefits from application of High-End Technology, Copyright 2005, SPE/IADC Drilling Conference)
- [12]- Mémoire de fin d’étude (utilisation de Vertitrak dans la région de Rhourde Nouss, FARES Nacer, HADJ OTHMANE Mourad, 2009-2010)
- [13]- Programme prévisionnel du puits RN-112