



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA



Faculte des Sciences et Technologie et des Sciences de la Matiere

Département Hydrocarbure et Chimie

Mémoire de Fin d'étude

MASTER PROFESSIONNEL

Domaine : Hydrocarbure et Chimie

Filière : Hydrocarbures

Option : Forage et Maintenance des puits

Présenté par : OUZAID Youcef
DEJDELL Omar Elfarouk
KHERAB Abdelkader

Thème

L'incertitude dans la réalisation d'une trajectoire déviée (cas RNSEZ-106 en J par un MWD)

Soutenu publiquement : Le 23/06/2013

- Mr. MABROUK Réda Président UKM Ouargla
- Mm. HADJADJ Souad Encadreur UKM Ouargla
- Mr. NECIB Hichem Examineur UKM Ouargla

Promotion 2013

Table des matières

INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I: Généralité	
1. Représentation des puits déviés.....	2
1.1. Type des trajectoires	2
1.1.1. Puits en J	2
1.1.2. Puits en S	2
1.1.3. Puits Horizontaux	2
1.1.4. Puits inclinés	2
1.1.5. Puits multilatéraux	2
1.2. Profils des trajectoires	4
1.3. Systèmes des coordonnées	4
1.3.1. Coordonnées Géographiques.....	4
1.3.2. La projection UTM (Universal Transverse Mercator)	4
1.3.3 La Projection Lambert	5
1.4. Projections des puits déviés	6
1.4.1. Projections numériques.....	6
1.4.2. Projections graphiques	6
1.5. Repères	7
1.5.1. Le Nord géographique	7
1.5.2. Le Nord Magnétique	7
1.5.3. Le nord compas	7
1.5.4. Le Nord Système	7
2. Domaine d'incertitude	8
2.1. Approche du problème	8
2.2. Ellipses d'incertitude	9
2.3. Etude anti-collision	9
2.4. Relation entre appareils et erreurs.....	10
2.5. Erreurs systématiques et erreurs aléatoires	10
2.5.1 Erreurs systématiques.....	10
2.5.2 Erreurs aléatoires	11
3. Les équipements de mesure.....	12
3.1. Outils de mesure en temps différés.....	12
3.2 Outils de mesure en temps réel.....	12
3.2.1. Les MWD (Measurement While Drilling)	12
3.2.1.1. Les étages de mesures.....	13
3.2.1.2. L'étage de télémétrie.....	14
3.2.1.3. L'étage de puissance.....	16
4. Méthodes de forage dirigé	17
4.1 Le forage dirigé conventionnel.....	17
4.2. Le forage de navigation	17

CHAPITRE II: Étude de cas du puits RNSEZ-106

1. Description du puits RNSEZ-106.....	19
1.1. Localisation du puits RNSEZ-106.....	19
1.2. Les référence.....	20
1.3. Situation géographique de RHOURE NOUSS.....	20
1.4. Type, sondage et exploitation du puits.....	21
2. Domaine d'incertitude et la qualité des mesures	23
2.1. Le Modèle d'incertitude de positionnement ISCWSA.....	23
2.1.1. Correction d'erreur de SAG.....	24
2.1.2. Correction d'interférences magnétiques axiale de la garniture forage.....	25
2.1.3. Les erreurs dépendantes du Tool Face sont prises en compte.....	27
2.1.4. La correction BGGM du champ magnétique terrestre locale.....	27
2.1.5 Les erreurs de distorsion sont prises en compte (Bias)	28
2.2. Etude anti collision.....	29
3. La trajectoire théorique du puits RNSEz-106.....	29
3.1. Projection verticale.....	29
3.2. Projection horizontale.....	30
3.3. Plan Générale De Trajectoire.....	30
4. LeSlimPuls MWD.....	31
4.1. Les composants LeSlimPuls MWD.....	31
4.1.1. L'étage de télémétrie.....	31
4.1.2. L'étage de mesure.....	32
4.1.3. L'étage d'alimentation électrique.....	32
4.2. Les caractéristiques du SlimPuls MWD.....	32
5. Profil théorique et étapes de réalisation.....	33
5.1. La phase verticale.....	33
5.1.1 PHASE 26" de 0 m à 482 m TVD.....	33
5.1.2. PHASE 16" de 482 m à 2318 m TVD	34
5.1.3. PHASE 12 ¼ de 2318 m à 2416 m TVD.....	35
5.1.4. PHASE 8" ½ de 2416 m TVD à 2950 m TVD.....	36
5.2.La phase de montée	37
5.2.1. PHASE 8" ½ de 2950 m TVD à 3376 m TVD.....	37
5.2.2. PHASE 6"de 3376 m à 3450 m TVD.....	38
5.3. Phase rectiligne.....	39
5.3.1. Phase 6 " : de 3450 m à 3612 m TVD.....	39

CHAPITRE III: Interprétation (de la réalisation du puits RNSEZ-106)

1. Le suivi, contrôle et interprétation de trajectoire.....	40
1.1. La phase verticale (2416 m à 2950m MD)	40
1.2. La phase de montée (2950 m à 3620,14 m MD)	41
1.2.1. L'intervalle 01 : 2950 m à 2970m MD.....	41
1.2.2. L'intervalle 02 : 2970m à 3017 m MD.....	42
1.2.3. L'intervalle 03: 3017m à 3057m MD.....	43
1.2.4. L'intervalle 04 :3057m à 3201m MD.....	43
1.2.5. L'intervalle 05 :3201m à 3336,50 m MD.....	44

1.2.6. L'intervalle 06 : 3336,50 m à 3620,14m MD.....	45
1.3. La phase rectiligne :3620,14 m à 4110 m MD.....	47
1.3.1. L'intervalle 01 :3620,14 m à 3836,07 m MD.....	47
1.3.2. L'intervalle 02 :3836,07m à 4110m MD.....	48
CONCLUSION.....	49
Référence bibliographie.....	50

Liste des tableaux

Tableau II.1 : BHA de 26".....	33
Tableau II.2 : BHA de 16".....	34
Tableau II.3 : BHA de 12" ¼.....	35
Tableau II.4: BHA de 8"½ de 2416 à 2950 m MD.....	36
Tableau II.5 : Evolution d'inclinaisons et d'azimut de 2950 m à 3454 m MD.....	37
Tableau II.6 : BHA 8 ½ de 2950 m à 3454 m MD.....	37
Tableau II.7 : Projections numérique de trajectoire du drain de phase montée 6 ".....	38
Tableau II.8 : BHA de 6".....	38
Tableau II.9 : Projections numérique de trajectoire du drain de phase rectiligne 6 ".....	39
Tableau III.1 : Projection numérique de la phase verticale (de2416 m à 2950m MD)	40
Tableau III.2 : Projection numérique de la phase de montée de l'intervalle 01 (de2950 m à 2970m MD)	41
Tableau III.3 : Projection numérique de la phase de montée de l'intervalle 02 (de 2970m à 3017m MD)	42
Tableau III.4:Projection numérique de la phase de montée de l'intervalle 03 (de 3017m à 3057m MD)	43
Tableau III.5:Projection numérique de la phase de montée de l'intervalle 04 (de 3057m à 3201m MD)	43
Tableau III.6 : Projection numérique de la phase de montée de l'intervalle 05 (de 3201m à 3336,50 m MD)	44
Tableau III.7 : Projection numérique de la phase montée de l'intervalle 06 (de 3336,50 m à 3620,14m MD)	45
Tableau III.8 : Projection numérique de la phase rectiligne de l'intervalle 01 (de 3620,14 m à 3836,07 m MD)	47
Tableau III.9 : Projection numérique de la phase rectiligne de l'intervalle 02 (de 3836,07m à 4110m MD)	48

Liste des figures

Figure I.1 : Types des profils des puits.....	3
Figure I.2 : Projection transverse de UTM.....	5
FigureI.3 : Numérotation des zones UTM.....	5
FigureI.4 : Projection Lambert.....	6
FigureI.5 : Les différences entre les nords.....	7
Figure I.6 : Schéma simplifié de cône d'incertitude	8
Figure I.7 : Télémétrie par impulsions négatives.....	14
Figure I.8 : Télémétrie par impulsions positive.....	15
Figure I.9 : La télémétrie d'onde continue.....	15
Figure I.10 : Transmission électromagnétique de MWD.....	16
Figure I.11 : La déférence entre le mode sliding et rotary.....	18
Figure II.1 : Localisation du puits RNSEZ-106.....	19
Figure II.2 : Situation géographique de RHOURE NOUSS.....	20
Figure II.3 : Stratigraphique du puits RNSEZ-106.....	22
Figure II.4 : Schéma simplifié le fléchissement dans le plan verticale (angle SAG)	24
Figure II.5 : Guide de sélection des nombres des masse-tiges amagnétique.....	26
Figure II.6 : La carte de Corrections - déclinaison magnétique BGGM.....	27
Figure II.7 : Projection verticale du puits RNSEZ-106.....	29
Figure II.8 : Projection horizontale du puits RNSEZ-106.....	30
Figure II.9 : Schéma de SlimPuls MWD.....	31
Figure III.1: Projection graphique de la phase verticale (de 2416 m à 2950 m MD)	41
Figure III.2: Projection graphique de la phase de montée de l'intervalle 01 (de2950m à 2970mMD)	42
Figure III.3: Projection graphique de la phase de montée de l'intervalle 04 (de 3057 m à 3201 m MD)	44
Figure III.4 : Projection graphique de la phase de montée de l'intervalle 05 (de 3201m à 3336,50 m MD)	45
Figure III.5 : Projection graphique de La phase montée de l'intervalle 06(de 3336,50 m à 3620,14m MD)	46
Figure III.6: Projection graphique de la phase rectiligne de l'intervalle 01(de 3620,14 m à 3836,07 m MD)	47
Figure III.7 : Projection graphique de la phase rectiligne de l'intervalle 02(de3836,07 m à 4110 m MD)	48

Nomenclature

Indice	Signification	L'unité
MD	Profondeur mesurée	(m)
Z	L'attitude par rapport au niveau de mer	(m)
Im	Inclinaison mesurée	Dégré (°)
It	Inclinaison théorique	Dégré (°)
Am	Azimut mesurée	Dégré (°)
At	Azimut théorique	Dégré (°)
TVDm	La côte verticale mesurée (déplacement vertical)	(m)
TVDt	La côte verticale théorique (déplacement vertical)	(m)
Δ TVD	La différence entre les côtes verticales	(m)
Hm	déport mesuré (déplacement horizontal)	(m)
Ht	déport théorique (déplacement horizontal)	(m)
Δ H	La différence entre les déports	(m)
Xm	La longitude mesurée	(m)
Xt	La longitude théorique	(m)
Δ X	La différence entre les longitudes	(m)
Ym	La latitude mesurée	(m)
Yt	La latitude théorique	(m)
Δ Y	La différence entre les latitudes	(m)

INTRODUCTION

Afin d'atteindre une meilleure réalisation du profil théorique d'un puits dévié, on doit minimiser l'incertitude (le profil réel ne s'éloigne pas de l'allure du profil théorique), en prenant en considération toutes les erreurs qui peuvent être introduites lors de cette réalisation, ces dernières produisent une enveloppe, conduisant sûrement à la cible ou le gisement, dite domaine d'incertitude .

Le développement du forage dirigé a été rendu possible par l'évolution technologique rapide des équipements de déviation tel que le système MWD (Measurement While Drilling), qui nous fournit toutes les données nécessaires sur la trajectoire telles que : les mesures physiques (azimut, inclinaison et profondeur), le régime de forage et les données géologiques en temps réel.

A l'aide aussi du Modèle d'incertitude de positionnement ISCWSA (Industry Steering Committee for Wellbore Surveying Accuracy), on peut contrôler la qualité de ces mesures et d'effectuer les corrections si nécessaire.

Dans ce mémoire on a essayé de montrer l'utilité du domaine d'incertitude pour le guidage de la réalisation d'une trajectoire dévié, en utilisant les instruments de mesure. La réalisation du puits RNSEZ-106 était le cas étudié, en une représentation générale, dévisageant sa réalisation vis-à-vis son profil théorique en utilisant un MWD et le modèle d'incertitude ISCWSAMWD dans le deuxième chapitre, l'interprétation de cette réalisation et les critiques points écartés de la trajectoires théoriques, ainsi que les rectifications prises pour réintégrer la trajectoire dans son enveloppe de certitude ont eu lieu dans troisième chapitre. Le premier chapitre était réservé pour les généralités, des définitions essentielles pour la compréhension des chapitres suivants.

1. Représentation des puits déviés :

1.1. Type des trajectoires : ^[1]

Les trajectoires déviés ont plusieurs formes, sont (voir figure I.1) :

1.1.1. Puits en J :

La forme la plus simple et la plus commune des puits déviés. Ils débutent par une phase verticale, suivie d'une phase de montée et se terminent par une phase rectiligne.

1.1.2. Puits en S :

D'une forme légèrement plus élaborée, ces puits commencent comme un puits en J, mais se terminent par une chute en inclinaison, quelquefois jusqu'à la verticale.

1.1.3. Puits Horizontaux :

Cette terminologie couvre les puits où le réservoir est percé par une section horizontale or sub-horizontale (80 à 100 degrés).

NB :

Les puits en J et les puits horizontaux peuvent être:

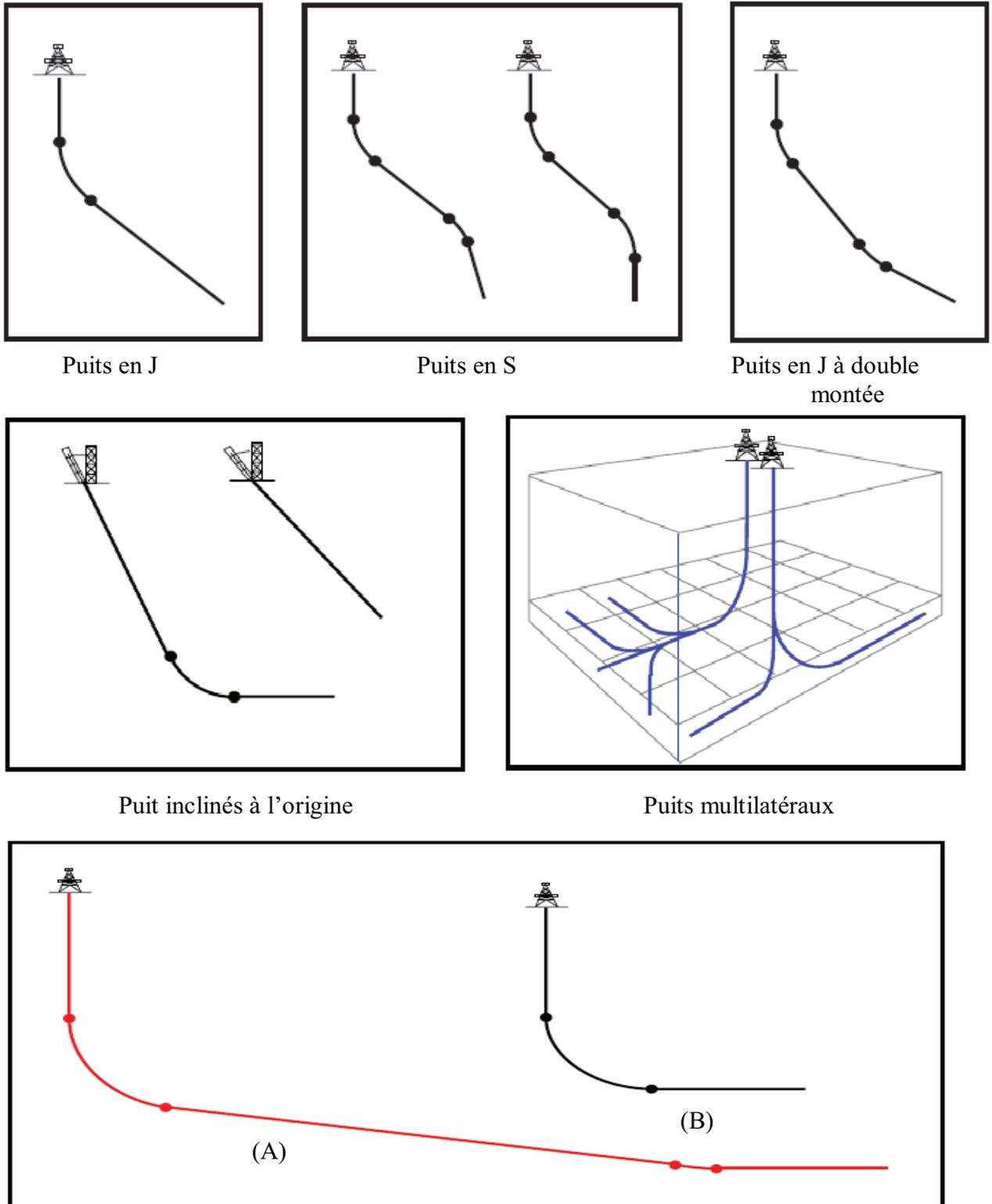
- A montée unique ;
- A montées multiples, séparées par des sections rectilignes (dites tangentielles).

1.1.4. Puits inclinés :

Puits avec une inclinaison dès la surface, pouvant atteindre 45 degrés, et nécessitant un appareil de forage spécial.

1.1.5. Puits multilatéraux :

Cette technique consiste à forer plusieurs "drains" à partir d'un puits principal et donc, une seule tête de puits.



(A) Puits horizontaux à double montée et (B) Puits horizontaux

Figure I.1 : Type des profil du puits ^[1].

1.2. Profils des trajectoires :

La réalisation d'un puits dévié nécessite deux profils :

- **Profil théorique** : se base sur les données primitives de projet.
- **Profil réel** : exécution du profil théorique.

1.3. Systèmes des coordonnées :^[1]

Le choix du système varie d'un pays à l'autre et dépend à la fois des autorités locales et de la compagnie pétrolière. Les systèmes communément utilisés sont:

- Les coordonnées géographiques ;
- Le système UTM (Universal Transverse Mercator) ;
- Le système Lambert .

1.3.1. Coordonnées Géographiques:

Les coordonnées géographiques sont exprimées en degrés-minutes-secondes à partir des origines suivantes:

- le méridien de Greenwich pour la longitude ;
- l'équateur pour la latitude.

Exemple:

X = 22° 26' 15" E

Y = 52° 41' 32" N

Ce système présente l'avantage d'être universel et est communément utilisé en offshore.

1.3.2. La projection UTM (Universal Transverse Mercator) :

A partir de la projection intérieure du sphéroïde terrestre sur un cylindre horizontal, en contact avec des méridiens (voir figure I.2). Des méridiens de référence ont été définis tous les 6 degrés de longitude en partant du méridien 180 degrés, divisant le globe en 60 fuseaux, numérotés de 1 à 60 (voir figure I.3).

- Le fuseau 31 est donc situé à l'Est du méridien de Greenwich

Chaque fuseau est divisé en "zones" ou "secteurs" couvrant 8 degrés de latitude.

Ces 20 secteurs sont identifiés par des lettres allant de C à X (excluant I et O), en partant du parallèle 80 degrés .Sud et remontant jusqu'au parallèle 80 degrés. Nord.

- Un secteur couvre une surface d'environ 666 km par 888 km

Dans chaque secteur les coordonnées UTM sont exprimées en mètres à partir d'origines définies ainsi:

- L'axe des X (longitude) a pour origine une ligne tracée à 500 km à l'Ouest du méridien central.
- L'axe des Y (latitude) a pour origine l'équateur

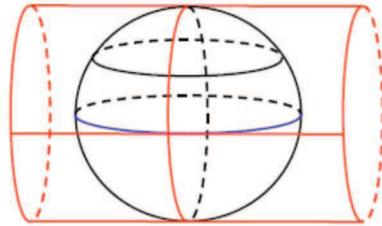
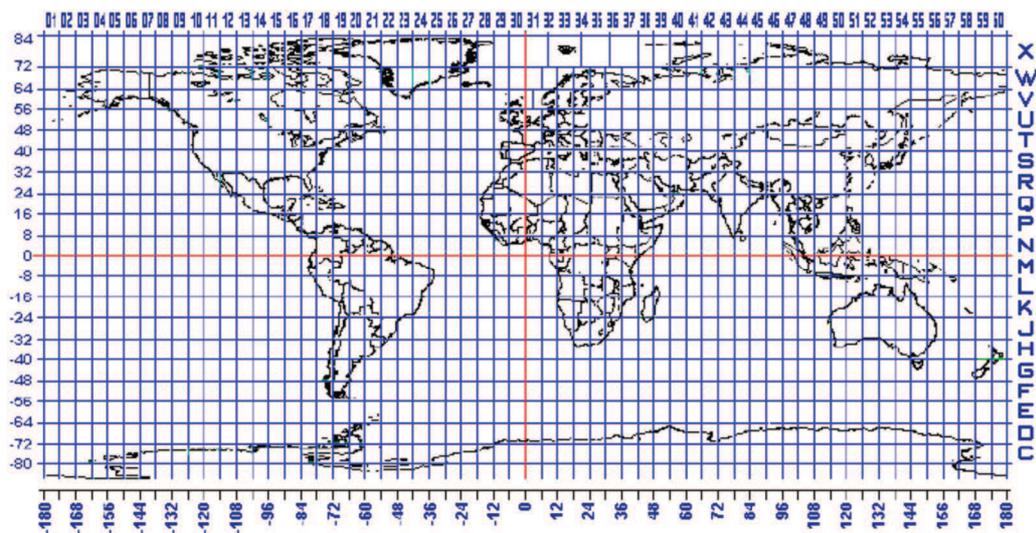


Figure I.2 : Projection transverse d'UTM ^[1].



FigureI.3 : Numérotation de zone UTM ^[1].

1.3.3 La Projection Lambert :

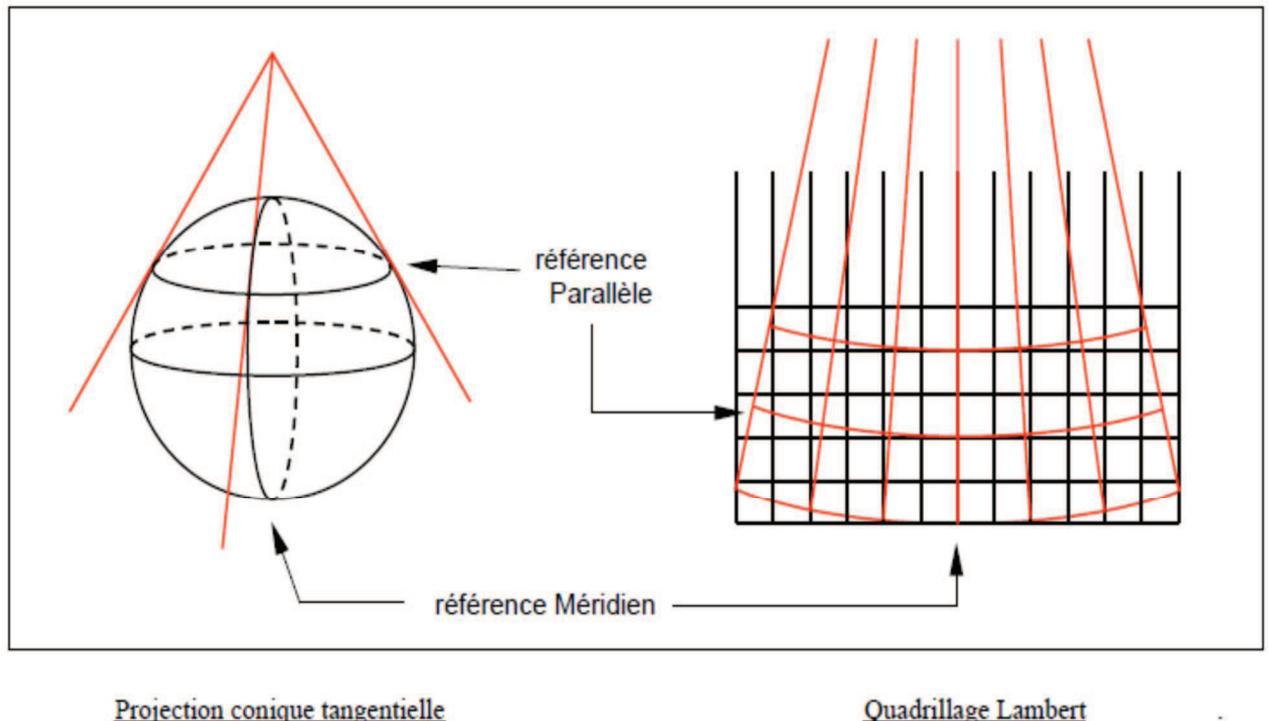
La projection Lambert est une projection de la sphère terrestre sur un cône (voir figureI.4):

- l'axe du cône coïncide avec l'axe de rotation de la Terre.
- la surface du cône tangente la sphère terrestre au "Parallèle de référence".

Les déformations sont minimum au voisinage du parallèle de référence et augmentent vers le Nord et vers le Sud. Les projections Lambert sont donc mieux adaptées à des petites superficies.

Les distances sont exprimées en mètres à partir de lignes de référence suivantes:

- Un méridien de référence, déferent de Greenwich ;
- Le parallèle de référence, déferent de l'équateur .



FigureI.4 : Projection Lambert ^[1].

1.4. Projections des puits déviés :

1.4.1. Projections numériques :

En utilisant des méthodes de calcul, on peut indiquer les résultats du calcul, à partir des :

- Paramètres de référence ;
- Les paramètres mesurés ;
- Les paramètres corrigés .

1.4.2. Projections graphiques :

Présentant une projection verticale et une projection horizontale (pour indiquer l'azimut).

1.5. Repères :^[1]

En fonction des outils de mesures utilisés et du système de coordonnées sélectionné, trois "Nord" différents (voir figure I.5) peuvent être rencontrés et doivent être considérés:

1.5.1. Le Nord géographique :

Le "Nord géographique" est le point d'intersection entre l'axe de rotation de la terre et son hémisphère, ce point est fixe géométriquement et dans le temps.

1.5.2. Le Nord Magnétique :

Montré par l'aiguille magnétique d'une boussole. Représentant le champ magnétique terrestre.

L'angle entre la direction magnétique et géographique est appelé "déclinaison magnétique" .

1.5.3. Le nord compas :

Une correction apportée à la déclinaison magnétique, due aux perturbations créées par les appareils en métal, donc il existe un angle de déviation entre la direction magnétique et la direction compas appelée "déviation" .

1.5.4. Le Nord Système :

Le "Nord système" est la direction indiquée sur une carte géographique par le quadrillage vertical.

L'angle entre la direction Nord Système et Nord géographique est appelé "Convergence".

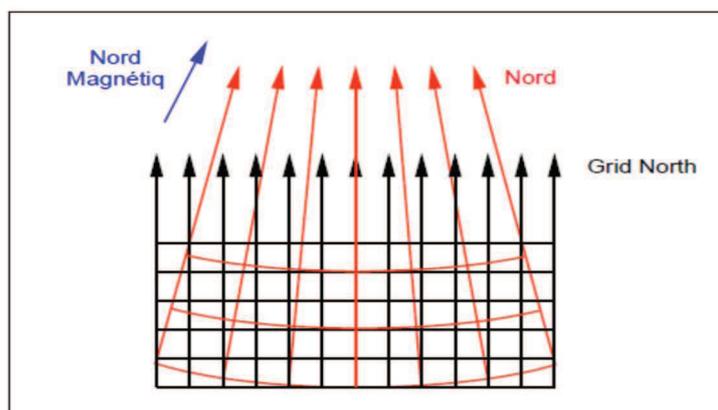


Figure I.5 : Les différences entre les nord ^[1].

2. Domaine d'incertitude :

Le passage de l'étape théorique vers la réalisation d'un puits dévié exige la détermination des valeurs suivantes : l'inclinaison, l'azimut, la profondeur, suivant :

- la référence (le premier point est la tête du puits)
- la mesure (on utilisant d'instrument de mesure)

2.1. Approche du problème :^[1]

Il peut être nécessaire de déterminer un domaine dans lequel il sera possible de localiser le puits avec certitude, en créant un domaine tri-dimensionnel, dit le "domaine d'incertitude".

En considérant les erreurs potentiellement commises à chaque mesure, en les combinant systématiquement, il est possible de calculer différentes trajectoires dites "corrigées".

Ces trajectoires peuvent être enveloppées par un cône ayant pour axe la trajectoire "théorique" du puits, appelé "cône d'incertitude"(voir figure I.6), à l'intérieur duquel se trouve le puits.

A son extrémité inférieure, l'intersection de ce cône avec un plan perpendiculaire à son axe forme le "cercle d'incertitude". Sa projection sur le plan horizontal donne l'ellipsoïde d'incertitude", à l'intérieur duquel se trouve l'extrémité du puits.

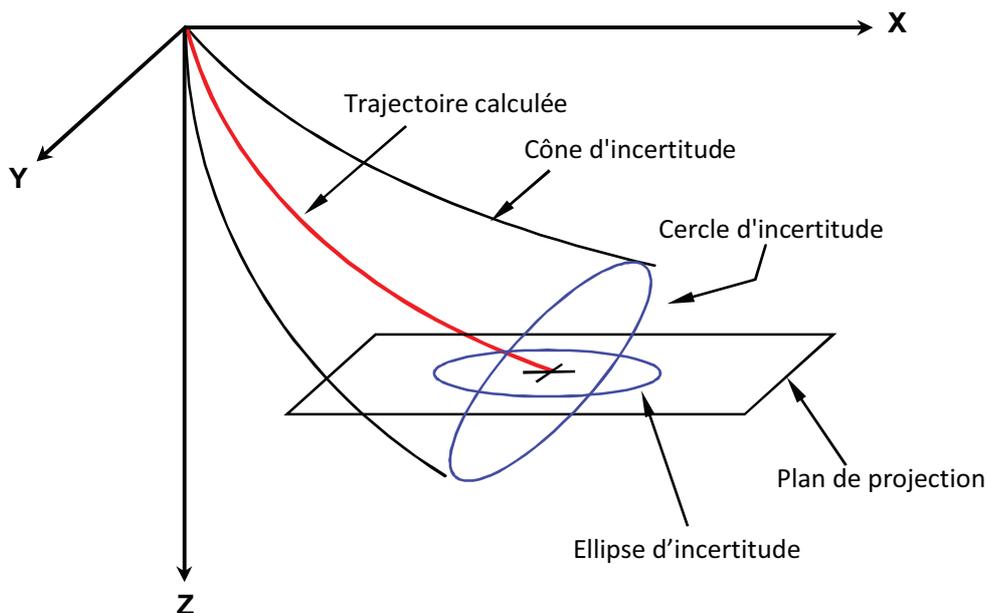


Figure I.6 : schéma simplifié de cône d'incertitude ^[1].

Calcul du rayon du cercle d'incertitude

Le rayon du cercle s'écrit comme suit:

$$R = \left[(X_t - X_m)^2 + (Y_t - Y_m)^2 + (Z_t - Z_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(1)$$

Dont : X_t, Y_t et Z_t sont les valeurs de la trajectoire théorique

X_m, Y_m et Z_m sont les valeurs mesurées en ajoutant les erreurs maximales

2.2. Ellipses d'incertitude : ^[1]

Comme l'approche tri-dimensionnelle ne permet pas une bonne comparaison entre différents puits. Elle peut être simplifiée en considérant qu'une collision entre puits ne peut survenir que si deux puits sont dans un même plan horizontal, ce qui nous ramène à un problème bi-dimensionnel, selon :

Une première méthode consiste à calculer les différentes trajectoires "corrigées" jusqu'à la profondeur verticale Z_t . Les points obtenus dans le plan horizontal à Z_t déterminent un polygone à l'intérieur duquel se trouve le puits.

Une seconde méthode consiste à déterminer pour chaque puits:

- son rayon d'incertitude (voir la formule N°1)
- son ellipse d'incertitude à Z_t , définie comme suit :

- orientation de l'axe principal = azimuth du puits à
- rayon principal = $2 \times R / \cos(i)$
- rayon transverse = $2 \times R$

2.3. Etude anti-collision : ^[1]

Une étude anti-collision entre puits est la procédure qui permet d'évaluer le risque de collision entre différents puits. Cette procédure devient - plus ou moins complexe selon le nombre de puits à prendre en considération et leurs géométries , en mettant en œuvre différents calculs :

- Calcul de la distance horizontale entre puits
- Détermination des paramètres d'incertitude (l'inclinaison, l'azimut et la profondeur), en fonction du/des types de capteurs utilisés.
- Détermination des ellipses d'incertitude
- Compilation des différents résultats

2.4. Relation entre appareils et erreurs :

On doit d'abord distinguer deux sortes d'erreurs :^[2]

- Celles qui sont propres à l'appareil et qui portent sur la grandeur mesurée (erreurs de mesure)
- Celles qui sont indépendantes à l'appareil et qui apparaissent lorsque l'on passe de la grandeur mesurée au paramètre directionnel (erreur de principe) pour faire le bilan de toutes les erreurs possible avec un appareil ,il faudra donc toujours garder à l'esprit la différence qui existe entre la grandeur que l'on mesure et celle que l'on voudrait connaitre (les paramètres directionnel).

2.5. Erreurs systématiques et erreurs aléatoires :^[2]

On remarque lors de la réalisation du puits dévié, d'une station à l'autre, un ensemble d'erreurs élémentaires dans les grandeurs mesurées (l'inclinaison, l'azimut et la profondeur). Dont on les classifie en deux grands types :

- systématiques ;
- aléatoire.

Les premières se reproduisent de la même façon à chaque point de mesure. Elles se cumulent lorsqu'on les combine pour calculer une trajectoire. Les secondes peuvent être très différentes, voire de sens opposé d'une mesure à l'autre. Elles ont une certaines tendances à s'annuler.

Il est évident que les erreurs systématiques sont beaucoup plus graves et doivent être pourchassées avec plus de rigueur que celles qui sont aléatoires. En outre, un calcul d'erreur sur la trajectoire n'est possible que si l'on sait distinguer ces 2 types d'erreurs.

2.5.1 Erreurs systématiques :^[1]

a. Erreurs dues à la position de l'outil de mesure :

- profondeur des capteurs de l'outil de mesure

La profondeur des capteurs dépend de la mesure du train de tiges (Il est bien connu que c'est là une grande source d'erreur).

Il faut aussi éviter la confusion entre profondeur du puits et profondeur de la mesure.

- Mauvais alignement de l'outil dans le trou
- Mauvais alignement des capteurs dans l'outil
- Mouvement des capteurs

Pour une bonne mesure, les outils de mesure doivent être parfaitement immobiles et sans vibrations.

b. Erreurs dues aux équipements de mesure :

- Erreurs dues aux outils eux-mêmes (caractéristiques des capteurs)
- Erreurs dues aux interférences magnétiques (outils magnétiques)
 - ✓ Interférences dues au train de tiges
 - ✓ Perturbations magnétiques locales
 - ✓ Proximité des tubages
 - ✓ Puits voisins

c. Erreurs dues aux calculs

- Erreurs dues aux approximations de la méthode de calcul utilisées.
- Domaine d'incertitude

2.5.2 Erreurs aléatoires : ^[1]

a. Erreurs dues au facteur humain :

- Erreurs de lecture lors de l'utilisation d'outils à lecture manuelle tels que des single-shots ou multi-shots à films.
- Erreurs de transcription des paramètres

3. Les équipements de mesure :

La nécessité de déterminer la position du puits conduit à réaliser régulièrement des mesures d'inclinaison, d'azimut et de profondeur'. La précision du contrôle conduit à la nécessité des instruments de mesure plus sophistiqués.

Ces différentes mesures sont réalisées par des outils de mesures en avancement de forage et au fond du trou, qui diffèrent à la fois par leur mode de mesure et par leur mode de transmission de l'information(à temps différée et à temps réel)

Les mesures peuvent être réalisées à partir de différents capteurs :

Mesures d'inclinaison basées sur la mesure du champ de gravité terrestre (pendules et accéléromètres);

Mesures d'azimut basées sur le champ magnétique terrestre (compas, boussoles, magnétomètres) ou sur la mesure d'une direction connue (gyroscopes, système inertiels).

3.1. Outils de mesure en temps diffère :

Inclinomètres;

Single shot magnétiques;

Multi shot magnétiques

Gyroscopes.

3.2 Outils de mesure en temps reel^[1]

- ✓ Steering tools
- ✓ Gyroscopes
- ✓ MWD (measuring while drilling) et LWD (logging while drilling)

3.2.1. 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 .

Ils mesurent et transmettent l'inclinaison, l'azimut et le tool face, à l'aide de capteurs ultra sensibles, accéléromètres et des magnétomètres.

Diverses mesures d'évaluation des formations peuvent être ajoutées, transformant les MWD en LWD (*Logging While Drilling*) et permettant un contrôle de la déviation tenant

compte de la nature de la formation forée et/ou évitant les mesures électriques toujours difficiles à mettre en œuvre en forage horizontal.

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

Les composants d'un MWD sont:

- l'étage de mesure
- l'étage de télémétrie
- l'étage de puissance

3.2.1.1. Les étages 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.

Au fur et à mesure de leur évolution des mesures nouvelles ont été ajoutées, permettant l'évaluation des formations traversées et une meilleure compréhension des problèmes de forage.

a. Mesures directionnelles

Les capteurs utilisés sont des accéléromètres et des magnétomètres mesurant respectivement les champs gravitationnel et magnétique terrestres avec une résolution très supérieure à celle des instruments utilisés précédemment, compas et inclinomètres.

b. Mesures d'évaluation des formations

- Gamma ray
- Résistivité
- Porosité

c. Autres mesures

- Pression annulaire
- Paramètres de forage
- Vibrations

3.2.1.2. 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.

a. Télémétrie par impulsions à travers le fluide de forage :^[6]

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) :

La télémétrie d'impulsions de boue négative utilise une vanne commandée pour évacuer la boue momentanément de l'intérieur de l'outil vers l'espace annulaire (voir figure I.7). Ce procédé génère une diminution de pression sous la forme d'une impulsion négative ou une onde de pression qui se déplace vers la surface et qui est détectée sur la ligne d'injection.

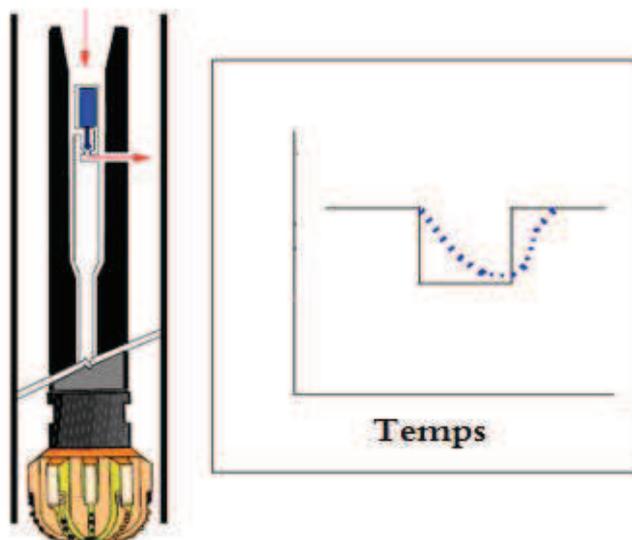


Figure I.7 : Télémétrie par impulsions négatives ^[7].

- Des surpressions (impulsions positives) :

La télémétrie d'impulsions de boue Positive utilise une soupape à clapet hydraulique à restreindre momentanément l'écoulement de boue à travers un orifice dans l'outil, en générant une augmentation de la pression sous la forme d'une impulsion de pression positive ou onde qui se déplace à la surface (voir figure I.8), qui sera détecté sur la ligne d'injection.

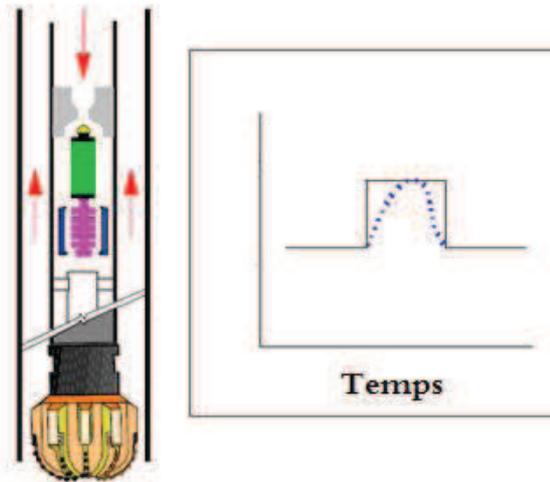


Figure I.8 : Télémétrie par impulsions positive [7].

- La télémétrie d'onde continue :(voir figure I.9)

La télémétrie d'onde continue utilise une vanne rotative ou «sirène de boue" avec un rotor à fentes et un stator, qui limite l'écoulement de la boue d'une manière à générer une onde de pression positive de modulation qui se déplace à la surface et est détectée sur la ligne d'injection.



Figure I.9 : La télémétrie d'onde continue [1].

b. 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.

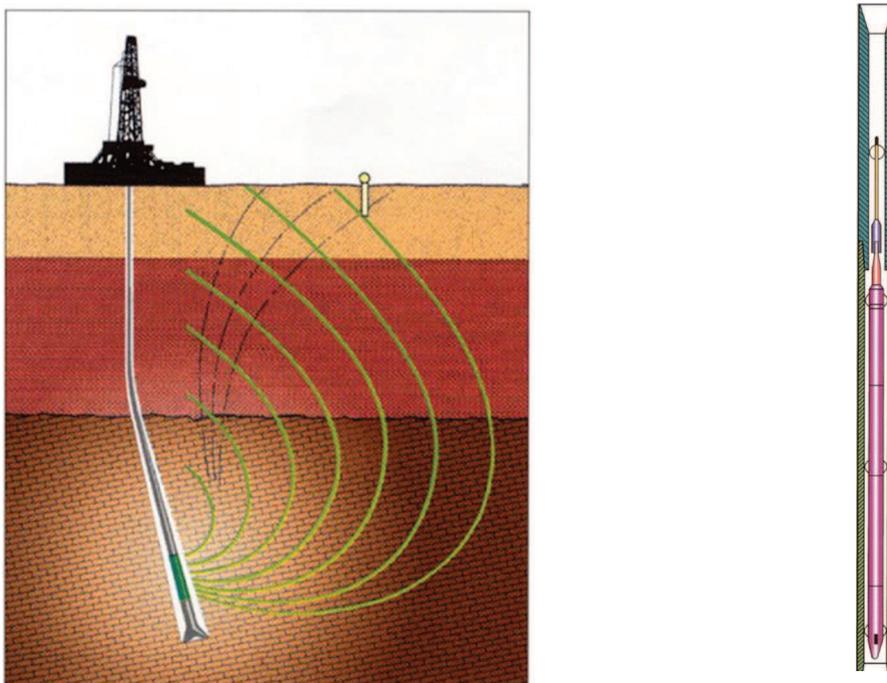


Figure I.10 : Transmission Électromagnétique de MWD ^[1].

3.2.1.3. 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

4. Méthodes de forage dirigé : ^[1]

Il existe deux méthodes pour la réalisation d'un forage dirigé, sont:

4.1 Le forage dirigé conventionnel : (figure I.11)

Le forage dirigé dit "conventionnel" est l'approche initiale du forage dirigé, à savoir l'utilisation alternée de phase :

- "moteur" (utilisant un moteur de fond, en principe sans rotation du train de tiges)

Et de phase :

- "rotary" (sans moteur de fond)

Le déroulement d'un puits dévié en forage dirigé conventionnel est le suivant:

- Montée initiale en inclinaison et orientation du puits à l'aide d'un moteur de fond équipé d'un raccord coudé jusqu'à l'obtention d'une inclinaison minimum de l'ordre de 10 degrés et de l'orientation du puits dans l'azimut initial déterminé.

- Continuation de la phase de montée en mode rotary.

- Forage des sections droites en mode rotary.

- Si nécessaire, correction d'azimut et/ou d'inclinaison à l'aide d'un moteur de fond équipé d'un raccord coudé.

Cette méthode était et reste adaptée au forage de la plupart des puits en "J" ou en "S" avec l'assistance d'un MWD ou même en utilisant un single-shot. Elle ne convient pas à la réalisation des puits horizontaux ou tri dimensionnels.

4.2. Le forage de navigation :

Le forage dirigé dit de "navigation" (steerable drilling) consiste à utiliser des moteurs de fond pour la totalité des phases de forage dirigé, conjointement ou non avec la rotation du train de tiges.

Il ne peut être pratiqué qu'avec des moteurs équipés d'un raccord coudé incorporé.

Il est appelé de navigation car il permet un contrôle permanent de l'inclinaison et l'azimut par petites corrections obtenues à l'aide du raccord coudé.

Il consiste à alterner

- des phases sans rotation du train de tiges ("sliding") permettant le contrôle de l'azimut et/ou un changement d'inclinaison.

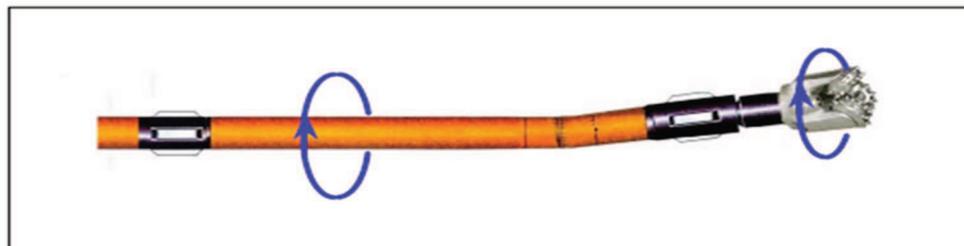
Avec :

- des phases avec rotation du train de tiges ("rotary"), la rotation annulant l'effet du raccord coudé et résultant en un forage rectiligne.

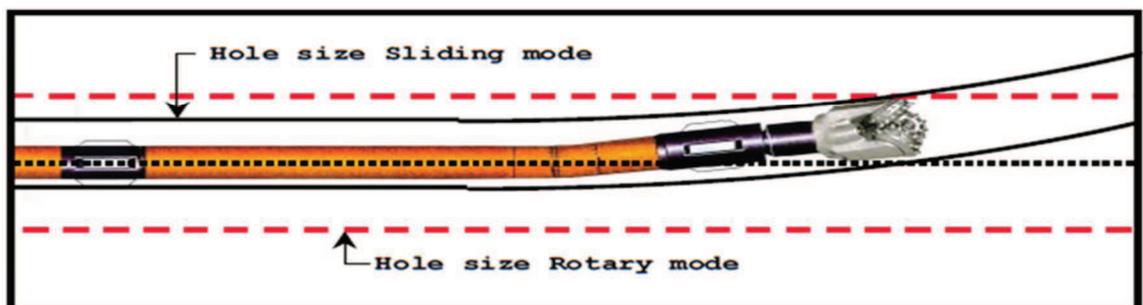
Le forage de navigation permet de suivre parfaitement une trajectoire théorique et donc d'atteindre une cible avec certitude. Il est donc nécessaire au forage horizontal dans lequel l'arrivée au point d'entrée à haute inclinaison et souvent avec une tolérance verticale faible ne serait pas possible avec les méthodes conventionnelles.



(A) Sliding mode



(B) Rotary mode



(C) Hole size versus Drilling mode

Figure I.11 : La différence entre le mode sliding et rotary ^[1].

Afin d'engendrer l'importance d'établissement du profil théorique, sa trajectoire et ses limites (domaine d'incertitude) d'un puits dévié et le bon suivi de sa réalisation, muni par l'utilisation des instruments de mesure et la bonne décision en cas des complications ou des déviations par rapport au profil théorique. On a choisi le puits RNSEZ-106, à Rhourde Nous, comme un cas à étudier.

Dans ce chapitre, on va présenter ce puits, sa position, son type, ses profils et leurs projections (horizontale et verticale), la méthode de calcul de ces derniers, l'instrument de mesure et le types de forage utilisés.

1. Description du puits RNSEZ-106 :

1.1. Localisation du puits RNSEZ-106 :

Le puits RNSEZ-106, se trouve à RHOURE NOUSS , à environ 350 m au Sud Est de RNSE-103, à 500 m au Sud-Ouest de RNSE-73 et à 550 m au Nord-Ouest de RNSE-68.

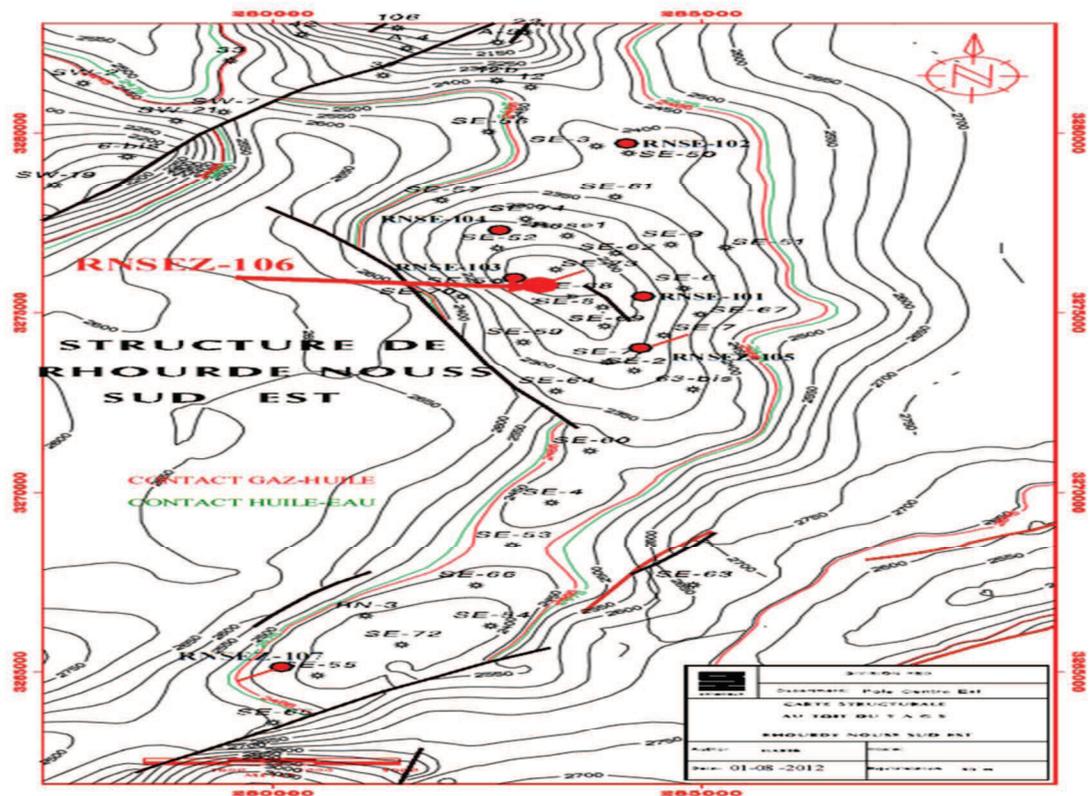


Figure II.1 : Localisation du puits RNSEZ-106. [8]

Les coordonnées UTM :

X[m]	Y[m]	Zone
283056.071 m	3275824.286m	Référence à UTM 32 au Nord Sahara, Clark80

Les coordonnées géographiques :

Latitude	Longitude
N 29° 35' 44.49139	E 6° 45' 36.16617"

1.2. Les référence :

Appareil : ENTP-203

Z Sol : 260.386 m

Z Table : 270 m

1.3. Situation géographique de RHOURE NOUSS :

La région Rhourde Nouss (RN) est située à 850 km au Sud-Est d'Alger, 270 km au Sud-Est du champ de Hassi Messaoud, 70km au Sud de terrain ‘Toual ‘ dans le bloc de Gassi Touil, au Nord-Ouest d'Illizi et à l'Ouest de bassin de Berkine, au sud-est de l'Auge Marfag.



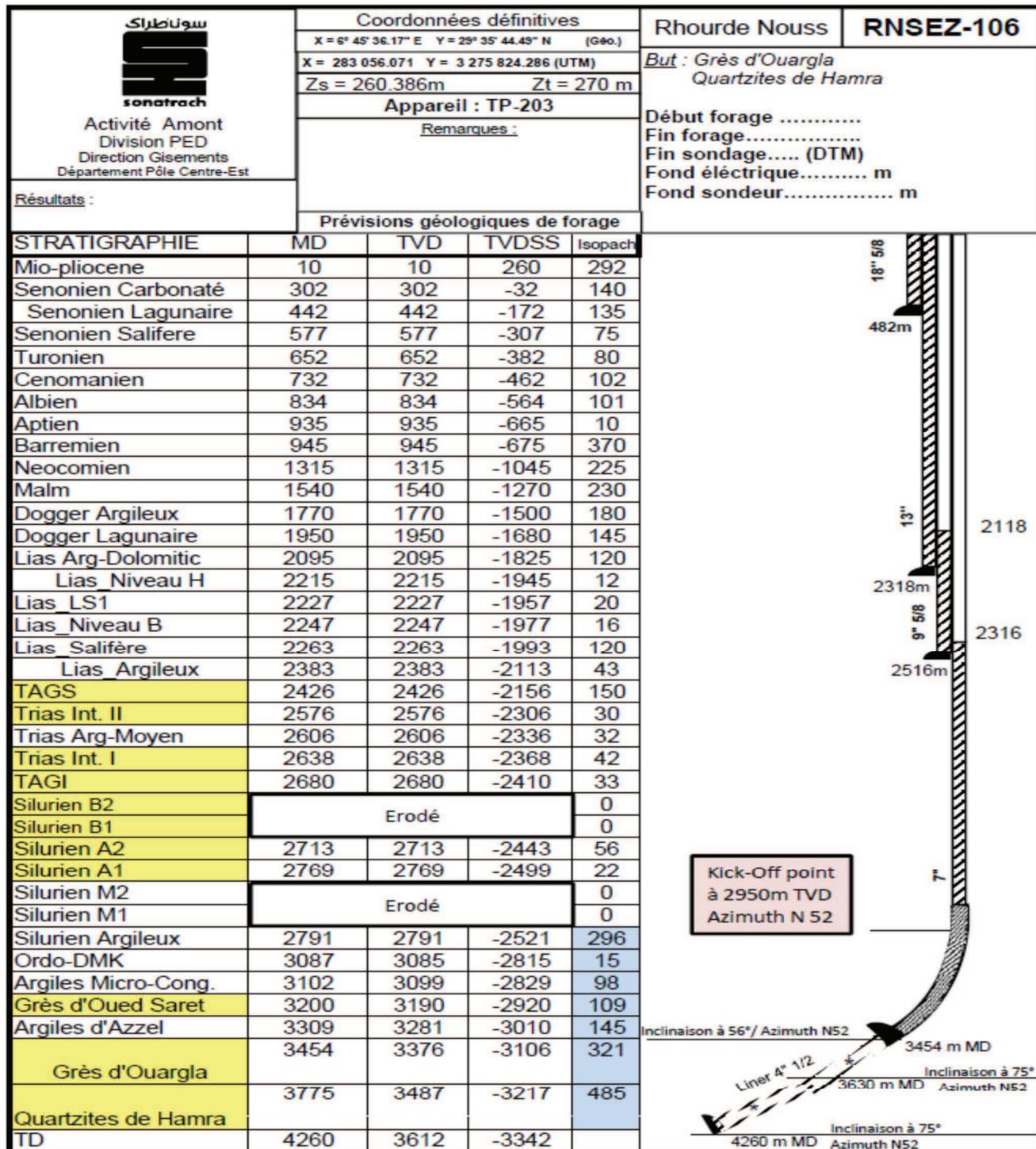
Figure II.2 : Situation géographique de RHOURE NOUSS. [8]

1.4. Type, sondage et exploitation du puits

RNSEZ-106 est de développement, sous forme J, à inclinaison variable de 56° à 75° avec un azimuth Nord 52°, dédié aux réservoirs ordoviciens de la région de Rhourde Nous, il sera foré particulièrement dans la structure Sud Est de la région citée, il atteindra les Grès de Ouargla et les Quartzites de Hamra comme objectif principal et permettra enfin l'optimisation du développement du gaz à condensat dans le cadre du Projet Gassi Touil.

Le forage RNSEZ-106 sera arrêté vers 4260 m en MD soit après pénétration des Quartzites de Hamra de 485 m. Grès d'Ouargla (voir figure II.3)

la réalisation du RNSEZ 106 était par un moteur de fond a coude incorporé , l'instrument de mesure utilisé par le SLIM PULS-MWD (voir II .4) .



Epaisseurs en MD
Horizons réservoirs

Choix du Liner après DST Liner cimenté

Figure II.3 : stratigraphique du puits RNSEZ-106. [8]

2. Domaine d'incertitude et la qualité des mesures :

Pour calculer les paramètres géométriques du puits : le Déplacement horizontal (H), la profondeur verticale (Z), la longitude X et la latitude Y, on doit utiliser les paramètres mesurés régulièrement: l'inclinaison (I), l'azimut(A) et la profondeur (L) forée du puits.

Ces mesures physiques sont soumises aux différentes erreurs qui influent sur les paramètres géométriques calculés, puis sur la trajectoire réalisée en dernier lieu.

Le domaine d'incertitude de ce puits enferme plusieurs paramètres telles que la marge d'erreur de l'instrument de mesure utilisé (MWD), l'angle SAG, interférence magnétique, correction de déclinaison magnétique, ..., en utilisant le Modèle d'incertitude de positionnement ISCWSA

2.1. Le Modèle d'incertitude de positionnement ISCWSA :^[3]

ISCWSA (Industry Steering Committee for Wellbore Surveying Accuracy)

Un groupe de spécialistes crée en 1995 ayant pour objectif de développer un modèle plus pertinent des connaissances acquises et des évolutions des outils de mesure de trajectoire

➤ Le modèle MWD a été publié en 2000 et celui du Gyro en 2004, ce modèle fait intervenir 22 termes d'erreurs ayant un effet sur les trois paramètres mesurés:

Profondeur, Inclinaison et Azimut

➤ La formulation statistique de l'amplitude de chaque erreur permet une modélisation mathématique précise

➤ Le modèle a été conçu pour que chaque fournisseur d'équipement de mesure doit fournir les amplitudes d'erreur de son outil

➤ le domaine d'incertitude de MWD utilisé pour la réalisation de RNSEZ-106 :

ISCWSA Rev 0 *** 3-D 95.000% Confidence 2.7955 sigma

Le modèle permet de prendre en compte des techniques modernes de correction des mesures de trajectoire, tels :

2.1.1. Correction d'erreur de SAG :^[4]

Le SAG, ou fléchissement dans le plan vertical (figure II.4), a une incidence sur l'inclinaison mesurée, différents programmes peuvent calculer la Sag BHA, en tenant l'affectation de toutes ces caractéristiques. Cependant, nous pouvons également faire un rugueux, calcul manuel, en fonction de la stabilisation

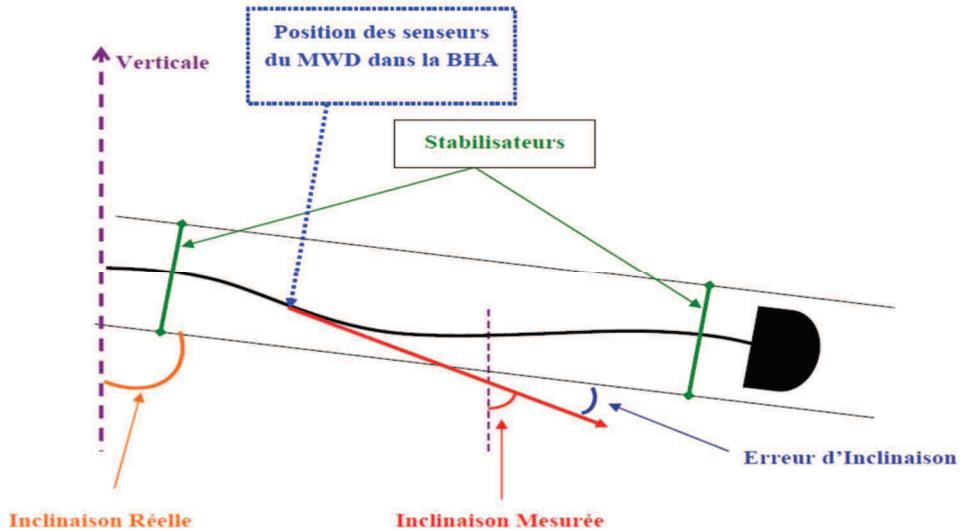


Figure II.4.a : Schéma simplifié le fléchissement (angle SAG).^[3]

On traite le désalignement mécanique comme un triangle de points de contact. Les trois côtés du triangle seront l'extérieur de la collerette, la perturbation causée par les stabilisateurs (qui est égale à la moitié de la différence de diamètre extérieur entre les collets et stabilisant)

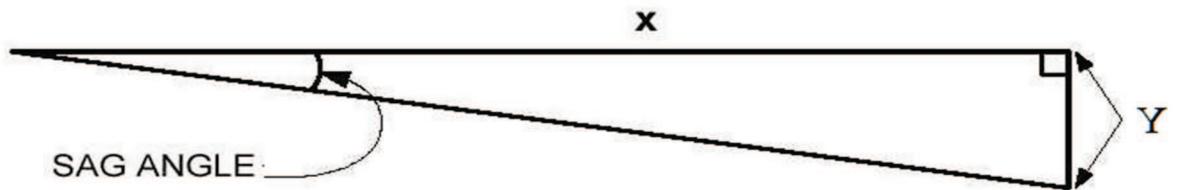


Figure II.4.b : Schéma simplifié le fléchissement dans le plan verticale (angle SAG).^[3]

$$\tan \theta = (Y \div X) \dots \dots (2) \text{ donnant ainsi; l'angle de SAG } \theta \text{ à l'horizontale (Figure II.4.b)}$$

Et : l'angle de SAG à toute autre inclinaison : $\theta' = \theta * \sin(I) \dots \dots \dots (3)$

Ex : SAG angle horizontal = 0,26 °, donc à (30 ° d'inclinaison) = 0,26 x sin 30 ° = 0,13

La valeur du SAG dépend de la Position, le nombre et la taille des stabilisateurs - taille par rapport aux bits et col OD :

- Si la distance entre les stabilisateurs <40 pieds : le problème peut être traité comme un corps rigide en tenant compte de l'écart dans le diamètre extérieur des deux stabilisateurs
- Si la distance entre les stabilisateur > 40 pieds (OD <8 "), ou > 60 pieds (OD > 8") : le problème peut être traité comme si le MWD est compensée par une seule extrémité, c'est à dire selon extrémité à laquelle l'MWD est plus proche d'un stabilisateur
- Si MWD est à 5 pied, du point milieu de deux stabilisateurs, on l' ignore : le cas où le MWD serait compensé parallèlement à la ligne centrale du trou

La valeur du SAG dépend aussi de la Position et de degré de courbure de tous les moteurs de fond dans la BHA, de la densité de la boue et l'inclinaison de l'alésage.

Si la SAG horizontale calculée est > 0,1 °, alors on la néglige le long des courbures

Calcul de SAG du puits RNSEZ-106

$$I = 75^\circ$$

La distance entre les stabilisateur > 40 pieds (OD <8 ")

$$X = 39,33 \text{ (ft)} \quad Y = 6 - 4,75 = 1,25 \text{ (in)} = 0,10417 \text{ (ft)}$$

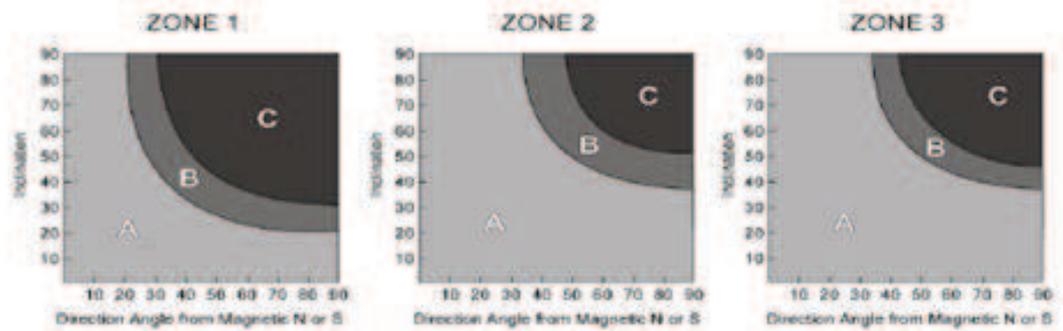
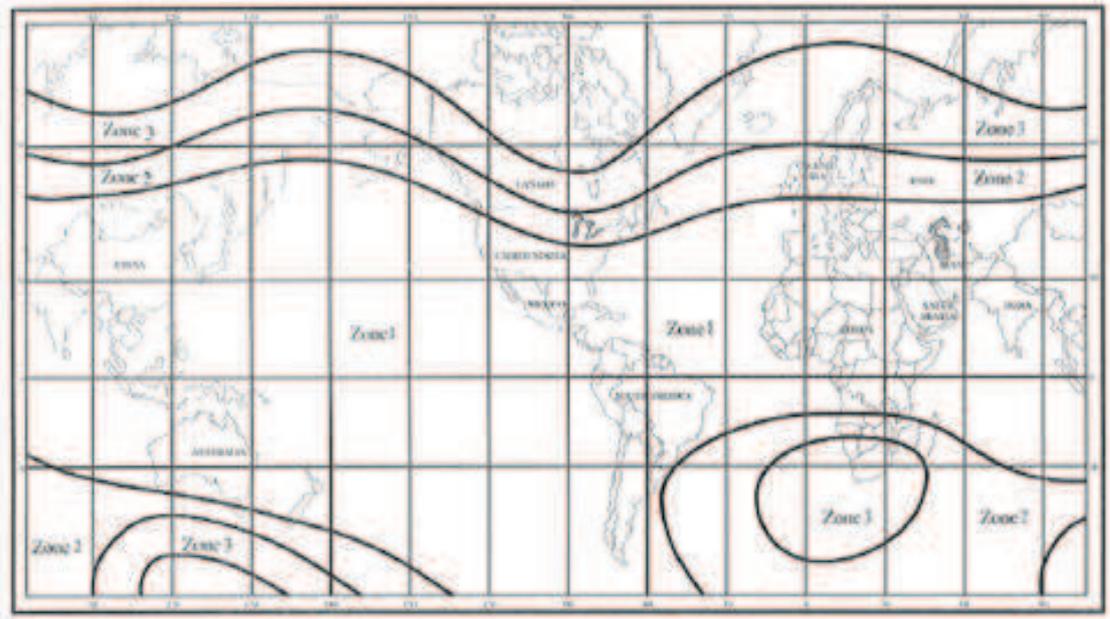
$$\tan \theta = (Y \div X) = (0,10417 \div 39,33) = \text{donnant ainsi :}$$

$$\text{SAG angle horizontal} = 0,1517^\circ \quad \text{donc à } 75^\circ \text{ d'inclinaison} = 0,1517 \times \sin 75^\circ = 0,1465^\circ$$

2.1.2. Correction d'interférences magnétiques axiale de la garniture forage : ^[5]

Le choix de la longueur à utiliser doit être fait avec soin pour minimiser une erreur systématique due à l'influence de la garniture acier sur l'organe de mesure

La plupart des contracteurs de forage dirigé fournissent des abaques évitant le calcul de l'erreur ;ils définissent simplement le nombre de masse-tiges utiliser en fonction de la zone.



Compass spacing
 Area A 18' collar: 1' to 2' below center
 Area B 30' collar: 3' to 4' below center
 Area C tandem 18' + 25' centre of bottom collar

Compass spacing
 Area A 30' collar: 3' to 4' below center
 Area B 60' collar: at center
 Area C 90' collar: at center

Compass spacing
 Area A 60' collar : at center
 Area B 60' collar: 8' at 10' center
 Area C 90' collar: at center

Figure II.5 : Guide de sélection des nombres des masse-tiges amagnétiques. [5]

Application sur BHA du phase 6 ''de puits

RNSEZ-106 : de 3630 m à 4260 m MD

La phase rectiligne de **I = 75** et **A = 52**

D'après la bague ci-dessus :

On est dans la zone 1 surface (c) donc

La longueur amagnétique est excessivement de 7 m +14 m autour du centre de MWD ont à utilisée des longueur amagnétique supérieur à la longueur citée dans l'abaque(voir figure II.5) selon la disponibilité sur chantier.

NAME:		DIRECTIONAL BHA	
OD (in)	TOOL TYPE	JTS No	LENGTH (m)
3.500	HW	8	74.00
4.750	JAR	1	9.00
3.500	HW	27	252.00
3.500	DP	66	621.00
4.750	DUS	1	0.85
4.750	NDC	1	9.00
4.750	PUS	1	10.00
4.750	NPC	1	2.00
4.750	FS	1	0.52
5.000	PDM	1	9.29
6.000	ND	1	0.34

2.1.3. Les erreurs dépendantes du Tool Face sont prises en compte

➤ Le Tool Face définit l'état de l'outil (sa position) au moment de la mesure

2.1.4. La correction BGGM (British Geological Survey mondial géomagnétique modèle) du champ magnétique terrestre locale

les caractéristiques du champ magnétique terrestre local sont :L'intensité, le dip angle, la déclinaison magnétique, ainsi que la latitude du lieu de modélisation

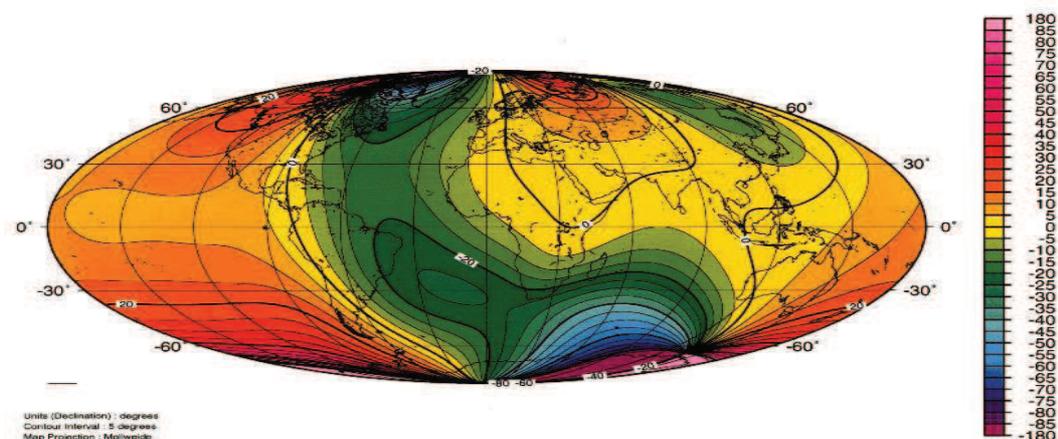
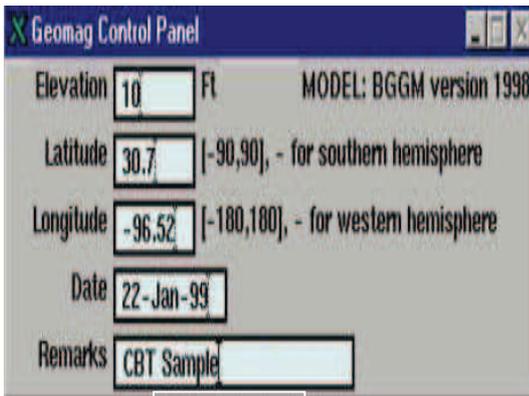


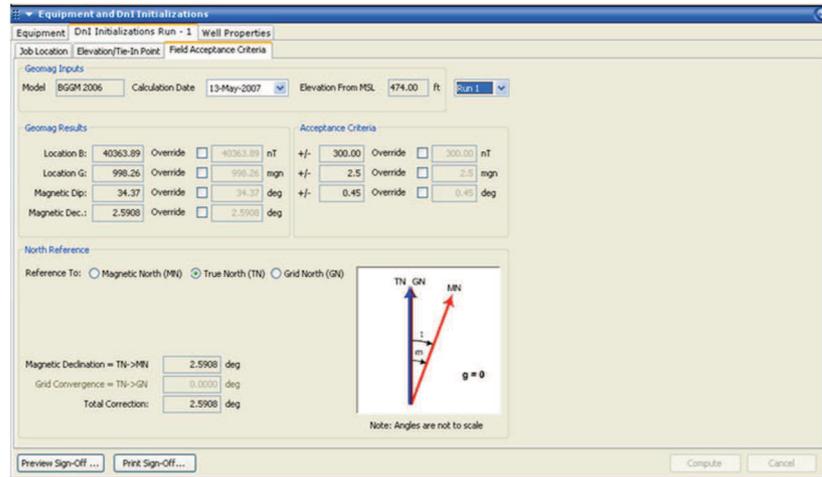
Figure II.6 a : La carte de Corrections - déclinaison magnétique BGGM.^[4]

La carte de correction peut être utilisée pour obtenir une estimation approximative de la force et la valeur de la déclinaison magnétique à l'aide du modèle BGGM.(voir figure II.6.a,b) . Ces cartes sont mises à jour chaque année.

Il faut télécharger un nouveau fichier DAT ,convenable au logiciel utilisé (Maxwell, IDEAL,...) en Juin de chaque année.



IDEAL



Maxwell

Les corrections BGGM du RNSEZ-106

Date de Déclinaison: 22, Octobre 2012

Model Déclinaison Magnétique: BGGM 2012

Nord de référence: Nord système

La Convergence : -1.1067 °

Déclinaison Magnétique: 0.966

L'azimut magnétique $N_m = 54.0725^\circ$

$$N_m = N_G + D \dots \dots \dots (4)$$

$$N_p = N_G + C \dots \dots \dots (5)$$

$$\text{De (4) et (5) : } N_P = N_M + C - D \dots \dots \dots (6)$$

Total Corr Mag North->Grid 2.0725 °

L'azimut projection NP = 52 °

2.1.5 Les erreurs de distorsion sont prises en compte (Bias)

- erreurs de valeur moyenne non nulle

2.2. Etude anti collision :

Le puits RNSEZ-106 ne nécessite pas l'étude anti collision, vu sa position par rapport aux autres puits voisins (voir § 1.1 , au-dessus)

3. La trajectoire théorique du puits RNSEz-106 :

3.1. Projection verticale :

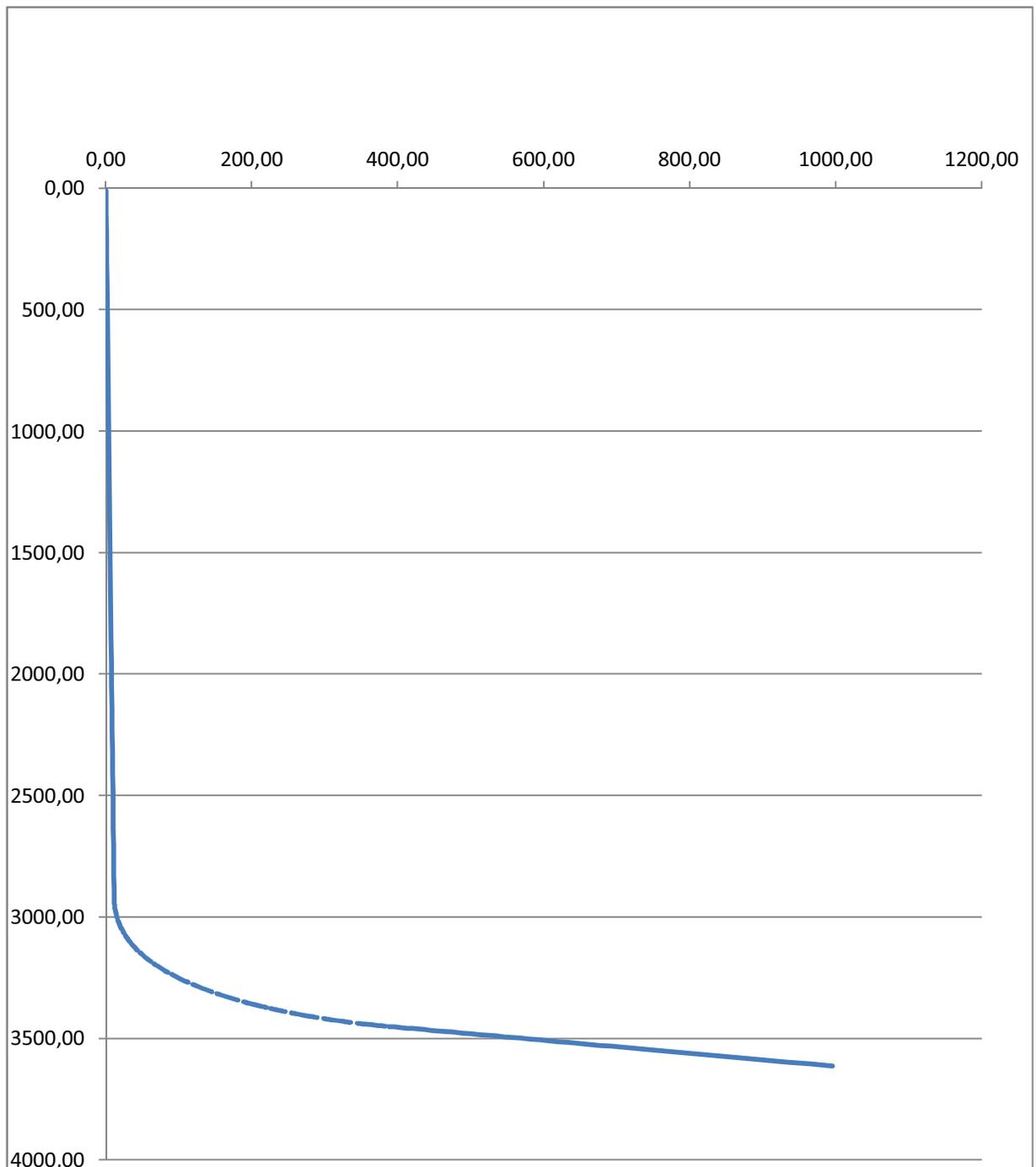


Figure II.7 : projection verticale du puits RNSEZ-106

3.2. Projection horizontale :

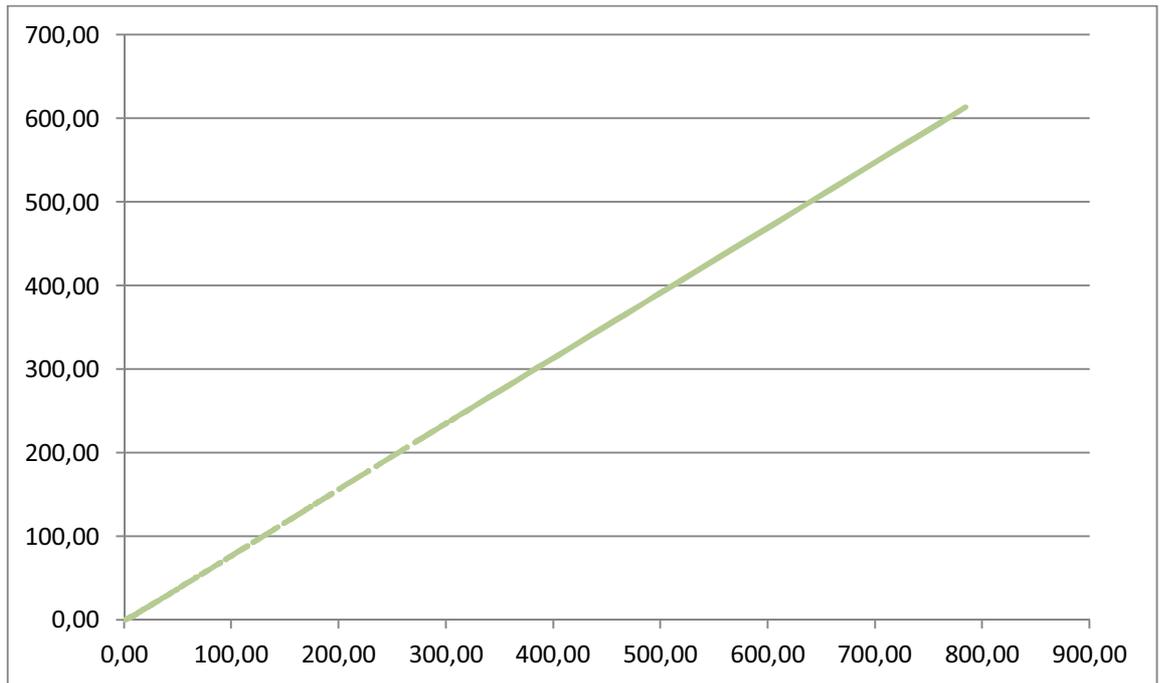


Figure II.8 : projection horizontale du puits RNSEZ-106

3.3. Plan Générale De Trajectoire :

Coordonnées se surface (UTM)	Y= 3 275 824.286m X= 283 056.071m
KOP	2950m
Point d'atterrissage	3630m MD/3449.59m TVD
Coordonnées du Point d'atterrissage	X= 283 361.00m Y= 3 276 062.53m
TD (longueur totale)	4260m MD/3612.65m TVD
Coordonnées TD	X= 283 840.54m Y= 3 276 437.18m
Inclinaison	56°-75°
Azimut de déviation du puits	N52°
Longueur du Drain	630m

4. Le SlimPuls MWD : ^[7]

4.1. Les composants Le SlimPuls MWD:

Le système SlimPuls MWD est constitué de trois étages (voir figure 21)

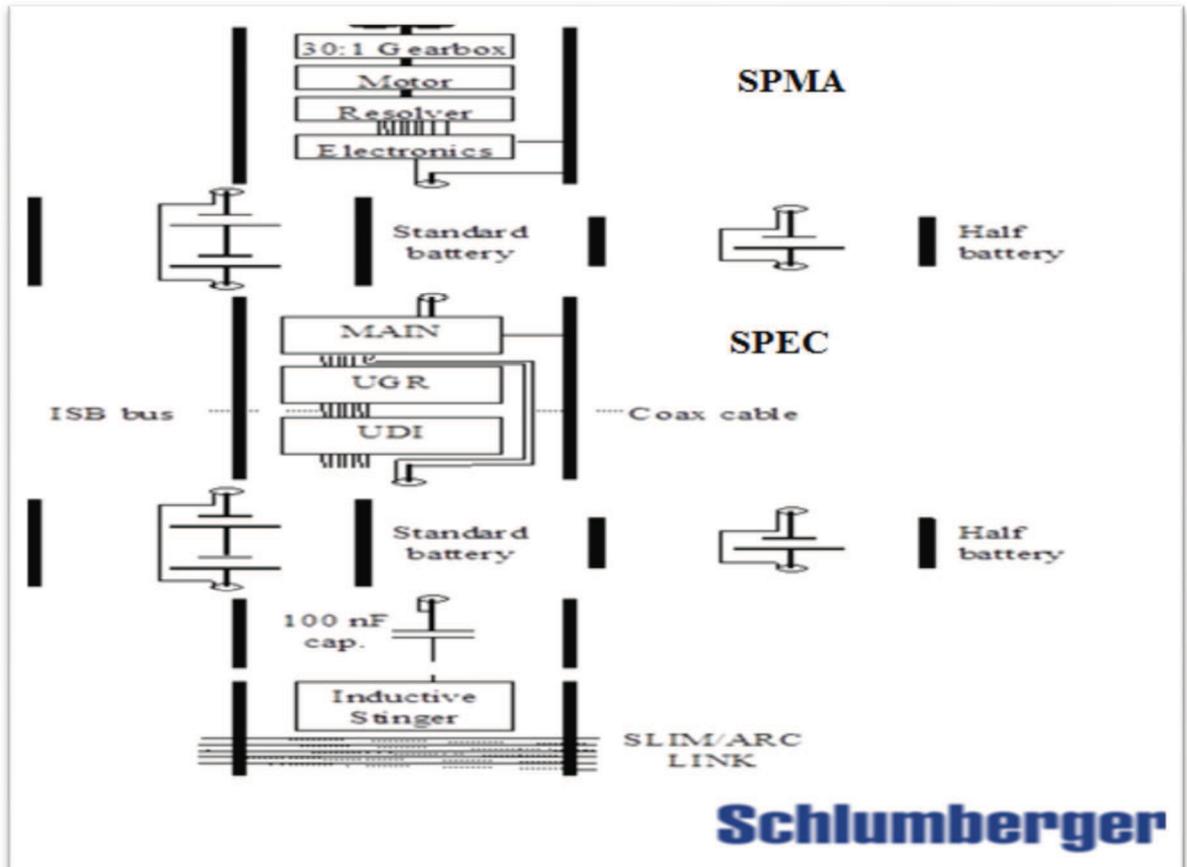


Figure II.9 : schéma de SlimPuls MWD.^[7]

4.1.1. L'étage de télémétrie : SlimPulseModulatorAssembly (SPMA)

➤ L'outil de télémétrie :

Coder les paramètres mesurés en information binaire et transmettre cette information vers la surface à travers la colonne de boue (Pulses négatives)

➤ Le Générateur de puissance :

Un alternateur actionné par le débit de la boue pour donner l'énergie électrique, cette énergie est pour alimenter l'étage de télémétrie seulement.

➤ **Le système de la surveillance logique des connexions :**

Il est détectée l'état des pompes a boue (marche ou arrêt), Il est utilisée ces information dans l'algorithme de la surveillance logique des connexions, ce qui sera expliqué ultérieurement

➤ **Le système de contrôle de l'orifice de pulsation :**

Il est crié des dépressions en tête par un contrôle efficace de l'orifice de pulsation (fermer /ouvert).

4.1.2. L'étage de mesure : SlimPulse Electronics Cartridge (SPEC)

➤ **UGRM (Universal Gamma Ray Module):**

Il mesure la radioactivité naturelle dans le puits

➤ **UDIM (Universal Direction and Inclination Module):**

Il est mesuré: Le tool face, L'azimut et l'inclinaison, La température et Les chocs.

➤ **MAIN Module :**

Il obtient les mesures de UGRM, UDIM, et les enregistrée dans la mémoire voltaïque +13V,-13V, etles envoyée, bit-par-bit, verre le SPMA

4.1.3. L'étage d'alimentation électrique:

Batteries de (lithium et magnésium).

4.2. Les caractéristiques du SlimPuls MWD :

➤ **Récupérable :** le montage des déférent étage de SlimPuls MWD ce fait sur chantier et piu après il est posée dans le DC amagnétique donc il peut être récupéré en cas de nécessite.

➤ **Le Diamètre :** le diamètre de SlimPuls MWD égale a 1-3/4", il peut être posée dans déférent diamètre de DC (de 2-1/4" a 9-1/2") donc il peut être entrée dans tous les diamètres des puits

➤ **Le rythme de transmission :** le rythme de transmission de SlimPulse est plus lent par apport le PowerPuls et l'IMPulse

➤ **La Combinaison:** SlimPulse peut être combiné avec un nombre limité des LWD à cause de son lent rythme de transmission.

5. Profil théorique et étapes de réalisation :

Pour la réalisation du puits RNSEZ-106 on doit le diviser en trois phases, chacune d'elles sera divisée en plusieurs stations selon la nécessité, sont les suivantes

5.1. La phase verticale

RNSEZ-106 sera foré verticalement vers 2950 m TVD dans le Silurien Argileux, Il est primordial de garder la verticalité de ce puits à $\pm 1^\circ$ de la surface jusqu'au KOP, l'utilisation d'un outil préservant le profil vertical est essentielle.

5.1.1 PHASE 26" de 0 m à 482 m TVD

Forage en 26'' jusqu'à pénétration du Sénonien Lagunaire d'une quarantaine de mètres.

Effectuer une mesure de déviation par l'INCLINOMETRE A TOTCO, dans chaque remontée d'outil et apporter une correction à toute déviation. Le tubage 18'' 5/8 sera posé au fond et cimenté jusqu'en surface.

Element	Pcs	Pipe		Corrected weight	Tool Joint			
		OD	ID		OD	ID	Connection	
							Bottom	Top
		[in]	[in]	[ppf]	[in]	[in]		
26" TCI bit	1	26						7 5/8 REG P
Bit sub w/ Totco landing ring	1	9 1/2	3	217	9 1/2	3	7 5/8 REG B	7 5/8 REG B
Shock Sub	1	9 1/2	3	217	9 1/2	3	7 5/8 REG P	7 5/8 REG B
9 1/2" DC	2	9 1/2	3	217	9 1/2	3	7 5/8 REG P	7 5/8 REG B
25 15/16" Stabilizer	1	25 15/16	3	315		3	7 5/8 REG P	7 5/8 REG B
9 1/2" DC	1	9 1/2	3	217	9 1/2	3	7 5/8 REG P	7 5/8 REG B
Xover	1	9 1/2	3	217	9 1/2	3	7 5/8 REG P	6 5/8 REG B
8" DC	12	8	2 13/16	147	8	2.813	6 5/8 REG P	6 5/8 REG B
Xover	1	8	2 13/16	147	8	2.813	6 5/8 REG P	5 1/2 FH B
HWDP	12	5	3	50	6 1/2	3	4 1/2" IF P	4 1/2" IF B

Tableau II.1 : BHA de 26".^[8]

5.1.2. PHASE 16" de 482 m à 2318 m TVD :

Forage en 16" jusqu'à reconnaissance de l'horizon H du LIAS.

Effectuer une mesure de déviation (l'INCLINOMETRE A TOTCO) dans chaque remontée d'outil et apporter une correction à toute déviation.

Le tubage 13" 3/8 sera posé au fond et cimenté jusqu' en surface.

Element	Pcs	Pipe		Corrected weight	Tool Joint			
		OD	ID		OD	ID	Connection	
		[in]	[in]				Bottom	Top
		[in]	[in]		[ppf]	[in]	[in]	
16" PDC bit	1	16						7 5/8 REG P
15 15/16" Near Bit Stabilizer w/ Totco ring	1	15 5/8	3	217	9 1/2	3	7 5/8 REG B	7 5/8 REG B
9 1/2" Pony DC	1	9 1/2	3	217	9 1/2	3	7 5/8 REG P	7 5/8 REG B
15 15/16" Stabilizer	1	15 5/8	3	315	9 1/2	3	7 5/8 REG P	7 5/8 REG B
9 1/2" DC	1	9 1/2	3	217	9 1/2	3	7 5/8 REG P	7 5/8 REG B
15 15/16" Stabilizer	1	15 5/8	3	315	9 1/2	3	7 5/8 REG P	7 5/8 REG B
9 1/2" DC	2	9 1/2	3	217	9 1/2	3	7 5/8 REG P	7 5/8 REG B
Xover	1	9 1/2	3	217	9 1/2	3	7 5/8 REG P	7 5/8 REG B
8" DC	9	8	2 13/16	147	8	2.813	6 5/8 REG P	6 5/8 REG B
8" Jar	1	8	2 13/16	147	8	2.813	6 5/8 REG P	6 5/8 REG B
8" DC	2	8	2 13/16	147	8	2.813	6 5/8 REG P	6 5/8 REG B
Xover	1	8	2 13/16	147	8	2.813	6 5/8 REG P	5 1/2" FH B
HWDP	12	5	3	50	6 1/2	3	4 1/2" IF P	4 1/2" IF B

Tableau II.2 : BHA de 16".^[8]

5.1.3. PHASE 12 ¼ de 2318 m à 2416 m TVD :

Forage en 12'' ¼ jusqu'à pénétration du Lias Argileux de 33 mètres

Effectuer une mesure de déviation (l'INCLINOMETRE A TOTCO) dans chaque remontée d'outil et apporter une correction à toute déviation.

Le tubage 9" 5/8 sera pose au fond et cimenté jusqu'à 2118 m de manière à Couvrir tout le Lias.

Element	Pcs	Pipe		Corrected weight	Tool Joint				
		OD	ID		OD	ID	Connection		
		[in]	[in]				[ppf]	[in]	[in]
12 1/4" PDC bit	1	12 1/4							6 5/8 REG P
12 3/16" NB Stab-w/ float valve & Totco	1	12 3/16"	3	217	9 1/2	3	6 5/8 REG B	7 5/8 REG B	
9 1/2" Short DC	1	9 1/2	3	217	9 1/2	3	7 5/8 REG P	7 5/8 REG B	
12 3/16" Stabilizer	1	12 3/16"	3	315	9 1/2	3	7 5/8 REG P	7 5/8 REG B	
9 1/2" DC	1	9 1/2	3	217	9 1/2	3	7 5/8 REG P	7 5/8 REG B	
12 3/16" Stabilizer	1	12 3/16"	3	315	9 1/2	3	7 5/8 REG P	7 5/8 REG B	
9 1/2" DC	1	9 1/2	3	217	9 1/2	3	7 5/8 REG P	7 5/8 REG B	
Xover	1	9 1/2	3	217	9 1/2	3	7 5/8 REG P	6 5/8 REG B	
8" DC	9	8	2 13/16	147	8	2.813	6 5/8 REG P	6 5/8 REG B	
8" Jar	1	8	2 13/16	147	8	2.813	6 5/8 REG P	6 5/8 REG B	
8" DC	2	8	2 13/16	147	8	2.813	6 5/8 REG P	6 5/8 REG B	
Xover	1	8	2 13/16	147	8	2.813	6 5/8 REG P	5 1/2" FH B	
HWDP	12	5	3	50	6 1/2	3	4 1/2" IF P	4 1/2" IF B	

Tableau II.3 : BHA de 12" ¼.^[8]

5.1.4. PHASE 8" ½ de 2416 m TVD à 2950 m TVD .

Forage en 8"1/2 jusqu'au KOP soit à 2950 m TVD **dans le Silurien Argileux**

Avec: (moteur de fond et MWD ou BHA Rotary). Une grande déviation a été expérimentée à l'intervalle de LiasArgileux de 2416 à 2950m KOP à partir des données des puits voisins. La correction de cette déviation nécessite un moteur de fond équipé d'un MWD

Element	Pcs	Pipe		Corrected weight	Tool Joint			
		OD	ID		OD	ID	Connection	
							Bottom	Top
		[in]	[in]		[in]	[in]		
8 1/2" PDC bit	1	8 1/2						4 1/2 REG P
Medium Speed Mud Motor	1	6 1/2	4,437	69,29	6 2 1/4	4,437	4 1/2 REG B	4 1/2 IF B
6 1/2" NM Pony DC	1	6 3/4	2,875	106,8	6 2 1/4	2,875	4 1/2 IF P	4 1/2 IF B
MWD	1	6 3/4	3,125	95,82	6 2 1/4	3,125	4 1/2 IF P	4 1/2 IF B
NM Screen Sub	1	6 3/4	2,875	99,83	6 2 1/4	2,875	4 1/2 IF P	4 1/2 IF B
Float Sub	1	6 3/4	2,75	101,71	6 2 1/4	2,75	4 1/2 IF P	4 1/2 IF B
Circulation sub	1	6 1/2	2,25	92,5	6 2 1/4	2,25	4 1/2 IF P	4 1/2 IF B
Xover	1	6 1/2	2,25	92,5	6 2 1/4	2,25	4 1/2 IF P	4 IF B
6 1/2" DC	15	6 1/2	2,813	92,5	6 1 1/2	2,813	4 IF P	4 IF B
6 1/2" Jar	1	6 1/2	2,75	94,08	6 1 1/2	2,75	4 IF P	4 IF B
6 1/2" DC	2	6 1/2	2,25	92,5	6 1 1/2	2,25	4 IF P	4 IF B
Xover	1	6 1/2	2,25	84,1	6 2 1/4	2,25	4 IF P	4 1/2 IF B
HWDP	12	5	3	50	6 1 1/2	3	4 1/2" IF P	4 1/2" IF B

Tableau II.4: BHA de 8"½ de 2416 à 2950 m MD.^[8]

5.2.La phase de montée :

5.2.1. PHASE 8" ½ de 2950 m TVD à 3376 m TVD .

Le KOP est prévu à 2950 m TVD dans le Silurien Argileux.

L'azimut de direction sera fixe : Nord 52°

L'inclinaison varie de 0° (2950 m TVD) à 56° (3454 m MD) suivant

X	Y	MD	TVD	Z	INCL	AZIM	DX	DY	Calc DLS
283056.07	3275824.29	0.00	0.00	270.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
283056.07	3275824.29	2950.00	2950.00	-2680.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
283062.24	3275829.11	3040.00	3039.54	-2769.54	10.00	52.00	6.17	4.82	3.33
283080.58	3275843.43	3130.00	3126.37	-2856.37	20.00	52.00	24.51	19.15	3.33
283110.51	3275866.82	3220.00	3207.83	-2937.83	30.00	52.00	54.44	42.53	3.33
283151.14	3275898.56	3310.00	3281.46	-3011.46	40.00	52.00	95.07	74.27	3.33
283201.22	3275937.69	3400.00	3345.02	-3075.02	50.00	52.00	145.15	113.41	3.33
283236.04	3275964.89	3454.00	3375.95	-3105.95	56.00	52.00	179.97	140.60	3.33
Partie réservoir : Trajectoire exigée									

Tableau II.5 : Evolution d'inclinaisons et d'azimut de 2950 m à 3454 m MD.^[8]

OD (in)	TOOL TYPE	JTS No	LENGTH (m)
3.500	HW	8	74.32
4.750	JAR	1	9.00
3.500	HW	27	252.29
3.500	DP	66	621.27
4.750	DUS	1	0.85
4.750	NDC	1	9.18
4.750	PUS	1	10.31
4.750	NPC	1	2.36
5.000	PDM	1	9.29
6.000	ND	1	0.25

Tableau II.6 : BHA 8 ½ de 2950 m à 3454 m MD.^[8]

Le Casing 7" sera posé au fond (3454 m MD), à partir de la surface et cimenté

Jusqu'à 2316 m, soit environ 200 m au-dessus du sabot 9" 5/8.

Forage de début gradient de monté en 8"1/2 de 2950m en Haut de Grès de Ouargla à 3454m MD / 3375m TVD, avec (moteur de fond et MWD,avec enregistrement Gamma ay)

5.2.2. PHASE 6"de 3376 m à 3450 m TVD:

Forage en MWD avec moteur de fond de 3454 m à 3630 m MD avec une inclinaison variable de 56° à 75° et un Azimut N52°, suivant le tableau 8:

X	Y	MD	TVD	Z	INCL	AZIM	DX	DY	Calc DLS
283236.04	3275964.89	3454.00	3375.95	-3105.95	56.00	52.00	179.97	140.60	3.33
283259.24	3275983.02	3490.00	3396.58	-3126.58	60.00	52.00	203.17	158.74	3.33
283323.44	3276033.18	3580.00	3434.56	-3164.56	70.00	52.00	267.37	208.89	3.33
283361.00	3276062.53	3630.00	3449.59	-3179.59	75.00	52.00	304.93	238.24	3.00
Partie réservoir : Trajectoire exigée									

Tableau II.7 : Projections numérique de trajectoire du drain de phase montée 6 ".^[8]

OD (in)	TOOL TYPE	JTS No	LENGTH (m)
3.500	HW	8	74.00
4.750	JAR	1	9.00
3.500	HW	27	252.00
3.500	DP	66	621.00
4.750	DUS	1	0.85
4.750	NDC	1	9.00
4.750	PUS	1	10.00
4.750	NPC	1	2.00
4.750	FS	1	0.52
5.000	PDM	1	9.29
6.000	ND	1	0.34

Tableau II.8 : BHA de 6".^[8]

5.3. Phase rectiligne

5.3.1. Phase 6 " : de 3450 m à 3612 m TVD

Forage en MWD avec moteur de fond de 3630 m à 4260 m MD avec une inclinaison Fixe de 75° et un Azimut N52°, suivant le tableau ci-dessous :

X	Y	MD	TVD	Z	INCL	AZIM	DX	DY	Calc DLS
283361.00	3276062.53	3630.00	3449.59	-3179.59	75.00	52.00	304.93	238.24	3.00
283840.54	3276437.18	4260.00	3612.65	-3342.65	75.00	52.00	784.46	612.89	0.00
Partie réservoir : Trajectoire exigée									

Tableau II.9 : Projections numérique de trajectoire du drain de phase rectiligne 6 ".^[8]

1. Le suivi, contrôle et interprétation de trajectoire:

Dans le but d'estimer la déviation de la trajectoire réelle du puits on fait une comparaison entre les calculs de la trajectoire théorique (Xt, Ht, Yt et Zt) et les calculs de la trajectoire réelle (Xm, Hm, Ym et Zm) comme suit :

N.B : dans les figures de projection graphique ci-dessous le profil théorique est vert le profil réel est rouge.

En cas d'erreur d'inclinaison

➤ Si la trajectoire réelle a dessus de la trajectoire théorique :

On calcule $\Delta H = H_m - H_t$ entre deux point ayant la même profondeur verticale Z

➤ Si la trajectoire réelle a dessous de la trajectoire théorique :

On calcule $\Delta Z = Z_t - Z_m$ entre deux point ayant le même déport H

En cas d'erreur a azimuth :

On calcule $\Delta X = X_t - X_m$ et $\Delta Y = Y_t - Y_m$

Et dans le but de déterminer les facteurs qui affectent la déviation de la trajectoire réelle du puits on suivre de la prévision stratigraphique du puits afin de connaitre la nature de la formation traverse, et on suivre de tous les problèmes rencontre lors du forage de la partie dévié de la trajectoire

La Position du puits par rapport au nord système = 52°

A 2413 m MD : la 1^{ère} mesure prise par le MWD

- I = 2.29°

- A= 64.91°

1.1. La phase verticale (2416 m à 2950m MD) :

Forage en 8"1/2 jusqu'au KOP = 2950 m MD, dans le Silurien Argileux

On mode rotary, Haute déviation a été expérimentée à l'intervalle de LiasArgileux de 2416 à 2950m MD KOP à partir de données des puits voisin

❖ Projection numérique :

MDm(m)	Im(°)	Am(°)	TVDm(m)
2800.04	0.88	75.54	2799.94
2903.03	1.26	41.68	2902.91

Tableau III.1 : Projection numérique de la phase verticale (de2416 m à 2950m MD).

(voir annexe)

❖ Projection graphique :

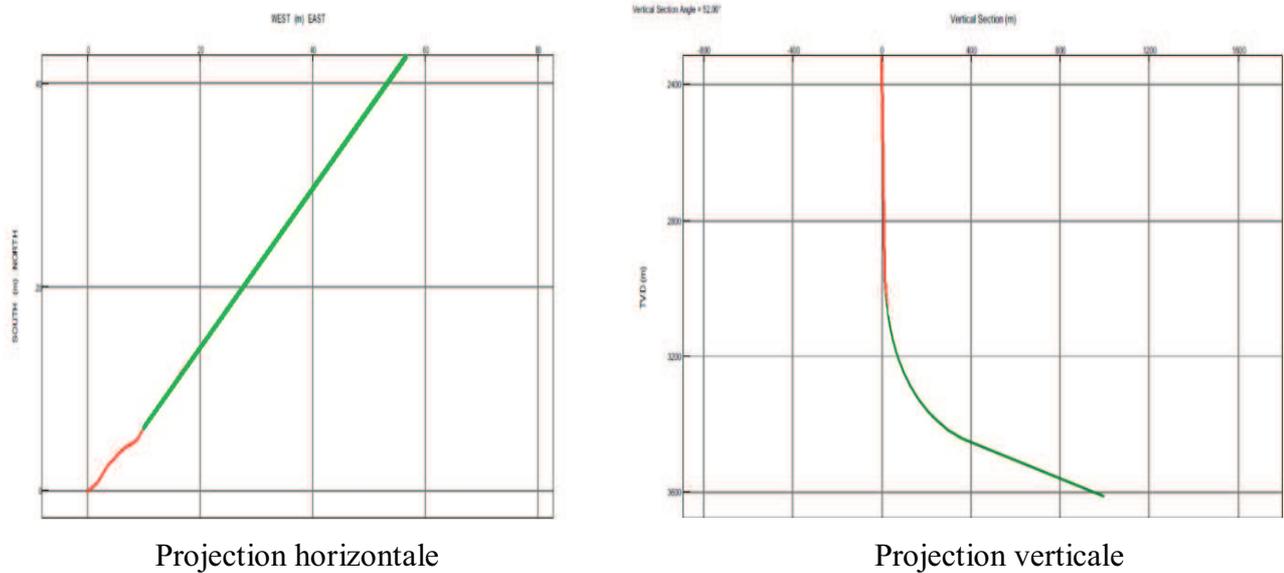


Figure III.1: Projection graphique de la phase verticale (de 2416 m à 2950 m MD) .^[8]

➤ On remarque à partir du tableau III.1 et figure III.1 que :

- ✓ $I_m = I_t$
- ✓ Une déviation entre A_t et A_m à cause de l'utilisation du mode rotary

1.2. La phase de montée (2950 m à 3620,14 m MD) :

1.2.1. L'intervalle 01 : 2950 m à 2970m MD - mode sliding

❖ Projection numérique :

TVDm(m)	$I_m(^{\circ})$	$I_t(^{\circ})$	$A_m(^{\circ})$	$A_t (^{\circ})$	Hm(m)	Ht (m)	$\Delta H(m)$
2969,78	5,93	3,29	50,60	50,07	13,60	12,86	0,744

Tableau III.2 : Projection numérique de la phase de montée de l'intervalle 01 (de 2950 m à 2970m MD). (voir annexe)

❖ Projection graphique :

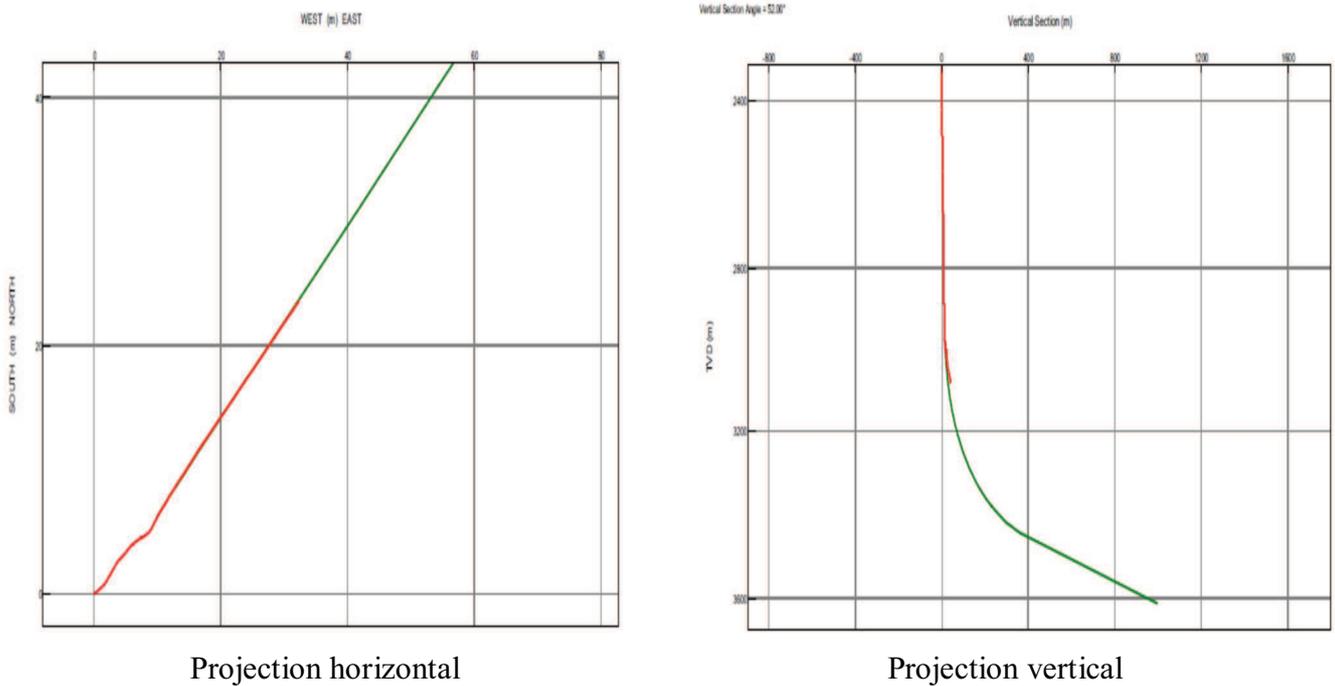


Figure III.2: Projection graphique de la phase de montée de l'intervalle 01 (de 2950m à 2970m MD) .^[8]

- Le tableau III.2 et la figure III.2 nous montre :
 - ✓ Am a été corrigé ;
 - ✓ $I_m > I_t$;
 - ✓ Une déviation importante $\rightarrow H_m > H_t$; dont : $\Delta h = 0,744m$
- La cause d'erreur d'inclinaison:

La distance entre l'MWD et l'outil qui égale à 16,42 m, a créé une marge d'erreur dite aléatoire, c-à-dire une mesure retardée de 16,42m après l'outil

1.2.2. L'intervalle 02: 2970m à 3017 m MD- sliding > rotary (voir l'annexe)

la déviation précédente doit être diminuée, en rectifiant le gradient de montée ($\approx 0,135^\circ/m$) et utilisant les deux modes sliding et rotary, dont : sliding > rotary

sliding > rotary : la longueur forée par mode sliding supérieure à la longueur forée par mode rotary

❖ Projection numérique ^[8] :

TVDm(m)	I_m (°)	I_t (°)	A_m (°)	A_t (°)	H_m (m)	H_t (m)	ΔH (m)
2985,79	8,55	4,80	50,57	51,12	15,59	14,12	1,47
3015,15	12,57	6,98	52,18	51,82	21,09	16,91	4,17

Tableau III.3 : Projection numérique de la phase de montée de l'intervalle 02 (de 2970m à 3017m MD) .(voir annexe)

- Cette rectification implique :
 - ✓ Am est constant
 - ✓ Accroissement de la déviation du profil réel par rapport de profil théorique ($\approx 58\%$), $Im(3015,15m)=12,57^\circ$
 - ✓ Le profil réel est loin du profil théorique par $\Delta h= 4,17m$
 - ✓ Malgré la diminution de déviation, la variation du H augmente encore sous l'effet de la déviation d'inclinaison à 2969,78m TVD

1.2.3. L'intervalle 03: 3017m à 3057m MD- mode sliding <rotary

la déviation doit être encore de diminuer , en utilisant un gradient de montée = $0,093^\circ/m$ par rapport à l'intervalle précédent, en jumelant toujours entre les deux modes sliding et rotary, mais cette fois le sliding <rotary.

sliding <rotary : la longueur forée par mode rotary est supérieure à la longueur forée par mode sliding

❖ Projection numérique :

TVDm(m)	Im(°)	It (°)	Am(°)	At(°)	Hm (m)	Ht (m)	$\Delta H(m)$
3024,91	13,52	7,78	53,13	51,96	23,35	18,24	5,10
3053,88	16,32	10,16	52,96	52,26	31,07	22,78	8,29

Tableau III.4:Projection numérique de la phase de montée de l'intervalle 03 (de 3017m à 3057m MD). (Voir l'annexe)

- L'application de ce régime implique :
 - ✓ Am est toujours constant
 - ✓ Décroissement de la déviation ($\approx 27\%$) par rapport à la déviation précédente, $Im_3=16,32^\circ$
 - ✓ à 3053,88m de TVD, le profil réel est encore loin de celui théorique par $\Delta h=8,29m$
 - ✓ Malgré la diminution du gradient de montée, toujours la variation du Δh augmente

1.2.4. L'intervalle 04 :3057m à 3201m MD – mode rotary (voir l'annexe)

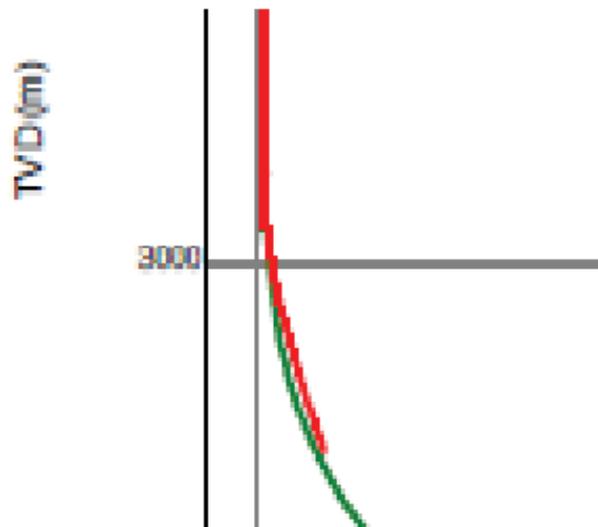
Le gradient de montée est éliminé, en utilisant le mode rotary

❖ Projection numérique :

TVDm (m)	Im (°)	It (°)	Am(°)	At(°)	Hm (m)	Ht (m)	$\Delta H (m)$
3101,57	18,38	14,00	52,78	52,50	46,09	32,61	13,48
3158,20	20,60	21,45	52,36	52,04	66,00	51,23	14,77
3195,52	22,27	26,43	51,53	51,87	80,40	67,80	12,60

Tableau III.5:Projection numérique de la phase de montée de l'intervalle 04 (de 3057m à 3201m MD) (Voir l'annexe)

❖ Projection graphique :



Projection verticale

Figure III.3: Projection graphique de la phase de montée de l'intervalle 04 (de 3057 m à 3201 m MD) .^[8]

- ✓ Am est toujours constant
- ✓ Une légère augmentation d'inclinaison (gradient de montée $\approx 0,03^\circ/m$), due à l'utilisation du mode sliding pour prendre des mesures
- ✓ $Im_4 = 22,27^\circ$, inférieure à It
- ✓ Δh a tenu sa valeur maximale 14,77m à 3158,20m TVD, puis elle a dégradé jusqu'à 12,60m à 3195,51m TVD

1.2.5. L'intervalle 05 : 3201m à 3336,50 m MD- mode sliding-rotary (voir l'annexe)

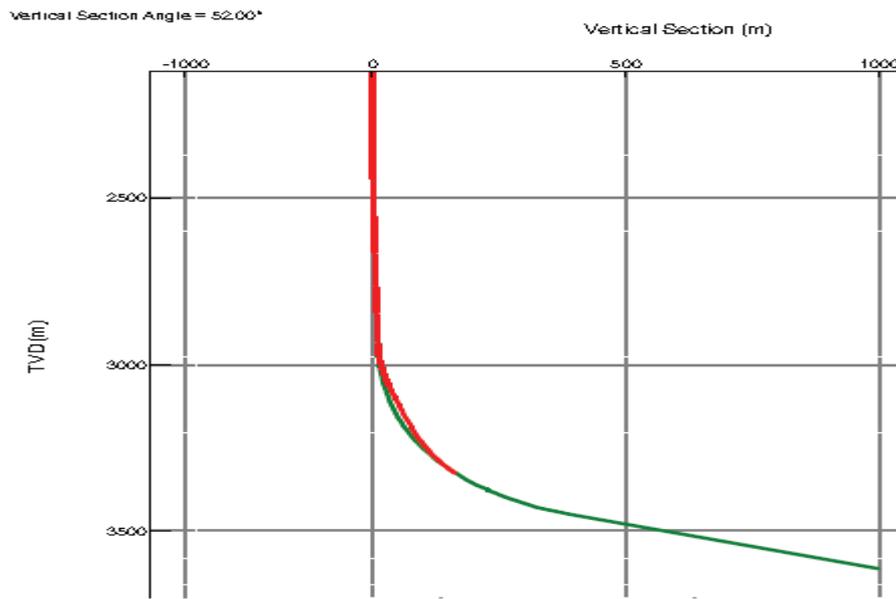
Pour rejoindre la trajectoire théorique avec la même inclinaison à celle théorique, le long de 135,5 m, tout en gardant un gradient de montée constant égale à $1,36^\circ/10m$, les deux modes : sliding (56,67% de cette longueur) et rotary (43,33%), ont eu lieu

❖ Projection numérique :

TVDm (m)	Im (°)	It (°)	Am (°)	At(°)	Hm (m)	Ht (m)	$\Delta H(m)$
3232,31	27,13	31,55	52,84	51,72	97,26	88,19	9,07
3266,94	31,20	36,64	54,72	51,63	116,64	111,63	5,01
3299,66	38,31	41,80	52,84	51,59	139,61	138,33	1,28

Tableau III.6 :Projection numérique de la phase de montée de l'intervalle 05 (de 3201m à 3336,50 m MD) (voir l'annexe)

❖ Projection graphique :



Projection verticale

Figure III.4 : Projection graphique de la phase de montée de l'intervalle 05 (de 3201m à 3336,50 m MD) .^[8]

➤ Cette approche implique :

- ✓ Am constant
- ✓ décalage d'inclinaison réelle par rapport à celle théorique ($Im5=40,83^\circ > It=44,24^\circ$).
- ✓ Δh tend vers le zéro

La descente de la trajectoire réelle au-dessous de la trajectoire théorique est suite à l'apparition d'un dogleg non souhaité

1.2.6. L'intervalle 06 : 3336,50 m à 3620,14m MD-mode sliding (voir l'annexe)

La formation d'un dogleg non souhaité a causé la déviation de l'azimut. Donc il doit être réglé, en orientant le raccord coudé en mode sliding

❖ Projection numérique :

Hm(m)	Im (°)	It (°)	Am(°)	At(°)	TVDm(m)	TVDt(m)	Δ TVD (m)
156,25	41,13	44,98	51,83	51,52	3319,29	3318,58	-0,70
200,45	50,09	53,06	53,23	51,44	3362,05	3357,59	-4,45
281,33	65,72	62,74	56,81	51,64	3408,98	3415,73	-6,75
377,77	73,79	74,34	50,82	51,02	3448.10	3447,29	-0,81

Tableau III.7 : Projection numérique de La phase montée de l'intervalle 06 (de 3336,50 m à 3620,14m MD). (Voir annexe)

❖ Projection graphique :

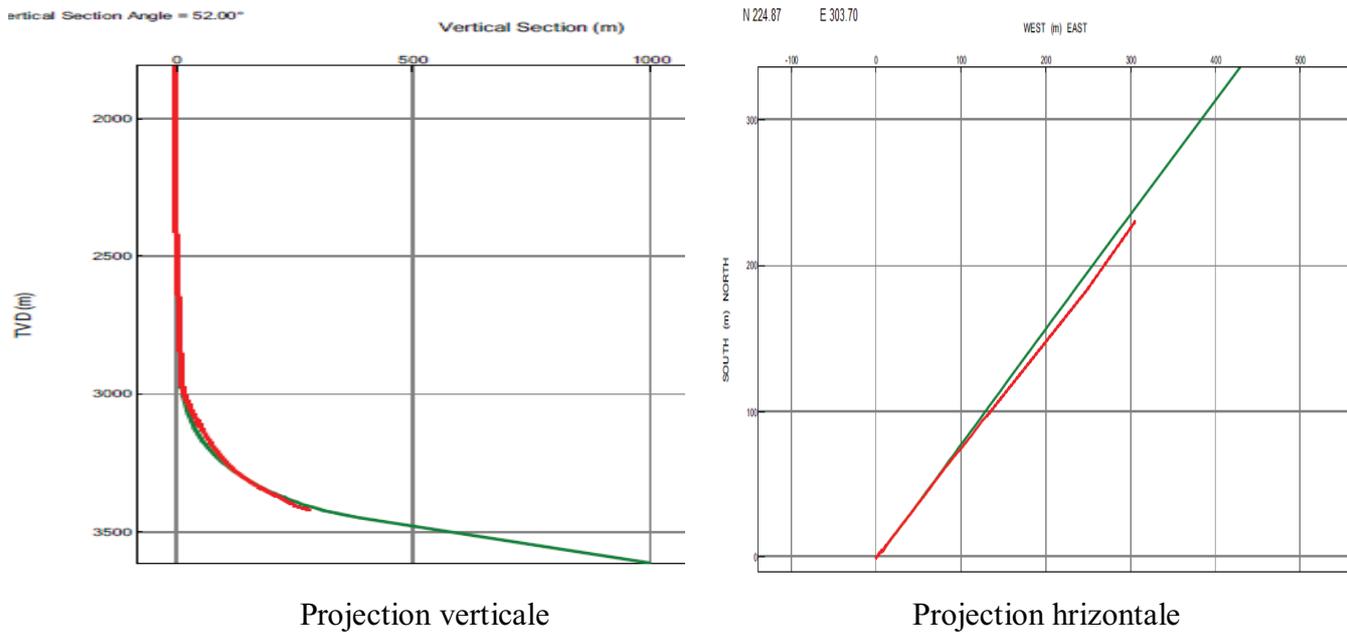


Figure III.5 : Projection graphique de La phase montée de l'intervalle 06 (de 3336,50 m à 3620,14m MD).^[8]

- ✓ Une déviation de l'azimut depuis 3413.5m jusqu'à 3500,09m MD, égale à +4,98°
- ✓ $Im_6 \approx It$ aux environs de 3620,14m MD
- ✓ ΔZ atteint son maximum (7,21m) à 3411m MD, puis elle s'est dégradée progressivement, en s'annulant à 3620,14m MD, où s'appliquent les deux profils réel et théorique
- ✓ L'utilisation du mode rotary lors de cette intervalle était pour empêcher le collage de la garniture de forage, phénomène apparu en traversant la formation argileuse d'Azzel

Conclusion : le RNSEZ-106 est réalisé par le forage de navigation, vu que le moteur de fond utilisé est équipé par un raccord coudé incorporé .

Le jumelage entre le sliding et le rotary était pour rattraper l'écartement de la trajectoire réelle par rapport à la trajectoire théorique , dont le pourcentage de chacun est définis selon l'erreur de réalisation : la déférence entre les deux déports ou les deux cotes.

A la sortie de la phase montée (le point EOB) , la trajectoire réelle a pu rejoindre la trajectoire théorique en inclinaison, mais la formation d' un dogleg non souhaité a causé à nouveaux l'écartement de la trajectoire réelle en azimut .

1.3. La phase rectiligne : 3620,14 m à 4110 m MD

Forage en 6" de 3620 m à 4260 m MD en mode rotary, afin de garder une inclinaison constante de 75° et un Azimut constant de N52°, l'utilisation du mode sliding sera pour contrôler l'azimut et prendre les mesures nécessaires en permanence.

1.3.1. L'intervalle 01 :3620,14 m à 3836,07 m MD- mode rotary (voir l'annexe)

L'azimut est réglé par l'orientation de raccord coudé en mode sliding

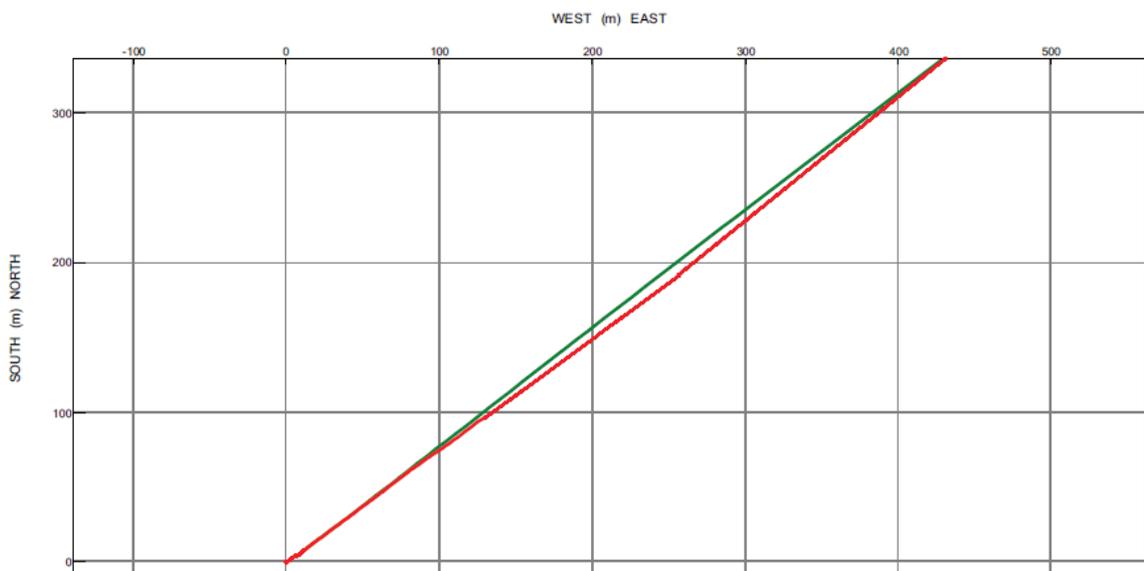
✓ Im est constante

❖ Projection numérique :

H(m)	Im(°)	Am(°)	Yt(m)	Ym(m)	ΔY	Xt(m)	Xm(m)	ΔX
395.953	74,49	50,83	244.38	236.00	8,38	311.54	317.42	5,88
432.459	75,15	50,08	266.86	259.36	7,5	340.30	345.82	5,52
468.394	74,48	50,39	289.00	283.06	5,94	368.61	373.98	5,37
573.915	75,08	47,92	354.00	352.08	1,90	451.73	453.23	1,5

Tableau III.8 : Projection numérique de la phase rectiligne de l'intervalle 01 (de 3620,14 m à 3836,07 m MD) (Voir l'annexe)

❖ Projection graphique :



Projection horizontale

Figure III.6: Projection graphique de la phase rectiligne de l'intervalle 01

(de 3620,14 m à 3836,07 m MD) .^[8]

1.3.2. L'intervalle 02 :3836,07m à 4110m MD-mode rotary (voir l'annexe)

Les deux profils réel et théorique ce convergent, en respectant les limites théoriques de la trajectoire du drain le long de l'intervalle restant

❖ Projection numérique :

H(m)	Im(°)	Am(°)	Ym(m)	Yt(m)	ΔY(m)	Xm(m)	Xt(m)	ΔX(m)
602.90	74,98	51,01	371.22	371.86	-0.642	475.05	474.57	0.48
622.22	75,60	52,97	383.07	383.76	-0.695	490.32	489.79	0.53
658.28	74,08	53,62	404.78	405.98	-1.200	519.12	518.19	0.93
677.18	75,01	51,94	416.19	417.62	-1.430	534.19	533.08	1.11
711.75	75,16	51,93	437.58	438.71	-1.130	561.35	560.05	1.30
756.75	75,79	51,21	465.48	466.63	-1.153	596.66	595.75	0.91
858.29	75,34	50,80	528.85	529.18	-0.334	676.00	675.73	0.26

Tableau III.9 : Projection numérique de la phase rectiligne de l'intervalle 02 (de 3836,07m à 4110m MD) (Voir l'annexe)

➤ Projection graphique :

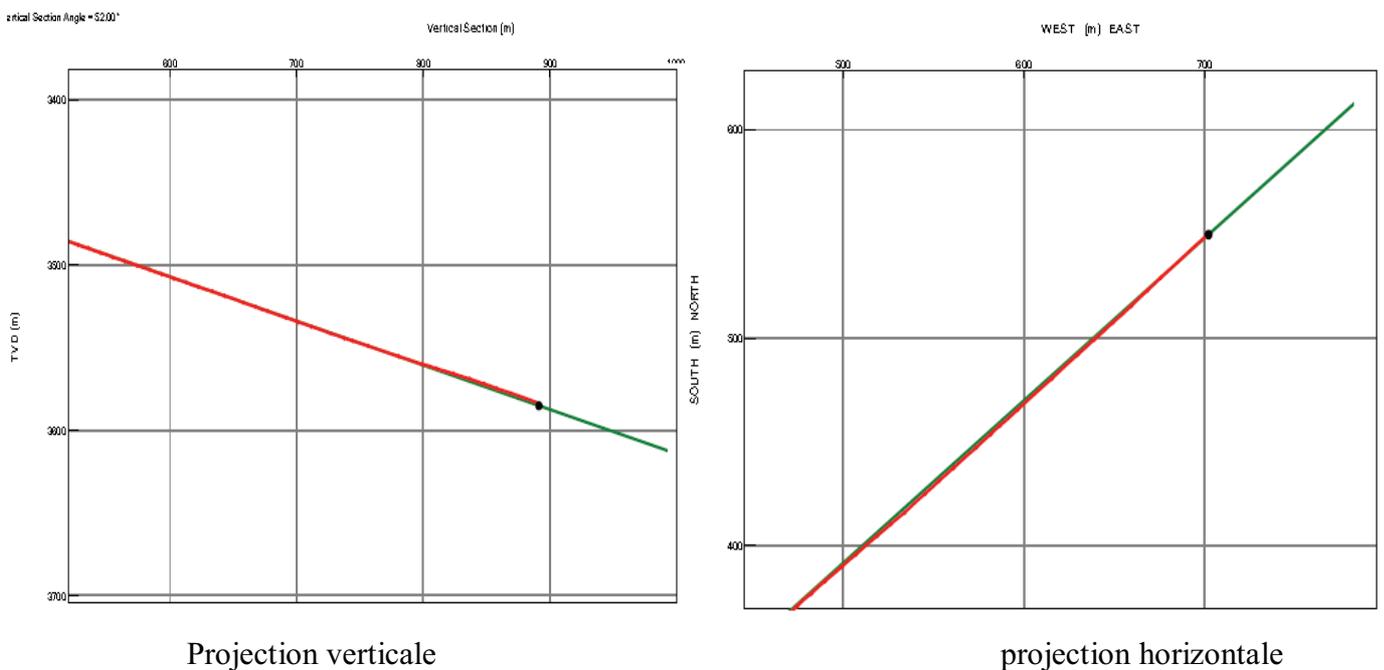


Figure III.7 : Projection graphique de la phase rectiligne de l'intervalle 02 (de3836,07 m à 4110 m MD) .^[8]

Conclusion Générale

L'interprétation de la réalisation de RNSEZ-106, en utilisant l'instrument de mesure MWD et le modèle d'incertitudes de positionnement des puits ISCWSA, en particulier les tentatives de rejoindre à nouveau le profil théorique, à partir des points écartés en inclinaison puis en azimut, ou les deux en même temps, cas de formation d'un dogleg non souhaité, nous a conduit à engendrer les remarques suivantes :

La cause importante des décalages du profil réel était la distance entre l'outil de forage et le MWD dans le train de tige (plus de 15 m), ce qui retarde l'information et réduit la valeur de l'instrument.

Le jumelage entre le sliding et le rotary était pour rattraper l'écartement de la trajectoire réelle par rapport à la trajectoire théorique, dont le pourcentage de chacun est défini selon l'erreur de réalisation :

- En inclinaison : la différence entre les deux déports ou les deux cotes.
- En azimut : la différence entre les deux longitudes et les deux latitudes.

Un puits en J ne nécessite pas forcément un forage de navigation .

Un contrôle rigoureux de la trajectoire est indispensable pour ne pas rater l'objectif, ou pour ramener les corrections nécessaires d'azimut et d'inclinaison à temps, plus le choix de la méthode de calcul de la trajectoire et son modèle d'incertitude en première étape .

Pour compléter ce travail et enrichir la recherche dans ce domaine, on recommande l'interprétation de la réalisation et les fautes de déviation d'autres types des puits déviés, en utilisant d'autres instruments de mesure

Références bibliographie

- [1] Jean-Paul Szezuka, Forage dirigé Ingénierie et méthodes, ENSPM, Juin 2005, Edition 3.3
- [2] M.Jean Peuvedic ,réalisation des forages dirigés et contrôle des trajectoires, Société Nationale Elf Aquitaine (production),1985,Edition Technip-paris.
- [3] Régis STUDER, Incertitude de Positionnement Puits Wolff & DeWardt et ISCWSA, TOTAL, septembre 2005
- [4] D&M Learning Centers, Direction and Inclination Module 2 – Survey Theory, schlumberger , 4décembre 2008
- [5] T.A.Inglis, Directional drilling(volume2), petroleum engineering and development studies, 1987
- [6] Technical Communications Group, Baker Hughes INTEQ's Guide To Measurement While Drilling, Baker Hughes INTEQ, September 1997, Edition 1997 Baker Hughes INTEQ
- [7] D&M Learning Centers ,SlimPulse Introduction, schlumberger , 4décembre 2008
- [8]Documentation SH-DF

La Date de rapport:	March 17, 2013 - 11:32 AM	La méthode de calcul :	courbure minium
Champ:	Rhoud Nouss	La Section verticale d'Azimut:	52.000 ° (Nord système)
Puits:	RNSEz-106	L'Origine de la Section Vertical:	0.000 m, 0.000 m
Tort / AHD / DDI / ERD Ratio:	81.490 ° / 995.630 m / 5.496 / 0.276	La Déclinaison Magnétique:	0.966 °
La référence de système des coordonnées :	UTM Zone 32 on Nord Sahara, Clark80	L' Angle de Magnetic Dip:	40.440 °
Location Lat / Long:	N 29° 35' 44.49139", E 6° 45' 36.16617"	October 22, 2012	
Location Grid N/E Y/X:	N 3275824.286 m, E 283056.071 m	Le Model de Declination Magnetic:	BGGM 2012
L' Angle Convergence:	-1.1067 °	Nord Reference:	Nord système
La Reference de TVD Elevation:	270.000 m above MSL	Total Corr Mag North->Grid North:	2.0725 °
Niveau de mer / élévation du terrain	260.380 m above MSL	Declination Date:	22 Octobre 2012

Comments	MD (m)	It (°)	At (°)	TVDt (m)	Ht (m)	Yt (m)	Xt (m)	DLS (°/30m)
Marker MudLine	9,62	0,00	52,00	9,62	0,00	0,00	0,00	0,00
Tie in pt	2929,19	1,53	44,27	2929,06	11,38	6,02	9,74	N/A
	2930,00	1,54	44,39	2929,87	11,40	6,04	9,75	0,23
	2940,00	1,60	45,75	2939,87	11,67	6,23	9,95	0,23
Projection to	2950,00	1,67	47,00	2949,86	11,96	6,43	10,16	0,23
	2960,00	2,48	49,04	2959,86	12,32	6,67	10,42	2,44
	2970,00	3,29	50,07	2969,84	12,82	6,99	10,81	2,44
	2980,00	4,10	50,70	2979,82	13,47	7,40	11,31	2,44
	2990,00	4,91	51,12	2989,79	14,25	7,90	11,92	2,44
	3000,00	5,73	51,42	2999,75	15,18	8,48	12,64	2,44
	3010,00	6,54	51,65	3009,69	16,25	9,14	13,48	2,44
	3020,00	7,35	51,82	3019,62	17,46	9,89	14,42	2,44
	3030,00	8,16	51,96	3029,53	18,81	10,72	15,49	2,44
	3040,00	8,98	52,08	3039,41	20,30	11,64	16,66	2,44
	3050,00	9,79	52,18	3049,28	21,93	12,64	17,95	2,44
	3060,00	10,60	52,26	3059,12	23,70	13,73	19,35	2,44
	3070,00	11,41	52,33	3068,94	25,61	14,89	20,86	2,44
	3080,00	12,23	52,39	3078,73	27,65	16,14	22,48	2,44
	3090,00	13,04	52,44	3088,48	29,84	17,48	24,21	2,44
	3100,00	13,85	52,49	3098,21	32,16	18,89	26,06	2,44
	3101,84	14,00	52,50	3100,00	32,61	19,16	26,41	2,44
	3110,00	14,99	52,41	3107,90	34,65	20,41	28,03	3,66
	3120,00	16,21	52,31	3117,53	37,34	22,05	30,16	3,66
	3130,00	17,43	52,23	3127,10	40,23	23,82	32,45	3,66
	3140,00	18,65	52,16	3136,61	43,33	25,72	34,89	3,66
	3150,00	19,87	52,10	3146,05	46,63	27,75	37,50	3,66

3160,00	21,09	52,04	3155,42	50,13	29,90	40,25	3,66
3170,00	22,30	51,99	3164,71	53,82	32,17	43,17	3,66
3180,00	23,52	51,94	3173,92	57,72	34,57	46,23	3,66
3190,00	24,74	51,90	3183,04	61,81	37,09	49,45	3,66
3200,00	25,96	51,87	3192,08	66,09	39,73	52,82	3,66
3210,00	27,18	51,83	3201,02	70,56	42,50	56,34	3,66
3220,00	28,40	51,80	3209,87	75,22	45,38	60,00	3,66
3230,00	29,62	51,77	3218,62	80,07	48,38	63,81	3,66
3240,00	30,83	51,74	3227,26	85,10	51,49	67,77	3,66
3250,00	32,05	51,72	3235,79	90,32	54,73	71,86	3,66
3260,00	33,27	51,69	3244,21	95,72	58,07	76,10	3,66
3270,00	34,49	51,67	3252,51	101,29	61,53	80,47	3,66
3280,00	35,71	51,65	3260,69	107,04	65,09	84,98	3,66
3290,00	36,93	51,63	3268,75	112,96	68,77	89,63	3,66
3300,00	38,15	51,61	3276,68	119,06	72,55	94,40	3,66
3310,00	39,36	51,59	3284,47	125,32	76,44	99,31	3,66
3320,00	40,58	51,58	3292,14	131,74	80,43	104,34	3,66
3330,00	41,80	51,56	3299,66	138,33	84,52	109,50	3,66
3340,00	43,02	51,55	3307,05	145,07	88,72	114,78	3,66
3350,00	44,24	51,53	3314,28	151,97	93,01	120,19	3,66
3360,00	45,46	51,52	3321,37	159,02	97,40	125,71	3,66
3370,00	46,68	51,51	3328,31	166,22	101,88	131,34	3,66
3380,00	47,90	51,49	3335,09	173,57	106,45	137,09	3,66
3390,00	49,11	51,48	3341,72	181,06	111,12	142,95	3,66
3400,00	50,33	51,47	3348,18	188,69	115,87	148,92	3,66
3410,00	51,55	51,46	3354,49	196,45	120,71	155,00	3,66
3420,00	52,77	51,45	3360,62	204,35	125,63	161,17	3,66
3430,00	53,99	51,44	3366,58	212,38	130,63	167,45	3,66
3440,00	55,21	51,42	3372,38	220,53	135,71	173,82	3,66
<i>7" Liner</i>							
3446,41	55,99	51,42	3376,00	225,82	139,01	177,96	3,66
3448,20	56,21	51,42	3377,00	227,30	139,94	179,12	3,66
3450,20	56,21	51,42	3378,11	228,97	140,98	180,42	0,00
3460,00	57,26	51,45	3383,49	237,16	146,08	186,82	3,23
3470,00	58,34	51,49	3388,81	245,62	151,35	193,44	3,23
3480,00	59,41	51,53	3393,98	254,18	156,68	200,14	3,23
3490,00	60,48	51,57	3398,99	262,83	162,06	206,92	3,23
3500,00	61,56	51,60	3403,84	271,58	167,50	213,78	3,23
3510,00	62,63	51,64	3408,52	280,42	172,99	220,70	3,23
3520,00	63,71	51,67	3413,03	289,34	178,52	227,70	3,23
3530,00	64,78	51,70	3417,37	298,35	184,11	234,77	3,23
3540,00	65,86	51,74	3421,55	307,43	189,73	241,90	3,23
3550,00	66,93	51,77	3425,55	316,60	195,41	249,10	3,23
3560,00	68,01	51,80	3429,38	325,83	201,12	256,36	3,23
3570,00	69,08	51,83	3433,04	335,14	206,87	263,67	3,23

	3580,00	70,16	51,86	3436,52	344,51	212,66	271,04	3,23
	3590,00	71,23	51,90	3439,83	353,95	218,49	278,47	3,23
	3600,00	72,31	51,93	3442,96	363,45	224,35	285,94	3,23
	3610,00	73,38	51,96	3445,91	373,01	230,24	293,47	3,23
	3620,00	74,46	51,99	3448,68	382,61	236,16	301,04	3,23
LP	3625,03	75,00	52,00	3450,00	387,46	239,15	304,86	3,23
Quartzites de ra	3767,98	75,00	52,00	3487,00	525,55	324,16	413,67	0,00
Planned TD	4254,43	75,00	52,00	3612,90	995,42	613,44	783,93	0,00

Survey Type: Def Plan

Survey Error Model: ISCWSA Rev 0 *** 3-D 95.000% Confidence 2.7955 sigma
Tableau 1 : Les données théorique de puits RNSEZ-106.^[8]

Comments	MD (m)	Im (°)	Am (°)	TVDm (m)	Hm (m)	Ym (m)	Xm (m)	DLS (°/30m)
Tie-In	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	N 0.00	E 0.00	N/A
Marker	9,62	0,00	52,00	9,62	0,00	N 0.00	E 0.00	0,00
MudLine	2380,00	0,00	52,00	2380,00	0,00	N 0.00	E 0.00	0,00
1st MWD Survey	2413,00	2,29	64,91	2412,99	0,64	N 0.28	E 0.60	2,08
	2440,03	1,65	60,45	2440,01	1,55	N 0.70	E 1.42	0,73
	2455,06	1,00	50,12	2455,03	1,90	N 0.89	E 1.71	1,38
	2475,77	0,92	47,97	2475,74	2,25	N 1.12	E 1.98	0,13
	2485,00	1,03	50,02	2484,97	2,40	N 1.22	E 2.09	0,38
	2503,26	0,95	47,70	2503,22	2,72	N 1.43	E 2.33	0,15
	2517,72	1,00	48,65	2517,68	2,96	N 1.59	E 2.52	0,11
	2534,11	1,09	47,18	2534,07	3,26	N 1.79	E 2.74	0,17
	2549,00	0,96	51,52	2548,96	3,53	N 1.97	E 2.94	0,30
	2565,00	0,90	45,88	2564,95	3,79	N 2.14	E 3.13	0,21
	2588,46	1,00	50,66	2588,41	4,17	N 2.40	E 3.42	0,16
	2605,00	1,00	54,58	2604,95	4,46	N 2.57	E 3.65	0,12
	2620,00	1,03	57,59	2619,95	4,73	N 2.72	E 3.87	0,12
	2639,49	1,19	62,36	2639,43	5,10	N 2.91	E 4.20	0,28
	2661,00	1,25	61,70	2660,94	5,55	N 3.12	E 4.61	0,09
	2682,00	1,25	54,05	2681,93	6,01	N 3.37	E 4.99	0,24
	2693,00	1,23	54,58	2692,93	6,24	N 3.50	E 5.19	0,06
	2713,00	1,19	60,16	2712,93	6,66	N 3.73	E 5.54	0,19
	2726,36	1,17	61,51	2726,28	6,94	N 3.87	E 5.78	0,08
	2769,52	1,53	67,37	2769,43	7,93	N 4.30	E 6.70	0,27

2790,03	1,21	68,03	2789,94	8,40	N 4.48	E 7.15	0,47
2800,04	0,88	75,54	2799,94	8,57	N 4.54	E 7.33	1,07
2812,04	0,99	75,51	2811,94	8,75	N 4.59	E 7.52	0,28
2832,00	1,15	72,08	2831,90	9,10	N 4.70	E 7.87	0,26
2855,55	1,56	63,70	2855,44	9,63	N 4.91	E 8.39	0,58
2865,83	1,59	60,79	2865,72	9,91	N 5.04	E 8.64	0,25
2879,05	1,32	52,67	2878,93	10,24	N 5.22	E 8.92	0,77
2890,00	1,28	46,93	2889,88	10,49	N 5.38	E 9.11	0,37
2903,03	1,26	41,68	2902,91	10,78	N 5.59	E 9.31	0,27
2918,07	1,37	42,31	2917,94	11,12	N 5.85	E 9.54	0,22
2929,19	1,53	44,27	2929,06	11,40	N 6.05	E 9.73	0,45
2951,49	2,48	47,42	2951,35	12,17	N 6.59	E 10.30	1,29
2962,56	4,67	50,53	2962,39	12,86	N 7.04	E 10.82	5,96
2975,01	6,79	50,76	2974,78	14,10	N 7.83	E 11.78	5,11
2986,12	8,55	50,57	2985,79	15,59	N 8.77	E 12.93	4,75
2996,00	9,94	51,07	2995,54	17,17	N 9.77	E 14.16	4,23
3006,00	11,33	51,23	3005,37	19,02	N 10.93	E 15.60	4,17
3016,00	12,57	52,18	3015,15	21,09	N 12.21	E 17.22	3,77
3026,01	13,52	53,13	3024,91	23,35	N 13.58	E 19.02	2,92
3036,00	14,43	53,16	3034,60	25,76	N 15.03	E 20.95	2,73
3046,03	15,46	52,98	3044,29	28,35	N 16.58	E 23.02	3,08
3056,00	16,32	52,96	3053,88	31,07	N 18.23	E 25.20	2,59
3066,00	17,12	52,71	3063,46	33,95	N 19.96	E 27.49	2,41
3076,06	17,45	52,79	3073,06	36,94	N 21.77	E 29.87	0,99
3086,00	17,57	52,77	3082,54	39,93	N 23.58	E 32.25	0,36
3096,02	17,81	52,70	3092,09	42,98	N 25.43	E 34.67	0,72
3106,00	18,38	52,75	3101,57	46,07	N 27.30	E 37.14	1,71
3116,00	18,68	52,74	3111,06	49,25	N 29.23	E 39.67	0,90
3126,00	19,01	52,89	3120,52	52,48	N 31.18	E 42.24	1,00
3136,00	19,27	52,83	3129,97	55,76	N 33.16	E 44.85	0,78
3146,00	19,65	52,81	3139,40	59,09	N 35.17	E 47.51	1,14
3166,03	20,59	52,39	3158,20	65,98	N 39.36	E 52.98	1,42
3176,05	20,68	52,84	3167,58	69,51	N 41.50	E 55.79	0,55
3186,00	20,89	52,99	3176,88	73,04	N 43.63	E 58.60	0,65
3196,08	21,35	52,48	3186,29	76,67	N 45.83	E 61.50	1,47
3206,03	22,27	51,56	3195,52	80,37	N 48.10	E 64.41	2,96
3216,00	23,48	51,07	3204,71	84,25	N 50.53	E 67.43	3,69
3226,00	24,67	51,50	3213,84	88,33	N 53.08	E 70.62	3,61
3236,00	25,70	52,15	3222,89	92,58	N 55.71	E 73.96	3,20
3246,52	27,16	52,84	3232,31	97,26	N 58.56	E 77.68	4,25
3256,50	29,02	53,58	3241,11	101,96	N 61.37	E 81.44	5,69
3264,58	29,50	54,33	3248,16	105,91	N 63.70	E 84.63	2,24
3276,40	29,83	54,37	3258,43	111,75	N 67.10	E 89.39	0,84
3286,04	31,20	54,72	3266,74	116,64	N 69.94	E 93.37	4,30

	3296,00	33,46	54,86	3275,15	121,96	N 73.01	E 97.73	6,81
	3306,51	35,16	54,59	3283,83	127,88	N 76.44	E 102.56	4,87
	3313,23	36,32	54,14	3289,29	131,80	N 78.72	E 105.75	5,31
	3326,12	38,31	52,84	3299,54	139,61	N 83.37	E 112.03	4,98
	3336,50	39,73	52,22	3307,60	146,15	N 87.35	E 117.22	4,26
	3351,95	41,93	51,83	3319,29	156,25	N 93.56	E 125.18	4,30
	3362,00	43,46	52,18	3326,68	163,06	N 97.76	E 130.55	4,62
	3384,03	45,90	52,14	3342,34	178,55	N 107.26	E 142.78	3,32
	3393,58	47,31	52,48	3348,90	185,49	N 111.50	E 148.27	4,50
	3403,56	48,71	52,88	3355,58	192,91	N 116.00	E 154.17	4,30
	3413,50	50,09	53,23	3362,05	200,45	N 120.54	E 160.20	4,24
Tie-In	3424,57	52,13	53,47	3369,00	209,07	N 125.68	E 167.12	5,55
7" liner @	3451,25	55,19	55,03	3384,81	230,54	N 138.23	E 184.56	3,72
3444m								
	3458,35	55,49	56,30	3388,84	236,36	N 141.52	E 189.38	4,59
	3465,09	55,74	57,17	3392,65	241,91	N 144.57	E 194.03	3,38
	3470,81	56,16	57,89	3395,85	246,62	N 147.12	E 198.03	3,83
	3480,42	57,53	58,12	3401,11	254,63	N 151.38	E 204.85	4,32
	3490,80	59,67	57,88	3406,52	263,44	N 156.08	E 212.37	6,21
	3500,09	62,77	57,33	3410,99	271,54	N 160.44	E 219.24	10,13
	3511,00	65,72	56,81	3415,73	281,33	N 165.78	E 227.49	8,21
	3521,00	67,41	56,10	3419,71	290,47	N 170.85	E 235.13	5,43
	3531,00	69,14	55,01	3423,41	299,74	N 176.10	E 242.79	6,01
	3541,07	70,76	53,39	3426,86	309,20	N 181.64	E 250.47	6,62
	3554,20	72,21	51,31	3431,03	321,65	N 189.24	E 260.32	5,59
	3564,63	72,46	50,54	3434,20	331,58	N 195.51	E 268.04	2,23
	3575,69	72,65	50,14	3437,51	342,13	N 202.24	E 276.16	1,16
	3584,99	73,38	50,58	3440,23	351,02	N 207.92	E 283.01	2,72
	3594,23	73,53	50,61	3442,86	359,87	N 213.54	E 289.85	0,50
	3612,88	73,79	50,82	3448,11	377,77	N 224.87	E 303.70	0,53
	3620,14	74,43	51,08	3450,09	384,75	N 229.27	E 309.13	2,84
	3631,22	74,79	50,83	3453,03	395,43	N 236.00	E 317.42	1,17
	3641,03	74,68	50,90	3455,62	404,89	N 241.97	E 324.76	0,39
	3650,12	75,40	50,39	3457,96	413,67	N 247.54	E 331.56	2,88
	3659,74	75,37	50,44	3460,39	422,98	N 253.47	E 338.73	0,18
	3669,27	75,15	50,08	3462,82	432,19	N 259.36	E 345.82	1,30
	3678,53	75,47	49,71	3465,16	441,14	N 265.13	E 352.67	1,56
	3688,05	75,33	49,79	3467,56	450,34	N 271.09	E 359.70	0,50
	3697,32	75,61	49,96	3469,89	459,31	N 276.87	E 366.56	1,05
	3707,32	74,84	50,36	3472,44	468,98	N 283.06	E 373.98	2,59
	3716,22	74,83	50,41	3474,77	477,56	N 288.54	E 380.60	0,17
Quartzite	3725,34	75,12	50,10	3477,13	486,37	N 294.17	E 387.37	1,37
Hamra	3735,37	75,21	49,95	3479,70	496,06	N 300.40	E 394.80	0,51
	3744,37	75,67	48,74	3481,96	504,76	N 306.08	E 401.41	4,19

	3756,28	76,19	47,39	3484,86	516,28	N 313.80	E 410.01	3,55
	3768,00	75,43	48,30	3487,73	527,61	N 321.42	E 418.43	2,98
	3776,13	74,92	49,38	3489,81	535,46	N 326.60	E 424.35	4,29
	3786,07	74,63	49,29	3492,42	545,04	N 332.85	E 431.62	0,91
	3796,07	75,23	48,22	3495,02	554,68	N 339.21	E 438.88	3,58
	3806,00	75,31	48,13	3497,55	564,27	N 345.62	E 446.04	0,36
	3816,00	75,08	47,92	3500,10	573,91	N 352.08	E 453.23	0,92
	3826,00	74,95	47,84	3502,69	583,55	N 358.56	E 460.39	0,45
	3836,06	74,84	48,95	3505,31	593,24	N 365.01	E 467.65	3,21
	3846,07	74,98	51,01	3507,92	602,90	N 371.22	E 475.05	5,98
	3856,11	75,30	52,40	3510,49	612,60	N 377.24	E 482.67	4,13
	3866,05	75,69	52,97	3512,98	622,22	N 383.07	E 490.32	2,04
	3878,03	75,34	52,78	3515,98	633,82	N 390.07	E 499.57	0,99
	3888,00	74,98	52,80	3518,53	643,46	N 395.90	E 507.25	1,08
	3903,38	74,08	53,62	3522,63	658,28	N 404.78	E 519.12	2,34
	3913,01	74,20	52,97	3525,26	667,54	N 410.31	E 526.54	1,98
	3923,01	75,01	51,94	3527,92	677,18	N 416.19	E 534.19	3,84
	3938,01	74,98	51,67	3531,80	691,67	N 425.15	E 545.57	0,53
	3948,10	75,40	51,68	3534,38	701,42	N 431.20	E 553.23	1,25
	3958,78	75,16	51,93	3537,10	711,75	N 437.58	E 561.35	0,96
	3975,02	74,70	51,77	3541,32	727,43	N 447.27	E 573.68	0,90
	3985,87	75,13	51,66	3544,14	737,91	N 453.76	E 581.90	1,22
	3992,48	75,30	51,75	3545,83	744,30	N 457.72	E 586.92	0,87
	4005,34	75,79	51,21	3549,04	756,75	N 465.48	E 596.66	1,67
	4030,21	75,98	51,76	3555,10	780,87	N 480.50	E 615.53	0,68
	4049,01	75,73	51,82	3559,70	799,10	N 491.77	E 629.86	0,41
	4061,04	76,35	51,69	3562,60	810,77	N 499.00	E 639.02	1,58
	4074,77	76,43	51,68	3565,83	824,12	N 507.27	E 649.49	0,18
	4087,78	75,97	50,99	3568,93	836,75	N 515.17	E 659.36	1,87
	4099,85	75,57	50,23	3571,90	848,45	N 522.59	E 668.40	2,08
	4110,02	75,34	50,80	3574,46	858,29	N 528.85	E 676.00	1,76
Projection to bit	4145,00	74,60	51,40	3583,53	892,07	N 550.07	E 702.29	0,81

Tableau 2 : Les données réel de puits RNSEZ-106.^[8]

Mode de forage	MD de m	MD à m	Mode de TF	Course m	Calc ROP m/h
Rotating	2411,00	2421,00		10,00	3,53
Rotating	2421,00	2429,00		8,00	3,43
Rotating	2429,00	2438,00		9,00	2,57
Rotating	2438,00	2440,00		2,00	4,76
Sliding	2440,00	2445,00	Magnetic	5,00	3,33
Rotating	2445,00	2454,00		9,00	5,70
Rotating	2454,00	2467,00		13,00	5,58
Rotating	2467,00	2486,50		19,50	3,62
Rotating	2486,50	2491,20		4,70	2,17
Rotating	2491,20	2494,69		3,49	2,62
Rotating	2494,69	2497,20		2,51	4,33
Rotating	2497,20	2506,00		8,80	4,97
Rotating	2506,00	2526,00		20,00	3,43
Rotating	2526,00	2529,00		3,00	3,00
Rotating	2529,00	2550,50		21,50	3,63
Rotating	2550,50	2555,20		4,70	4,70
Rotating	2555,20	2567,70		12,50	5,61
Rotating	2567,70	2570,07		2,37	3,82
Rotating	2570,07	2578,34		8,27	3,73
Rotating	2578,34	2585,30		6,96	3,80
Rotating	2585,30	2601,00		15,70	4,45
Rotating	2601,00	2606,50		5,50	2,53
Rotating	2606,50	2623,00		16,50	3,53
Rotating	2623,00	2626,30		3,30	2,32
Rotating	2626,30	2634,27		7,97	2,39
Rotating	2634,27	2634,70		0,43	2,53
Rotating	2634,70	2641,09		6,39	2,74
Rotating	2641,09	2653,50		12,41	2,52
Rotating	2653,50	2662,00		8,50	2,43
Rotating	2662,00	2678,00		16,00	3,43
Rotating	2678,00	2682,23		4,23	1,75
Rotating	2682,23	2688,00		5,77	1,31
Rotating	2688,00	2690,00		2,00	1,20
Rotating	2690,00	2692,87		2,87	1,44
Rotating	2692,87	2704,70		11,83	1,66
Rotating	2704,70	2705,00		0,30	1,76
Rotating	2705,00	2716,70		11,70	1,56
Rotating	2716,70	2717,81		1,11	1,08
Rotating	2717,81	2722,70		4,89	1,67

Tableau 3 : Les modes de forage utilisé dans la phase verticale (2416 m à 2950m MD) .^[8]

Mode de forage	MD de m	MD à m	Mode de TF	Course m	Calc ROP m/h
Sliding	2951,50	2970,00	Magnetic	18,50	2,00

Tableau 4 : Les modes de forage utilisé dans la phase monté (L'intervalle 01 : de 2950 m à 2970m MD). ^[8]

Mode de forage	MD de m	MD à m	Mode de TF	Course m	Calc ROP m/h
Sliding	2974,00	2979,00	Gravity	5,00	1,82
Rotating	2979,00	2983,00		4,00	1,33
Sliding	2983,00	2987,50	Gravity	4,50	2,00
Sliding	2987,50	2989,00	Gravity	1,50	1,28
Rotating	2989,00	2994,00		5,00	2,07
Sliding	2994,00	3000,00	Gravity	6,00	1,28
Rotating	3000,00	3004,00		4,00	1,60
Sliding	3004,00	3010,00	Gravity	6,00	1,26
Rotating	3010,00	3014,00		4,00	2,19
Sliding	3014,00	3017,00	Gravity	3,00	1,32

Tableau 5 : Les modes de forage utilisé dans la phase montée (L'intervalle 02 : de 2970m à 3017 m MD). ^[8]

Mode de forage	MD de m	MD à m	Mode de TF	Course m	Calc ROP m/h
Rotating	3017,00	3023,00		6,00	2,00
Sliding	3023,00	3026,00	Gravity	3,00	1,50
Sliding	3026,00	3027,00	Gravity	1,00	1,72
Rotating	3027,00	3033,00		6,00	3,13
Sliding	3033,00	3037,00	Gravity	4,00	1,70
Rotating	3037,00	3043,00		6,00	2,08
Sliding	3043,00	3047,00	Gravity	4,00	1,04
Rotating	3047,00	3053,50		6,50	2,23
Sliding	3053,50	3057,50	Gravity	4,00	1,07

Tableau 6 : Les modes de forage utilisé dans la phase montée (L'intervalle 03 : de 3017m à 3057m MD). ^[8]

Mode de forage	MD de m	MD à m	Mode de TF	Course m	Calc ROP m/h
Rotating	3057,50	3062,00		4,50	2,00
Rotating	3062,00	3064,50		2,50	2,50
Sliding	3064,50	3067,50	Gravity	3,00	1,24
Rotating	3067,50	3076,00		8,50	2,17
Rotating	3076,00	3081,50		5,50	3,67
Rotating	3081,50	3085,50		4,00	1,78
Rotating	3085,50	3104,00		18,50	4,08
Sliding	3104,00	3107,00	Gravity	3,00	1,33
Rotating	3107,00	3109,00		2,00	2,00
Rotating	3109,00	3114,00		5,00	2,40
Rotating	3114,00	3124,00		10,00	1,93
Rotating	3124,00	3137,00		13,00	1,53
Rotating	3137,00	3138,00		1,00	1,20
Rotating	3138,00	3141,00		3,00	1,29
Rotating	3141,00	3142,00		1,00	2,00
Rotating	3142,00	3145,00		3,00	2,56
Rotating	3145,00	3146,50		1,50	2,00
Rotating	3146,50	3150,00		3,50	1,36
Sliding	3150,00	3151,50	Gravity	1,50	1,50
Sliding	3151,50	3154,00	Gravity	2,50	0,86
Rotating	3154,00	3160,00		6,00	1,50
Rotating	3160,00	3165,80		5,80	1,93
Rotating	3165,80	3179,00		13,20	1,84
Rotating	3179,00	3181,00		2,00	2,00
Rotating	3181,00	3193,00		12,00	2,06
Rotating	3193,00	3195,00		2,00	1,33
Sliding	3195,00	3198,00		3,00	1,20
Rotating	3198,00	3201,00		3,00	1,71

Tableau 7 : Les modes de forage utilisé dans la phase montée
(L'intervalle 04 : de 3057m à 3201m MD) .^[8]

Mode de forage	MD de m	MD à m	Mode de TF	Course m	Calc ROP m/h
Sliding	3201,00	3206,00		5,00	1,23
Rotating	3206,00	3211,00		5,00	1,25
Sliding	3211,00	3211,40	Gravity	0,40	0,53
Sliding	3211,40	3212,00	Gravity	0,60	0,72
Rotating	3212,00	3214,00		2,00	0,57
Rotating	3214,00	3215,00		1,00	0,80
Sliding	3215,00	3221,00	Gravity	6,00	1,01
Rotating	3221,00	3221,50		0,50	1,00
Rotating	3221,50	3222,50		1,00	0,85
Rotating	3222,50	3225,00		2,50	1,00
Rotating	3225,00	3226,00		1,00	1,72
Sliding	3226,00	3228,00	Gravity	2,00	0,53
Rotating	3228,00	3229,00		1,00	0,57
Sliding	3229,00	3231,00	Gravity	2,00	0,62
Sliding	3231,00	3233,00	Gravity	2,00	0,62
Rotating	3233,00	3238,00		5,00	0,95
Sliding	3238,00	3243,00	Gravity	5,00	0,65
Rotating	3243,00	3244,70		1,70	0,89
Rotating	3244,70	3247,00		2,30	0,79
Sliding	3247,00	3248,00	Gravity	1,00	0,69
Rotating	3248,00	3248,50		0,50	1,00
Sliding	3248,50	3253,50	Gravity	5,00	0,87
Rotating	3253,50	3256,00		2,50	0,91
Rotating	3256,00	3256,50		0,50	1,00
Sliding	3256,50	3260,50		4,00	0,74
Rotating	3260,50	3265,50		5,00	0,84
Rotating	3265,50	3267,00		1,50	1,06
Rotating	3267,00	3276,00		9,00	0,78
Rotating	3276,00	3277,00		1,00	1,00
Sliding	3277,00	3277,20	Gravity	0,20	0,30
Rotating	3277,20	3278,00		0,80	0,74
Sliding	3278,00	3280,00	Gravity	2,00	0,43
Rotating	3280,00	3282,50		2,50	0,63
Sliding	3282,50	3283,00	Gravity	0,50	0,50
Rotating	3283,00	3283,20		0,20	0,40
rotaring	3283,20	3284,50		1,30	3,42
Sliding	3284,50	3294,50	Gravity	10,00	1,43
Sliding	3294,50	3297,00	Gravity	2,50	1,43
Sliding	3297,00	3300,00	Gravity	3,00	1,33
Sliding	3300,00	3302,00	Gravity	2,00	1,20
rotaring	3302,00	3306,00		4,00	1,03
Sliding	3306,00	3311,00	Gravity	5,00	2,88
Sliding	3311,00	3316,00	Gravity	5,00	1,11

Rotaring	3316,00	3318,00		2,00	1,36
Sliding	3318,00	3324,00	Gravity	6,00	1,09
Sliding	3324,00	3328,00	Gravity	4,00	0,72
rotaring	3328,00	3330,00		2,00	1,20
Sliding	3330,00	3332,00	Gravity	2,60	0,87
Sliding	3332,00	3339,00	Gravity	6,40	1,02

Tableau 8 : Les modes de forage utilisé dans la phase montée
(L'intervalle 05 : de 3201 m à 3336,50 m MD) .^[8]

Mode de forage	MD de m	MD à m	Mode de TF	Course m	Calc ROP m/h
Sliding	3339,00	3343,00	Gravity	4,00	0,94
Sliding	3343,00	3344,00	Gravity	1,00	1,00
rotaring	3344,00	3346,00		2,00	1,20
Sliding	3346,00	3352,50	Gravity	6,50	0,90
Sliding	3352,50	3353,00	Gravity	0,50	0,75
Sliding	3353,00	3355,00	Gravity	2,00	0,80
Sliding	3355,00	3356,00	Gravity	1,00	0,85
Sliding	3356,00	3361,00	Gravity	5,00	0,90
Sliding	3361,00	3363,00	Gravity	2,00	0,92
Sliding	3363,00	3372,00	Gravity	9,00	1,23
Sliding	3372,00	3374,00	Gravity	2,00	0,96
Sliding	3374,00	3376,00	Gravity	2,00	1,09
Sliding	3376,00	3380,00	Gravity	4,00	0,89
Sliding	3380,00	3381,25	Gravity	1,25	0,96
Sliding	3381,25	3382,25	Gravity	1,00	0,70
Sliding	3382,25	3386,00	Gravity	3,75	0,98
Sliding	3386,00	3388,25	Gravity	2,25	0,73
Sliding	3388,25	3391,00	Gravity	2,75	0,85
Sliding	3391,00	3395,00	Gravity	4,00	0,84
Sliding	3395,00	3404,00	Gravity	9,00	0,85
Sliding	3404,00	3404,20	Gravity	0,20	0,80
Sliding	3404,20	3406,20	Gravity	2,00	0,73
Sliding	3406,20	3409,00	Gravity	2,80	0,93
Sliding	3409,00	3412,50	Gravity	3,50	0,70
Sliding	3412,50	3416,50	Gravity	4,00	0,77
Sliding	3416,50	3422,00	Gravity	5,50	0,90
Sliding	3422,00	3423,10	Gravity	1,10	1,02
rotaring	3431	3441,50		10,50	2,63
rotaring	3441,50	3448,00		6,50	2,79
rotaring	3448,00	3450,80		2,80	0,99
Sliding	3450,80	3452,00	Gravity	1,20	0,44
Sliding	3452,00	3457,80	Gravity	5,80	0,65
Sliding	3457,80	3459,50	Gravity	1,70	0,63

Sliding	3459,50	3461,00	Gravity	1,50	1,18
Sliding	3472,5	3472,70	Gravity	0,20	0,40
rotaring	3472,70	3473,00		0,30	0,67
Sliding	3473,00	3475,00	Gravity	2,00	0,76
Rotating	3488,40	3488,70		0,30	0,40
Rotating	3488,70	3489,00		0,30	0,30
Sliding	3489,00	3498,50	Gravity	9,50	1,87
Sliding	3498,50	3499,10	Gravity	0,60	2,40
Sliding	3499,10	3506,00	Gravity	6,90	2,36
Sliding	3506,00	3509,00	Gravity	3,00	2,11
Rotating	3508,50	3511,00		2,50	1,58
Sliding	3511,00	3518,00	Gravity	7,00	2,33
Rotating	3518,00	3521,00		3,00	1,43
Sliding	3521,00	3526,20	Gravity	5,20	2,84
Sliding	3526,20	3528,00	Gravity	1,80	1,67
Rotating	3528,00	3529,00		1,00	1,72
Rotating	3529,00	3531,00		2,00	2,00
Sliding	3531,00	3538,00	Gravity	7,00	3,11
Rotating	3538,00	3541,00		3,00	2,07
Sliding	3541,00	3544,70	Gravity	3,70	2,00
Sliding	3544,70	3548,00	Gravity	3,30	2,48
Rotating	3548,00	3551,00		3,00	1,91
Sliding	3551,00	3554,00	Gravity	3,00	1,80
Rotating	3554,00	3560,00		6,00	2,21
Rotating	3560,00	3563,00		3,00	2,22
Rotating	3563,00	3572,00		9,00	2,11
Rotating	3572,00	3575,00		3,00	1,73
Rotating	3575,00	3582,00		7,00	1,79
Sliding	3582,00	3586,00	Gravity	4,00	2,53
Rotating	3586,00	3593,00		7,00	2,62
Rotating	3593,00	3602,50		9,50	2,21
Rotating	3602,50	3608,30		5,80	1,66
Sliding	3608,30	3610,30	Gravity	2,00	1,27
Rotating	3610,30	3614,00		3,70	1,01
Rotating	3614,00	3618,00		4,00	2,00
Sliding	3618,00	3621,50	Gravity	3,50	1,50

Tableau 9 : Les modes de forage utilisé dans la phase montée
(L'intervalle 06 : de 3336,50 m à 3620,14m MD) .^[8]

Mode de forage	MD de m	MD à m	Mode de TF	Course m	Calc ROP m/h
Rotating	3621,50	3630,00		8,50	2,27
Rotating	3630,00	3638,00		8,00	2,01
Rotating	3638,00	3647,50		9,50	2,15
Sliding	3645,50	3649,00	Gravity	3,50	1,40
Rotating	3649,00	3654,00		5,00	1,44
Rotating	3654,00	3659,00		5,00	1,77
Rotating	3659,00	3666,00		7,00	2,33
Rotating	3666,00	3669,50		3,50	2,80
Sliding	3669,50	3672,00	Gravity	2,50	1,76
Rotating	3672,00	3680,00		8,00	2,04
Rotating	3680,00	3687,00		7,00	1,79
Rotating	3687,00	3695,00		8,00	1,57
Rotating	3695,00	3698,00		3,00	1,38
Sliding	3698,00	3700,50	Gravity	2,50	1,25
Rotating	3700,50	3708,00		7,50	1,97
Rotating	3708,00	3715,45		7,45	1,95
Rotating	3715,45	3723,00		7,55	1,83
Sliding	3723,00	3725,00	Gravity	2,00	1,41
Rotating	3725,00	3727,00		2,00	1,32
Rotating	3727,00	3727,00			
Rotating	3727,00	3727,00			
Rotating	3727,00	3736,00		9,00	2,35
Rotating	3736,00	3750,00		14,00	1,50
Rotating	3750,00	3759,00		9,00	1,36
Rotating	3759,00	3762,00		3,00	1,64
Sliding	3762,00	3765,00	Gravity	3,00	1,20
Rotating	3765,00	3767,00		2,00	1,60
	3771,00	3773,00	Gravity	2,00	1,63
Sliding	3773,00	3775,00	Gravity	2,00	1,50
Rotating	3775,00	3779,00		4,00	1,84
Rotating	3779,00	3783,00		4,00	2,19
Sliding	3783,00	3785,00	Gravity	2,00	1,04
Rotating	3785,00	3786,00		1,00	0,67
Rotating	3786,00	3786,60		0,60	0,56
Rotating	3786,60	3791,00		4,40	0,35
Rotating	3791,00	3792,50		1,50	0,60
Rotating	3792,50	3794,00		1,50	0,19
Rotating	3794,00	3795,00		1,00	0,80
Rotating	3795,00	3799,00		4,00	1,32
Rotating	3799,00	3804,00		5,00	0,78
Sliding	3804,00	3805,60	Gravity	1,60	0,74

Rotating	3805,50	3806,00		0,50	
Rotating	3806,00	3807,00		1,00	0,63
Rotating	3807,00	3809,00		2,00	0,80
Sliding	3809,00	3810,75	Gravity	1,75	0,62
Rotating	3810,75	3813,00		2,25	0,37
Sliding	3813,00	3814,20	Gravity	1,20	0,32
Rotating	3814,20	3817,00		2,80	0,44
Rotating	3817,00	3817,70		0,70	0,47
Sliding	3817,70	3818,60	Gravity	0,90	0,28
Rotating	3818,60	3820,80		2,20	0,64
Sliding	3820,80	3821,70	Gravity	0,90	0,42
Rotating	3821,70	3824,00		2,30	0,46
Sliding	3824,00	3825,00	Gravity	1,00	0,40
Rotating	3825,00	3828,00		3,00	1,38
Sliding	3828,00	3829,00	Gravity	1,00	0,58
Sliding	3829,00	3830,20	Gravity	1,20	0,72
Rotating	3830,20	3833,00		2,80	1,60
Sliding	3833,00	3835,00	Gravity	2,00	0,67

Tableau 10 : Les modes de forage utilisé dans la phase rectiligne (L'intervalle 01 : de 3620,14 m à 3836,07 m MD) .^[8]

Mode de forage	MD de m	MD à m	Mode de TF	Course m	Calc ROP m/h
Rotating	3835,00	3835,00			
Rotating	3835,00	3837,00		2,00	1,14
Sliding	3837,00	3838,80	Gravity	1,80	0,77
Sliding	3838,80	3842,30	Gravity	3,50	0,88
Rotating	3842,30	3844,70		2,40	2,14
Rotating	3844,70	3846,30		1,60	1,63
Sliding	3846,30	3849,50	Gravity	3,20	0,74
Sliding	3849,50	3851,30	Gravity	1,80	0,72
Rotating	3851,30	3856,00		4,70	1,66
Sliding	3856,00	3861,00	Gravity	5,00	1,00
Rotating	3861,00	3863,50		2,50	1,26
Rotating	3863,50	3865,00		1,50	1,28
Rotating	3865,00	3871,00		6,00	1,09
Sliding	3871,00	3874,00	Gravity	3,00	1,33
Rotating	3874,00	3874,00			
Rotating	3874,00	3883,00		9,00	1,15
Sliding	3883,00	3886,00	Gravity	3,00	0,67
Rotating	3886,00	3892,00		6,00	1,13

Rotating	3892,00	3893,70		1,70	0,85
Sliding	3893,70	3895,50	Gravity	1,80	0,66
Sliding	3895,50	3897,20	Gravity	1,70	0,78
Rotating	3897,20	3906,00		8,80	0,90
Rotating	3906,00	3912,50		6,50	0,89
Sliding	3912,50	3914,50	Gravity	2,00	0,52
Sliding	3914,50	3915,00	Gravity	0,50	0,50
Rotating	3915,00	3915,30		0,30	0,60
Rotating	3915,30	3916,00		0,70	0,64
Sliding	3916,00	3917,50	Gravity	1,50	0,56
Sliding	3917,50	3919,50	Gravity	2,00	0,78
Rotating	3919,50	3925,00		5,50	0,76
Sliding	3925,00	3926,00	Gravity	1,00	0,76
Sliding	3926,00	3926,20	Gravity	0,20	0,17
Rotating	3926,20	3931,30		5,10	0,65
Rotating	3931,30	3941,00		9,70	0,68
Rotating	3941,00	3942,00		1,00	0,80
Sliding	3942,00	3942,80	Gravity	0,80	0,40
Rotating	3942,80	3943,00		0,20	0,24
Rotating	3943,00	3948,00		5,00	1,25
Rotating	3948,00	3956,00		8,00	1,00
Rotating	3956,00	3962,00		6,00	1,00
Rotating	3962,00	3966,60		4,60	0,78
Sliding	3966,60	3967,90	Gravity	1,30	0,38
Rotating	3967,90	3969,40		1,50	0,50
Rotating	3969,40	3976,00		6,60	0,69
Rotating	3976,00	3976,60		0,60	0,80
Rotating	3976,60	3983,50		6,90	1,03
Sliding	3983,50	3986,00	Gravity	2,50	0,77
Rotating	3986,00	3986,90		0,90	0,72
Rotating	3986,90	3990,70		3,80	0,75
Rotating	3990,70	3995,00		4,30	0,70
Rotating	3995,00	4003,10		8,10	0,92
Rotating	4003,10	4004,50		1,40	0,93
Rotating	4004,50	4009,00		4,50	0,70
Rotating	4009,00	4011,00		2,00	0,42

Tableau 11 : Les modes de forage utilisé dans la phase rectiligne (L'intervalle 02 : de 3836,07m à 4011m MD) .^[8]

Résumé

Cette étude décerne l'utilité du domaine d'incertitude dans la réalisation d'un puits dévié en utilisant un instrument de mesure.

Ce domaine inclue plusieurs données telles que la marge de confiance du constructeur des outils de mesures, l'angle SAG, la correction de l'inclinaison magnétique selon la région de l'exploitation et le calcul de la longueur de tige amagnétique pour assurer une bonne mesure d'azimut.

Après avoir rapporté toutes les corrections nécessaires, on peut réaliser notre trajectoire, dans un intervalle qui enveloppe le profil théorique, en assurant l'atteinte de la cible, ou le rapport des corrections nécessaires à temps.

La validation des interventions pour garder la trajectoire dans son domaine d'incertitude est appliquée sur le puits en J, RNSEZ-106 en utilisant un MWD, l'interprétation des tentations pour rectifier la partie écartée est faite pas par pas en utilisant tantôt le forage rotary, tantôt le sliding.

Abstract

This study awards the utility uncertainty domain in the realization of a deviated well with using a measuring instrument.

This domain includes many data such that the margin of confidence constructor of measuring tools, the angle SAG, the correction of the Magnetic declination depending on the region of exploitation and calculating the length of non-magnetic drill for ensure good azimuth measurement, in an interval envelope the theoretical profile.

After reporting all necessary corrections, we can realize our trajectory, ensuring achieve of the target, or the reporting of corrections necessary in the time.

Validation of interventions to maintain the trajectory in the uncertainty domain is applied to the well J,106 RNSEZ using a MWD, interpretation of temptations to rectify the rejected part is made step by step using sometimes the rotary drilling , sometimes the sliding