

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE

Ministre de L'Enseignement Supérieur de la Recherche
Scientifique



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie civil et d'hydraulique.



Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER PROFESSIONNEL

Domaine : Génie civil et hydraulique

Filière : Hydraulique

Spécialité : Forage d'eau

Présenté par : - BENHAMA Abdelaziz

- LAIB Bilal

Thème

*Suivi la réalisation d'un forage Albo-Barrémien
dans la région de Sidi Mahdi (wilaya de
Touggourt)*

Soutenu publiquement :

Le : 11 / 06 /2022

Devant le jury :

Mr. NETTARI kamel	MA(A)	UKM Ouargla	Président
Mr. MAHI Rachid	MA(A)	UKM Ouargla	Examineur
Mr. KATEB Samir	Pr	UKM Ouargla	Encadreur
Mr. BENGUEGA M. Salah	Ing	ANRH Touggourt	Co- Encadreur

Année Universitaire: 2021 / 2022

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À mes très chers parents, en témoignage et en gratitude de leur dévouement et leur soutien permanent durant toutes mes années d'études, leurs sacrifice illimités, leur réconfort moral et tous les efforts qu'ils ont consentis pour mon éducation et Mon instruction pour me voir réussir un jour. Que dieu le garde inchallah.

À mes frère Haythem Abdelmoumen ; À mes soeurs Afaf , Nadjla et Aridje.

À toute la famille "Benhama " & "Messaoudi "

*À mon binôme Bilal et sa famille ; Une dédicace spécial à Nour El houda Mouna
À Nour El houda Baafou, Imene Retmi et les autre qui m'ont soutenu dans mon
parcours académique*

À tous mes collègues de 2 éme année master" Forage d'eau "

À tous mes amies " Abdelkader ; Ayoub ; Walid et les autres.

Benhama Abdelaziz

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À mes très chers parents, en témoignage et en gratitude de leur dévouement et leur soutien permanent durant toutes mes années d'études, leurs sacrifice illimités, leur réconfort moral et tous les efforts qu'ils ont consentis pour mon éducation et Mon instruction pour me voir réussir un jour. Que dieu le garde inchallah.

À mes frère Nabil , Abdelbasset ; À mes soeurs Zoubida , Ferial ,Afaf et Khoula

À toute la famille "Laib " & "Lemoussekh "

À mon binôme Abdelaziz et sa famille ; Une dédicace spécial à Brahim Laib .

Fadlellah Temacini et les autre qui m'ont soutenu dans mon parcours académique

À tous mes collègues de 2 éme année master" Forage d'eau "

À tous mes amies " Houari ; Ayoub ; Miloud et les autres.

Laib Bilal

Remerciements

*Je remercier le grand seul donneur mon Dieu qu'il m'a
donné l'effort et la puissance d'effectuer notre modeste
travail.*

*Je remercier aussi notre encadreur Mr Kateb Samir sur
leur accueil de nous encadrer, et Mr Mohammed Salah Benguega
le premier responsable sur ce travail, sur leur surveillance sur
la marche du travail dans les meilleures conditions, à tout
l'équipe de ANRH Touggourt et Mr Yahia le directeur
d'entreprise de TSSILI sur leur nous accueillir.*

*Je remercier également le membre de jury Mr Nettari Kamel et
Mr Mahi Rachid sur leurs accueils de jurer notre travail.*

*Nos vifs remerciements aussi à tous les professeurs de département
de Génie Civil et Hydraulique*

*À tous ce qui furent à un moment ou à toute instante partie prenante
de ce travail.*

*Nos plus chaleureux remerciements pour tous ceux qui de près et de
loin ont contribué à la réalisation de ce mémoire.*

Résumé :

La zone de Sidi Mahdi est située dans la wilaya de Touggourt au sud de l'Algérie, elle est soumise à un climat aride saharien, dont les précipitations sont très faibles et à température très élevées. La région connaît également un développement important des activités agricoles. Pour satisfaire les demandes d'alimentation en eau d'irrigation de cette zone, on recourt à l'exploitation de la couche du réservoir souterraine contenu dans la l'Albo-Barrémien.

Cette formation aquifère représente l'unique ressource en eau exploitable dans la région.

Pour atteindre et exploiter ce grand réservoir on recourt à l'exécution des forages profonds par la technique Rotary qui est largement utilisé dans la région de Sahara.

Notre étude s'inscrit dans ce cadre au suivi la technique de réalisation d'un forage avec ces différentes phases. Ce suivi a été basé sur l'étude géologique et hydrogéologique de la zone, également été basé sur l'opération de cimentation du ce puits en raison de son rôle dans la réussite de ce puits de la zone.

L'opération de suivi de la réalisation d'un forage Albo-Barrémien à Sidi Mahdi nous a permis de déterminer et comprendre les différentes caractéristiques et techniques du forage en question, Il sera destiné pour le renforcement du réseau d'eau d'irrigation de la zone agricole de Sidi Mahdi.

Mots clés : Forage ; Albo-Barrémien ; Irrigation ; Cimentation ; Réalisation ; Rotary ; Souterraine.

Abstract:

The Sidi Mahdi area is located in the wilaya of Touggourt in southern Algeria and is subject to an arid Saharan climate with very low rainfall and high temperatures. The region is also experiencing significant development of agricultural activities.

To meet the demands for irrigation water supply in this area, the underground reservoir layer contained in the Albo-Barrémien is exploited.

This aquifer represents the only exploitable water resource in the region.

To reach and exploit this large reservoir, deep drilling is carried out using the Rotary technique, which is widely used in the Sahara region.

Our study is based on the monitoring of the drilling technique with its different phases. This follow-up was based on the geological and hydrogeological study of the area, also based on the cementing operation of this well because of its role in the success of this well in the area.

The follow-up operation of the realization of an Albo-Barrémien drilling in Sidi Mahdi allowed us to determine and understand the different characteristics and techniques of the drilling in question; it will be intended for the reinforcement of the irrigation water network of the agricultural zone of Sidi Mahdi.

Key words: Drilling; Albo-Barrémien; Irrigation; Cementing; Implementation; Rotary; Underground.

ملخص :

تقع منطقة سيدي مهدي بولاية تفرت جنوب الجزائر، بحيث تخضع لمناخ صحراوي جاف يمتاز بارتفاع درجات الحرارة و قلة التساقطات. كما تشهد المنطقة تطورا كبيرا في النشاطات الفلاحية.

من أجل تغطية نقص التزويد بمياه السقي لسكانها نلجأ إلى إستغلال الخزان الجوفي ألبو بارميان الذي يعد المورد الوحيد الذي يمكن استغلاله في المنطقة.

من اجل هذا الاستغلال نلجأ الى انجاز بئر عميقة بواسطة الحفر بتقنية الروتاري التي تستخدم على نطاق واسع في المنطقة.

في هذا الاطار تهدف هذه الدراسة الى المتابعة التقنية لعملية الحفر بمختلف مراحلها. و قد استند اجراء هذه العملية الى الدراسة الجيولوجية و الهيدروجيولوجية للمنطقة.

تمكننا من خلال متابعة عملية بناء بئر ألبو بارميان في سيدي مهدي من تحديد و فهم الخصائص و التقنيات المختلفة للحفر. يهدف هذا العمل الى تعزيز شبكة مياه الري للمنطقة الزراعية بسيدي مهدي.

الكلمات المفتاحية:

حفر - ألبو بارميان - الري - تدعيم - انجاز - روتاري - جوفية.

Sommaire

Résumé	I
Liste des tableaux	II
Liste des figures	III
Introduction Générale	2
Chapitre I: Présentation de la zone d'étude	
Introduction	
I – 1 Cadre générale de la zone d'étude	4
I.1.1. Situation géographique et limites administratives	4
I.1.2. Localisation du forage	5
I – 2 Étude hydraulique des caractéristiques climatique	6
I.2.1. Objectif de l'étude	6
I.2.3. Les précipitations	8
I.2.4. Le Vent	9
I.2.5. Synthèse climatique de la région	10
I.3. Identification hydrogéologique	10
I.3.1. Le complexe terminal	11
I.3.2. Le continental intercalaire (C I)	12
I.3.3. La nappe phréatique	12
Conclusion	13
Chapitre II: Techniques, Équipements et Suivi de la réalisation du forage	
Introduction	15
II.1. Organisation du chantier de forage	15
II.2. Formation d'exécution du forage	16
II.3. Objectif du sondage	16
II.4. Choix de méthode de réalisation	16
II.4.1. La technique rotary	16
II.4.2. Les avantages du forage au rotary	17
II.4.3. Les inconvénients du forage à rotary	17
II.5. Les équipements de forage	18
II.5.1. L'appareil de forage	18
II.5.2. Les composants de l'appareil de forage	19
II.6. Les phases de Réalisation de forage	29
II.6.1 :1 ^{ère} phase (Tube guide)	29
II.6.2 :2 ^{ème} phase (La Colonne technique)	29
II.6.3 :3 ^{ème} phase (La Colonne de production)	30
II.6.4 :4 ^{ème} phase (la Colonne de captage)	30
II.7. Fluides de forage (La boue de forage)	30
II.7.1. Rôles de la boue de forage	31
II.7.2. Le choix de la boue	31
II.7.3. Caractéristiques de la boue de forage	32
II.7.4. Circuits de fluides de forage	35
II.8. Description géologique	35
II.9. Le Tubage et la Crépine	37
II.9.1. Le tubage	37

II.9.2. La crépine	41
Conclusion	44
Chapitre III: L'opération de cimentation	
Introduction	47
III.1. La cimentation	47
III.2. Objectifs de la cimentation	47
III.3.Choix de la qualité de ciment	48
III.4.Matériel et outils de cimentation	48
III.4.1. Les anneaux de retenue	49
III.4.2.Bouchonne de cimentation	49
III.4.3. La tête de cimentation	50
III.4.4.L'Unités de cimentation	51
III.4.5.Les silos	51
III.4.6. Citernes d'eau	52
III.4.7. La DV (divertir valve)	52
III.5. Différentes méthodes de cimentation	53
III.6. Préparation du laitier de ciment	54
III.7. Calcul de cimentation	54
III.7.1. Calcule de volume de laitier de ciment	54
III.7.2. Quantité de ciment sec	56
III.7.3. Volume d'eau de gâchage	56
III.7.4. Volume de la boue de chasse	57
III.8. Mode opératoire de cimentation	57
III.8.1. Cimentation simple étage	57
III.8.2.Cimentation double étage	57
III.9. Bouchons de ciments	59
III.10. Déroulement d'opération de cimentation	59
III.11. Les Soniques : CBL – VDL (Ciment Bond Log – Variable Density Log)	61
III.11.1 Principe du CBL (Ciment Bond Log)	61
III.11.2 Interprétation de CBL	61
III.11.3. Principe de VDL	61
III.11.4. Interprétation de VDL	61
III.11.5. Vérification de la qualité de ciment	62
III.11.6. Développement du forage	63
III.11.6.1.La tête de puits	63
III.11.6.2.Development du forage	64
III.11.6.3.Les essais de début	65
III.12.le Chartes de ciment de forage Sidi Mahdi	65
III.12. Coupe Technique final de forage	67
Conclusion	68
Conclusion général	70
Reference	
Annex	

Liste des tableaux

Tableau. I.1 : Touggourt-températures moyennes (1991-2020)

Tableau. I.2 : Précipitations moyennes-Touggourt (1997-2020).

Tableau. I.3 : Valeurs moyennes mensuelles des précipitations et des températures (2010-2021).

Tableau. I.4 : Synthèse hydrogéologique régionale des différentes aquifères.

Tableau. II.1: Caractéristiques des tiges utilisées.

Tableau. II.2:Caractéristiques des masse-tiges utilisées.

Tableau. II.2: Caractéristiques des Outils de forage utilisés.

Tableau. II.4: les caractéristiques de la boue de forage utilisé.

Tableau. II.5: Tubages utilisés.

Tableau III.1 : Conditions de bonne qualité de ciment par diagraphie sonore CBL et VDL

Liste des figures

- Figure I.1 :** Diagrammes déformations – contraintes de béton.
- Figure I.1 :** Situation géographique de la région Touggourt
- Figure I.2:** Image satellitaire de la wilaya de Touggourt (Google earth 2022)
- Figure I.3:** Localisation du forage (Google earth 2022)
- Figure I.4:** Courbe des variations des températures à Touggourt (2010-2021).
- Figure I.5:** Précipitations moyennes-Touggourt (2010-2021).
- Figure I.6:** Pression et vent extrêmes à Touggourt (2010-2021)
- Figure I.7:** Graphique climatique-Touggourt
- Figure I.8:** Carte de l'extension géographique des aquifères de continental intercalaire et complexe terminal.
- Figure II.1:** Schéma descriptif de l'organisation du chantier d'un forage
- Figure II.2:** Schéma descriptif la principe du Rotary (simple)
- Figure II.3 :** Description d'un équipement de forage rotary
- Figure II.4:** L'appareil du forage (TASSILI 123).
- Figure II.5 :** Mât d'appareil de forage.
- Figure II.6:** Moufle mobile et le crochet.
- Figure II.7:** Indicateur de poids
- Figure II.8:** câble de forage
- Figure II.9:** Treuil de forage
- Figure II.10:** table de rotation.
- Figure II.11 :** Nomenclature de la table de rotation.
- Figure II.12 :** Tige d'entraînement
- Figure II.13:** clé à tiges
- Figure II.14:** bac à boue
- Figure II.15:** Pompes à boue
- Figure II.16:** Flexible d'injection
- Figure II.17:** Tête d'injection
- Figure II.18:** Description de la tête d'injection
- Figure II.19:** Tamis vibrant.
- Figure II.20:** Tiges de forage
- Figure II.21:** masse – tige.
- Figure II.22:** Outil de forage (tri-cône)
- Figure II.23 :** Viscosimètre Fan
- Figure II.24:** Balance à boue (densimètres).
- Figure II.25:**Balance à boue(Densimètre).
- Figure II.26 :** Circuit de la boue de forage.
- Figure II.27 :** Coupe lithologique de forage profond Sidi Mahdi Touggourt (Sans échelle).
- Figure II.29 :** Différents centreuse de tubage.
- Figure II.30 :** Montage d'un centreur avec un stop collar.
- Figure II.31 :** Différents types de gratteurs.

Figure II.32 : Exemple de colonne de tubage.
Figure II.33 : crépine INOX Johnson utilisée
Figure II.34 : Caractéristiques de crépine utilisée.
Figure II.35 : Raccord diélectrique.
Figure II.36 : Mécanique Liner Hanger Packer qualité d'origine.
Figure II.37 : Liner Hanger Packer (fabriqué en chine).
Figure.III.1 : Exemple d'un colonne de tubage cimenter.
Figure.III.2. Différents types d'anneaux de retenue
Figure.III.3 : Bouchonne de cimentation.
Figure.III.4 : Tête de cimentation.
Figure.III.5 : schéma descriptif de Tête C
Figure.III.6 : Unités de cimentation.
Figure.III.7 : silos de ciment.
Figure.III.8 : citerne d'eau.
Figure.III.9 : La DV.
Figure.III.10. Schéma descriptif de la méthode de cimentation par le tubage.
Figure.III.11. Procédés et étape de fabrication du laitier ciment.
Figure.III.12 : les étapes d'opération de cimentation simple étage
Figure.III.13 : les étapes d'opération de cimentation doublé étage.
Figure.III.13 : Bouchon de ciment pour le colmatage de zones à pertes
Figure.III.14. Exemple de mesures soniques (CBL et VDL)
Figure. III.15 : Exemple d'un bon CBL et d'un mauvais CBL.
Figure. III.16. $9^{5/8}$ Csg ciment de forage Sidi Mahdi.
Figure. III.17. $13^{3/8}$ Csg ciment N02 de forage Sidi Mahdi.
Figure. III.18. $13^{3/8}$ Csg ciment N02 de forage Sidi Mahdi.

Introduction générale

Introduction générale

Introduction :

L'eau en point de vue quantitative et qualitative reste un problème posé en Algérie due la rareté des précipitations en particulier dans les zones sahariennes qui sont caractérisé par un climat aride et une température élevé, des réserve d'eaux souterraines considérable emmagasiné dans les deux aquifères : le complexe terminale et le continental intercalaire.

La wilaya de Touggourt a connu un important développement agricole. Cette situation a engendré une grande demande de mobilisation de la ressource en eau. La nappe de la formation Albienne constitue la principale ressource en eau dans la wilaya.

Parmi les localités qui connaît un déficit dans l'irrigation pour couvrir les périmètres agricole la ville de Sidi Mahdi la commune d'El Nazla. C'est dans ce contexte qu'il a été inscrit le projet de suivi et la réalisation d'un forage profond captant la nappe albienne, et qui sera destiné pour couvrir les périmètres agricoles à Sidi Mahdi.

L'objectif de ce modeste travail est de savoir les principale étapes de la réalisation de cette ouvrage profond et étude et suivi étape par étape la technique de la réalisation , surtout les programmes de cimentation pour les quatre phases , que ce soit de point de vue géologique, hydrogéologique, et les techniques utilisées, pour assurer la bonne exécution du forage, afin de déterminer ces paramètres hydrodynamiques et hydrauliques.

Chapitre I:
Chapitre I:
Présentation de la zone d'étude

I. Présentation de la zone d'étude:

Introduction :

Ce chapitre présente les traits majeurs du milieu d'étude notamment la localisation géographique du terrain, le cadre climatique et les caractéristiques géologique et hydrogéologique. Ces éléments vont contribuer à situer le système aquifère dans le contexte régional et à identifier les éléments utiles à la compréhension des problématiques abordées au cours de l'étude.

I.1. Cadre générale de la zone d'étude :

I.1.1. Situation géographique et limites administratives :

La wilaya de Touggourt est située dans le Sahara algérien. Elle est la capitale et la plus importante ville de l'Oued Righ, sa superficie est de 17 428 km².

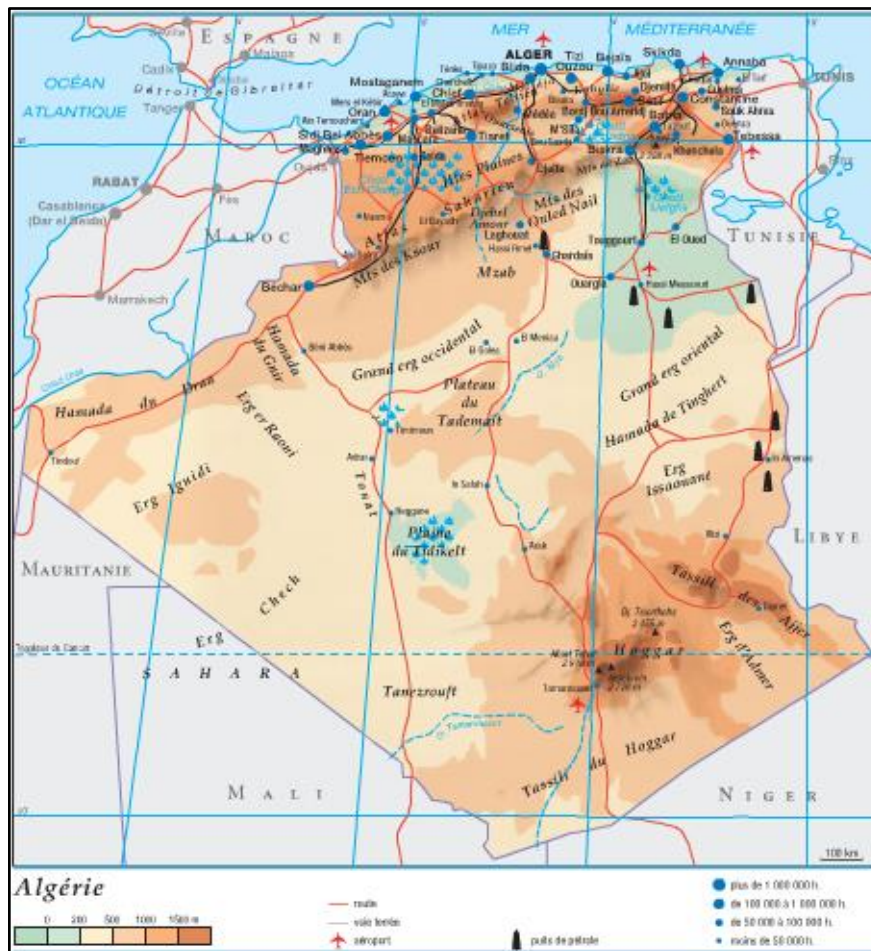


Figure I.1 : Situation géographique de la région Touggourt. [13]

Elle est délimitée :

- ✓ au nord par la wilaya d'El M'Ghair ;
- ✓ à l'est par la wilaya d'El Oued ;
- ✓ à l'Ouest la wilaya de Djelfa et la wilaya de Ghardaïa
- ✓ à l'ouest et au sud par la wilaya d'Ouargla.

Les coordonnées 33° 06' 30" Nord, 6° 03' 50" Est, l'altitude est proche de 70m.



Figure I.2: Image satellitaire de la wilaya de Tougourt (Google earth 2022).

I.1.2. Localisation du forage :

Le village de Sidi Mahdi est issu de la commune de Nazla dans la wilaya de Tougourt, située dans la côte Est de l'aéroport à partie Est de la wilaya :

Les coordonnées de forage Nouveau Albo-barrémien Sidi Mehdi Tougourt

X=6° 06' 55,85" Est ;

Y = 33° 04' 47" Nord ;

Z = 86 m. Fuseau 32 (GPS).



Figure I.3: Localisation du forage (Google earth 2022).

I.2. Étude hydraulique des caractéristiques climatique :

Le climat de Touggourt est subtropical désertique, avec des hivers doux (durant lesquels il peut faire froid la nuit) et des étés très chauds et ensoleillés.

La ville est située dans l'est de l'Algérie.

I.2.1. Objectif de l'étude :

La connaissance des caractéristiques hydro climatologique est nécessaire pour l'étude hydrogéologique, Elle est indispensable pour évaluer l'alimentation du réservoir souterrain par infiltration, et pour l'établissement d'un bilan hydrique.

Les données relatives aux différentes composantes qui régissent le climat (pluies, vents, températures, évaporation, insolation) ont été recueillies auprès des services de Station Météorologique de Touggourt

Dans cette partie prend en considération les deux plus importants éléments : la précipitation et la Température vue leur effet majeur sur l'alimentation de la nappe CT.

I.2.2. Température :

Dans la région d'étude, la température influe grandement sur les autres paramètres météorologiques tels que l'évaporation et le taux d'humidité de l'atmosphère. Elle est donc un paramètre déterminant dans le calcul du bilan hydrologique. À Touggourt, la **température moyenne** du mois le plus froid (janvier) est de 11,0 °C, celle du mois le plus chaud (juillet) est de 34,2 °C. Voici les températures moyennes :

Mois	Min (°C)	Max (°C)	Moyenne (°C)
Janvier	5	17	11
Février	6	20	13
Mars	10	24	17
Avril	14	28	21,2
Mai	19	33	26,3
Juin	24	38	31,1
Juillet	27	42	34,2
Août	26	41	33,7
Septembre	22	36	29
Octobre	17	30	23,4
Novembre	10	23	16,3
Décembre	6	18	12
An	15,6	29,2	22,35

Tableau. I.1 : Touggourt-températures moyennes (1991-2020). [01]

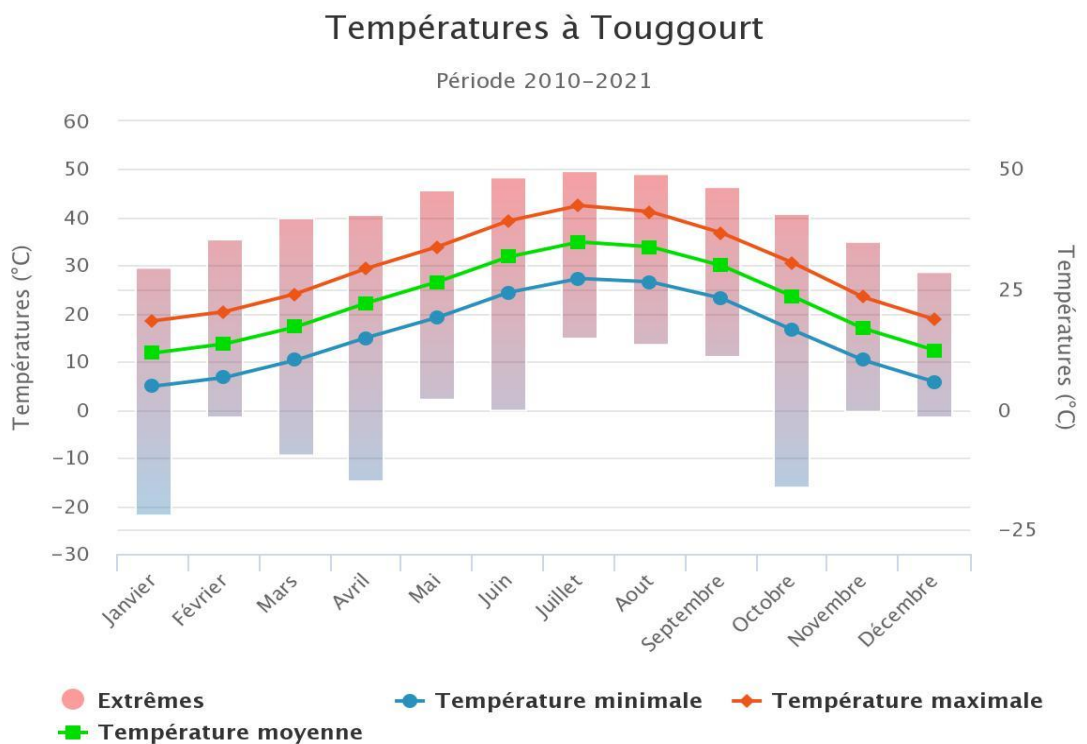


Figure I.4: Courbe des variations des températures à Touggourt (2010-2021). [01]

I.2.2.1. Interprétation des résultats :

D'après le graphe, les valeurs mensuelles de la température moyenne de l'air varient avec une certaine régularité pendant l'année, avec un maximum en juillet (42.5°C) et un minimum en janvier (4.9 °C).

I.2.3. Les précipitations :

Les précipitations sont toutes l'eau météorologique qui tombe sur la surface de la terre tant sous forme liquide que sous forme solide. C'est une source primaire d'eau douce. Par des précipitations efficaces, l'eau de pluie alimente à la fois les nappes souterraines par l'infiltration (I) et l'eau de surface par le ruissellement (R).

Lui rôle moins important dans les zones sahariennes du fait de leur faible quantité d'une part et de la forte température d'autre part.

I.2.3.1. Précipitations moyennes :

À Touggourt, les **précipitations** totalisent 80 millimètres par an : elles sont donc au niveau désertique. Au mois le moins pluvieux (juin) elles s'élèvent à 1 mm, dans le mois le plus pluvieux (septembre) elles s'élèvent à 14 mm Voici la moyenne des précipitations.

Mois	Quantité (mm)	Jours
Janvier	9	2
Février	3	2
Mars	8	2
Avril	7	2
Mai	10	1
Juin	1	1
Juillet	8	0
Août	2	1
Septembre	14	3
Octobre	6	2
Novembre	7	2
Décembre	5	2
An	80	20

Tableau. I.2 : Précipitations moyennes-Touggourt (1997-2020). [14]

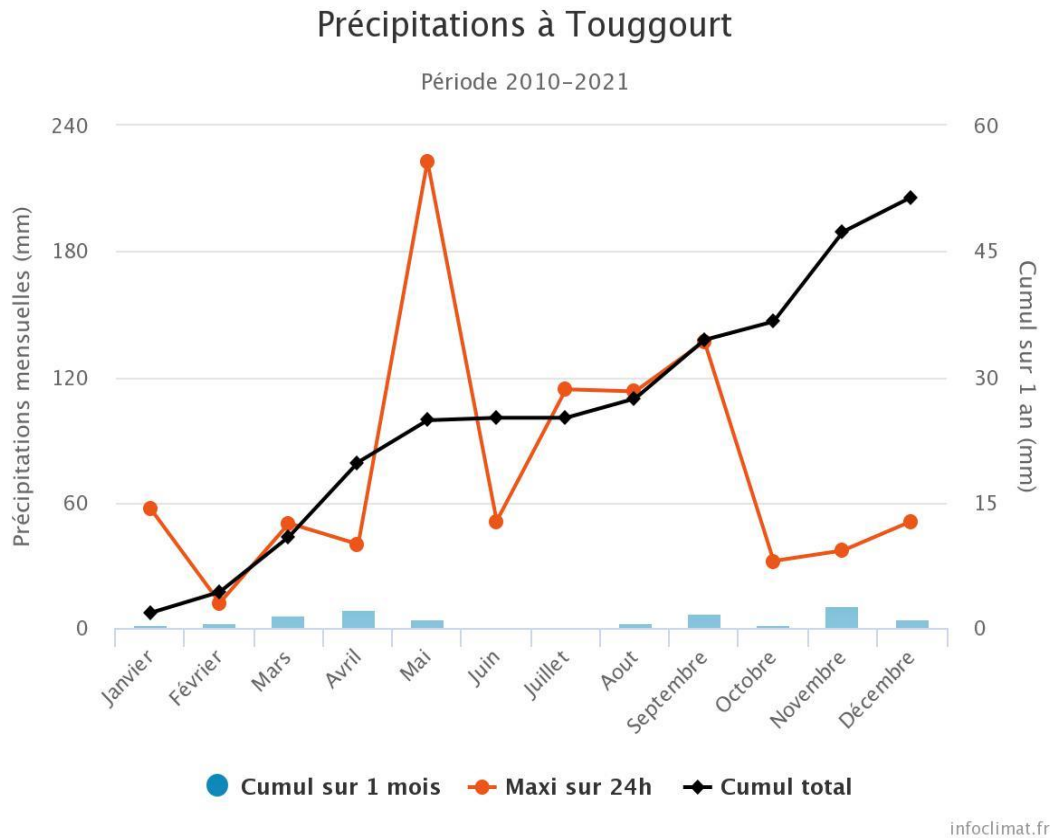


Figure I.5: Précipitations moyennes-Touggourt (2010-2021). [01]

I.2.3.2. Interprétation des résultats :

L’histogramme de répartition des moyennes mensuelles précipitations montre que : La pluviométrie maximale est de l’ordre de 51.5 mm pendant le mois de Décembre, et le minimum est de l’ordre de 1.8 mm observé pendant le mois de janvier. Ces résultats restent très faibles pour participer à l’alimentation de la nappe.

I.2.5.Synthèse climatique de la région :

I.2.5.1. Diagramme Pluvio-Thermique :

Les valeurs des précipitations et des températures enregistrées au niveau de la station météorologique de Touggourt sur une période de 10 années, permettent l’établissement du diagramme pluviothermique, (Suivant Gaussen et Bagnoles). Un mois sec est celui où le total moyen des précipitations (mm) est inférieur ou égale au double de la température moyenne (°C) du même mois. Le diagramme pluvio-thermique montre que la période sèche est étendue sur plupart des mois de l’année dans la zone d’étude.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dés
Tmoy (°C)	11.8	13.7	17.2	22.2	26.6	31.8	34.9	33.9	30.0	23.6	16.9	12.4
Pmoy (mm)	1.8	2.5	6.7	8.9	4.9	0.3	0.0	2.3	7.1	2.1	10.7	4.2

Tableau. I.3 : Valeurs moyennes mensuelles des précipitations et des températures (2010-2021). [01]

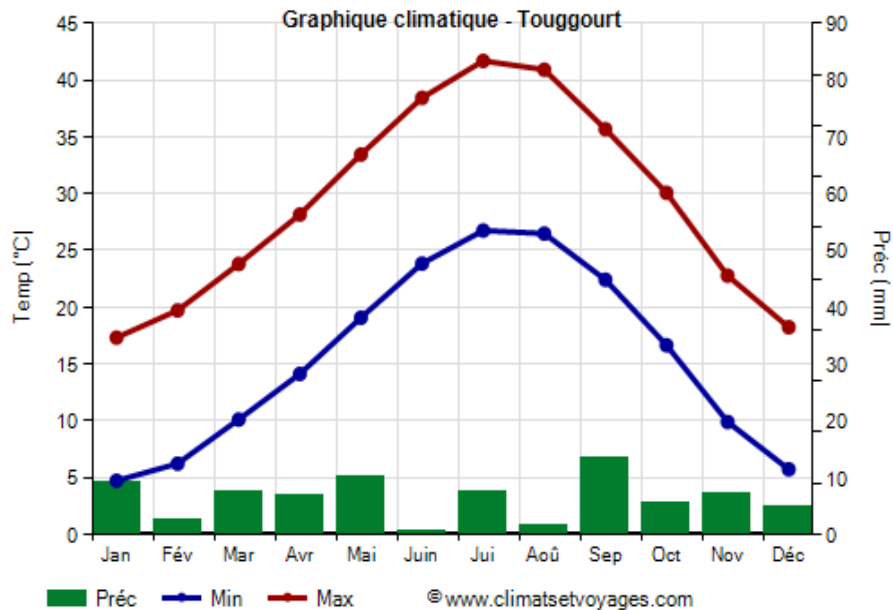


Figure I.7: Graphique climatique-Touggourt. [14]

A partir de cette courbe, on constate que l'année hydrologique de la région d'étude est désertique (période sèche) elle caractérise par une faible précipitation et une température très élevé.

I.3. Identification hydrogéologique :

Le bassin sédimentaire du Sahara Septentrional constitue un vaste bassin hydrogéologique d'une superficie de 780000 km². On distingue deux grands ensembles Post-Paléozoïques, constituant deux systèmes aquifères séparés par une épaisse série argileuse et évaporitiques de la base du Crétacé Sud. Il s'agit de continental intercalaire et le complexe terminale

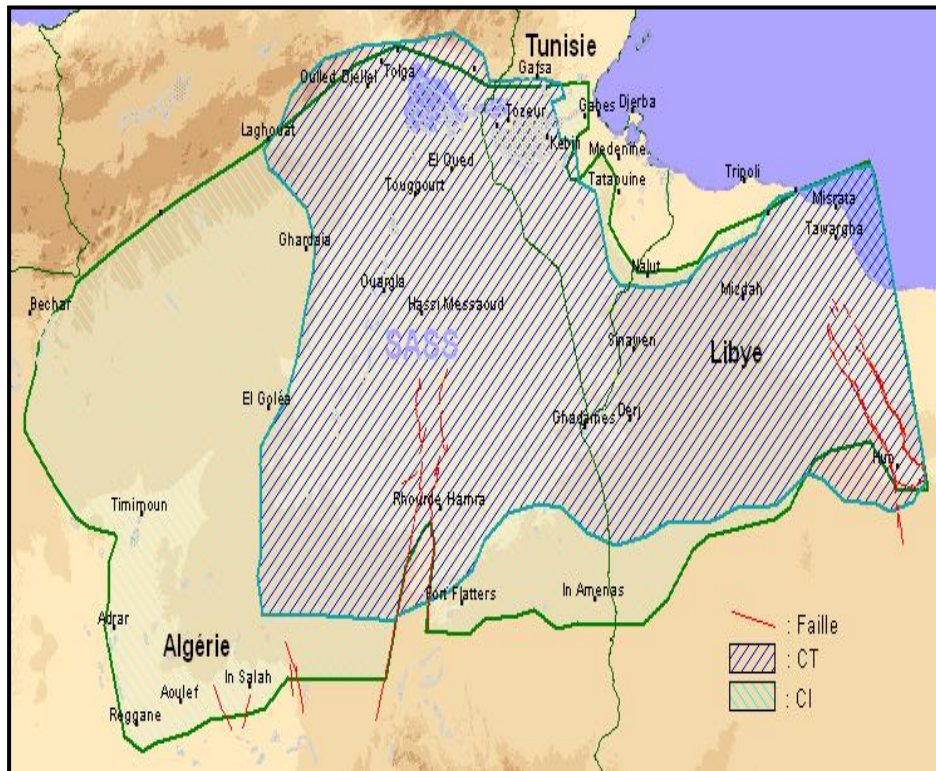


Figure I.8: Carte de l'extension géographique des aquifères de continental intercalaire et complexe terminal. [12]

D'après le schéma explicatif des différents réservoirs hydrogéologiques du Sahara algérien (Fig.07) deux grands systèmes aquifères présentent les ressources en eaux souterraines dans la vallée de la wilaya :

- ↪ Le complexe terminal .
- ↪ Le continental intercalaire.

Sans marginaliser bien sur la nappe phréatique.

I.3.1.Le complexe terminal :

D'après la classification d'André Cornet, trois nappes principales :

I.3.1.1.La première nappe (CT1) :

C'est la nappe des sables du miocène supérieur à grains moyens et fins, la profondeur de cette nappe est varié entre 50m à Blidet amor et 140m à sidi mahdi sont débit varie entre (20-30) l/s en moyen, cette nappe souffre d'un rabattement très important.

La salinité est très remarquable ($C_e > 4.5$ m.s/cm), la nappe est exploitée pour l'irrigation.

I.3.1.2.La deuxième nappe (CT2) :

Cette nappe est constitué des sables et grés du Mi pliocène séparé du CT1 par un passage imperméable d'aspect argileux, moins exploitée que CT1, la profondeur varie entre 117 m à

Blidet amor et 165 m à sidi mahdi, le débit est plus important que CT1 (30-50) l/s, le rabattement est moins important.

I.3.1.3.La troisième nappe (CT3) :

Cette nappe est constitué des calcaires de l'éocène et sénonien calcaire séparé du CT2 par un banc d'argile, le toit de la nappe situé à une profondeur de 150m environ le débit est très important, au contraire le rabattement est marginale.

Dans la région de Touggourt, la nappe est exploitée par quelques forages très limités, la salinité est très importante dans quelques endroits (ouest de nazla). [13]

I.3.2.Le continental intercalaire (C I) :

Cette nappe est constitué des sables, des grés avec des passages d'argile et sable argileux, c'est le réservoir le plus profond (>1700 m) et le plus riche dans la région.

Le C I est jaillissant (>18 bar à tête fermé), il est en générale exploité pour l'AEP et par fois pour l'irrigation, ses eaux caractérisent par une résistivité passable, le débit est très important (>150 l/s), la nappe de C I s'étend sur plus de 760000 km² (Eress 1972). [13]

I.3.3.La nappe phréatique :

Elle est constitué en générale des sables sa profondeur a tendance de diminuer du sud vers le nord (1.34m à Blidet amor-0.70m à Sidi Slimane), elle est en tout très faible et parfois l'eau affleure sur le sol (marécages).

Les eaux de cette nappe présentent une grande conductivité (CE =12 ms/cm) l'alimentation de la nappe est assurée par les eaux de drainage des palmerais et du gaspillage des réseaux d'AEP et irrigation.



Figure I.9: L'affleurement de la nappe phréatique dans la zone d'El MEGGARIN
(Lac lalla fatna).

CONCLUSION :

Le climat de la région se caractérise par une grande sécheresse de l'atmosphère laquelle se traduit par un énorme déficit, et d'évaporation considérable ainsi la très forte insolation due à la faible nébulosité qui sous cette altitude donne l'importance accrue aux phénomènes thermiques.

Le climat saharien se caractérise par des étés aux chaleurs torrides et des hivers doux surtout pendant la journée.

Au cœur du Sahara on peut assister à des phénomènes inhabituels comme les pluies torrentielles durant certaines années exceptionnelles.

Les ressources en eau, qui existent dans la zone d'étude, sont, essentiellement, d'origine souterraine, donc la zone d'étude se compose des nappes suivantes :

- ❖ La nappe phréatique;
- ❖ La nappe de complexe terminal;
- ❖ La nappe de continental intercalaire.

Chapitre II:
Techniques, Équipements et
Techniques, Équipements et
Suivi de la réalisation
du forage

Introduction :

Dans le forage, le rôle de l'ingénieur chargé du contrôle et du suivi des travaux est primordial. Il doit, en association avec l'entreprise :

- définir les modalités de la foration (diamètre et type de foration),
- choisir le fluide de foration adéquat et l'adapter au fur et à mesure de son évolution au contact des terrains rencontrés,
- résoudre les problèmes spécifiques à l'équipement, à la mise en place du tubage
- déterminer le type de développement idéal en fonction des caractéristiques hydrogéologiques, et en définir le principe et la durée.

Dans ce chapitre nous présentons les différentes techniques utilisées dans la foration, et la technique utilisée dans notre cas est le rotary à la boue benthonique, parce qu'elle est adéquate, grâce à ses avantages, comme elle est la plus utilisée dans la région.

Nous présentons les étapes et les équipements qui ont été utilisés au cours de la réalisation du forage, objet de notre étude et suivi comment réalisé cette forage.

II.1. Organisation du chantier de forage :

L'organisation de chantier est basée sur les moyens humains et matériels pour assurer la bonne exécution des travaux de réalisation d'un forage suivant conditions les normes techniques mentionnée dans le contrat de marché.

Les éléments nécessaires pour L'organisation de chantier sont :

- ✓ Un périmètre de sécurité autour du chantier.
- ✓ Un accès facile pour les véhicules (le transport des machines et des matériaux).
- ✓ Placement de L'appareil de forage sur une plate-forme de béton.
- ✓ La pompe à boue installe entre le bac à boue et l'appareil de forage.
- ✓ Espace de stockage des produit chimique (bentonite et ciment.....etc.).
- ✓ Bourbier de débile cutine et un réservoir d'eau.
- ✓ Un espace de stockage de matérielle lourd (compresseur, tige de forage).
- ✓ Un approvisionnement en eau (citernes d'eau).
- ✓ Un accès facile pour le remplissage des fosses.
- ✓ Un endroit sec pour la rédaction.

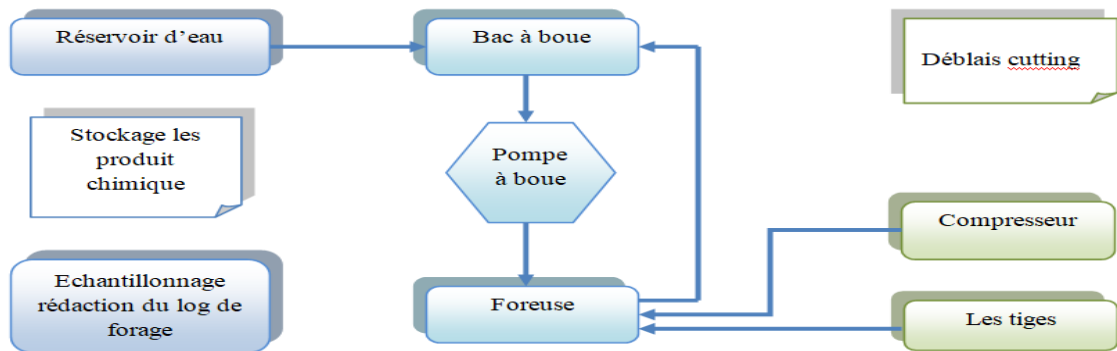


Figure II.1: Schéma descriptif de l'organisation du chantier d'un forage

II.2. Formation d'exécution du forage :

- Maître de l'œuvre : ANRH (Agence National des Ressource Hydraulique) Unité Territoriale de Touggourt.
- Maître d'ouvrage: ONID Touggourt (Office National de l'Irrigation et du Drainage).
- L'entreprise de réalisation des travaux : SPA TASSILI HASSI MESSAOUD
- Date début des travaux : 20/02/2020
- Date fin des travaux : 18/05/2022.

II.3. Objectif du sondage :

Réalisation d'un forage dans la nappe du Continental Intercalaire à la région de Sidi Mehdi Touggourt destiné pour l'irrigation des palmeraies agricoles de profondeur **1840 m**

II.4. Choix de méthode de réalisation :

Il existe des nombreux méthodes pour la réalisation de forage qui dépend les paramètres : Forage au marteau fond de trou (MFT) ; Le forage au rotary ; Forage en circulation inverse ; Forage par battage ; Forage par havage ; Forage à la tarière; Les techniques de forage manuel ...).

La technique utilisée dans notre cas est **le rotary à la boue Bentonitique**, parce qu'elle est adéquate, grâce à ses avantages, comme elle est la plus utilisée dans la région.

II.4.1. La technique rotary :

Le technique rotary est divisé en deux types : Forage rotary circulation directe et Forage rotary circulation inverse. Dans notre étude, nous nous dépendons du rotary circulation directe.

Elle est utilisée spécialement dans les terrains sédimentaires non consolidés pour les machines légères, mais les machines puissantes de rotary peuvent travailler dans les terrains

durs (pétroliers). Un outil appelé trillâmes (ou tricônes), est mis en rotation depuis la surface du sol par l'intermédiaire d'un train de tiges. L'avancement de l'outil s'effectue par abrasion et broyage (deux effets) du terrain sans choc, mais uniquement par translation et rotation (deux mouvements). Le mouvement de translation est fourni principalement par le poids des tiges au-dessus de l'outil. La circulation d'un fluide (liquide visqueux : la boue) permet de remonter les cutines à la surface. La boue est injectée à l'intérieur des tiges par une tête d'injection à l'aide d'une pompe à boue, et remonte dans l'espace annulaire en mouvement ascensionnel, en circuit fermé sans interruption. [05]

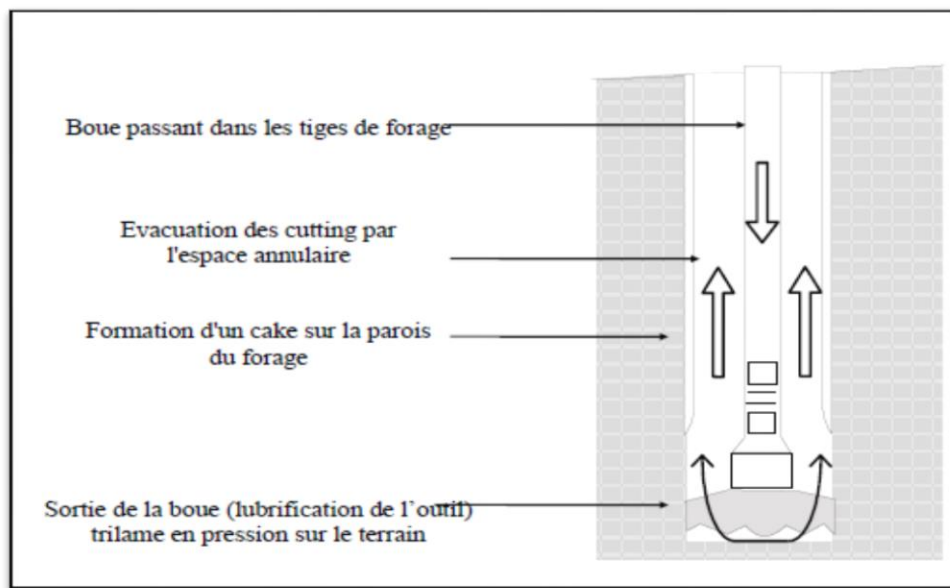


Figure II.2: Schéma descriptif la principe du Rotary (simple). [04]

II.4.2. Les avantages du forage au rotary :

- La perméabilité de la formation autour du trou est peu perturbée par le fluide de forage
- Les forages de grands diamètres sont exécutés rapidement et économiquement
- Pas de tubage pendant la foration ;
- Facilité de mise en place de la crépine ;
- Bon rendements dans les terrains tendres ;
- Consommation economies de l'énergie. [06]

II.4.3. Les inconvénients du forage à rotary :

- Nécessite beaucoup d'eau ;
- Nécessite un grand investissement (matériel très importants) ;
- Seul les sites accessibles peuvent être forés avec ce matériel lourd ;

- Nécessité d'un fluide de forage qui ne permet pas d'observation directe de la qualité des eaux des formations traversées.
 - Colmatage possible des formations aquifères par utilisation de certaines boues (bentonite). [06]

II.5. Les équipements de forage :

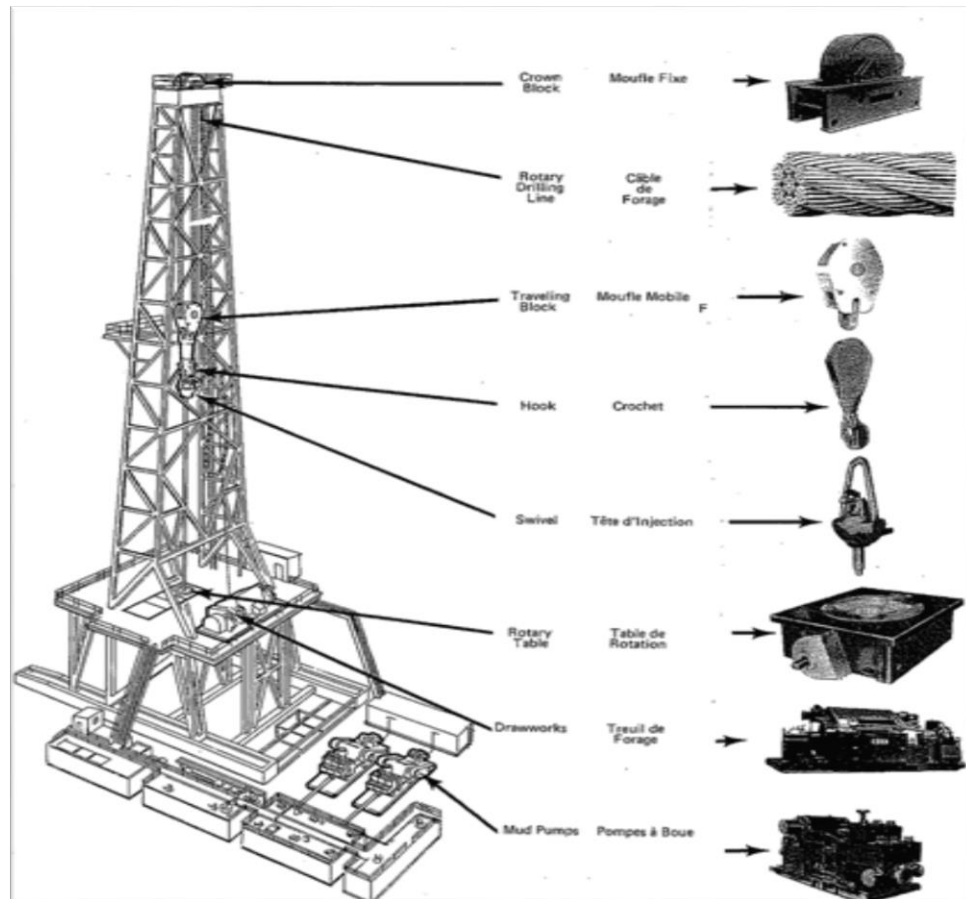


Figure II.3 : Description d'un équipement de forage rotary.

II.5.1. L'appareil de forage :

Leur rôle est de réaliser dans les meilleures conditions techniques, économiques et de sécurité un trou reliant un réservoir d'eau à la surface.

Est adapté aux besoins de puissance requis par le programme de forage constitue un souci permanent pour la réussite de l'opération de forage (rapport qualité/prix le plus élevé possible tout en respectant les exigences sécuritaires).

Un appareil surdimensionné entraîne des coûts supplémentaires, tandis qu'un appareil sous dimensionné augmente les risques et limite les possibilités de traction en cas de coincement de la garniture.



Figure II.4: L'appareil du forage (TASSILI 123). [02]

II.5.2. Les composants de l'appareil de forage :

L'appareil de forage est constitué de deux parties:

II.5.2.1. Équipements de surface : ils sont repartis comme suit:

➤ **Équipements de levage :** Il est composé de:

✓ **Mât:**

C'est une structure métallique de forme pyramidale allongée. Le Mât est utilisé sur les appareils terrestres et peut être démontable, repliable ou télescopique.

Dans le forage d'eau qui se limite à des profondeurs peu importantes les appareils de forage utilisent le plus souvent des mâts télescopiques supporté par un camion ou une remorque. Ces mâts peuvent être haubanés, c'est-à-dire stabilisé par plusieurs câbles d'encrage. Il supporte toutes les charges du forage :

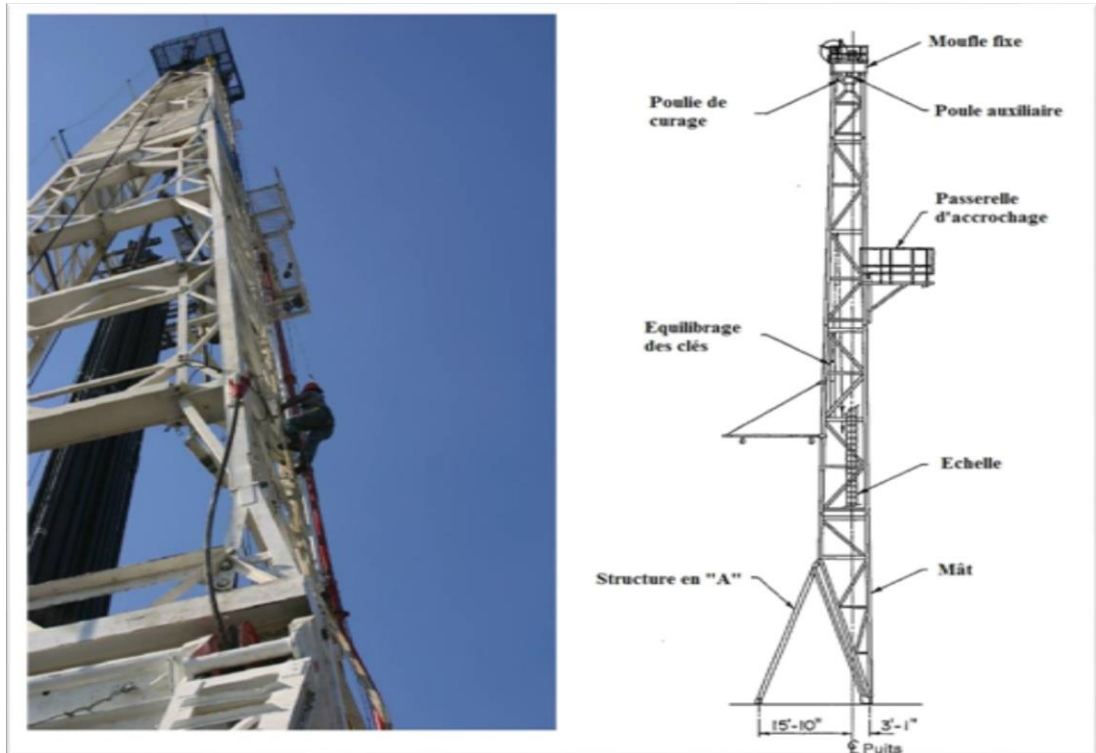


Figure II.5 : Mât d'appareil de forage.

✓ **Moufle mobile :**

Le moufle mobile est un assemblage de poulie sur laquelle est fixé le crochet.

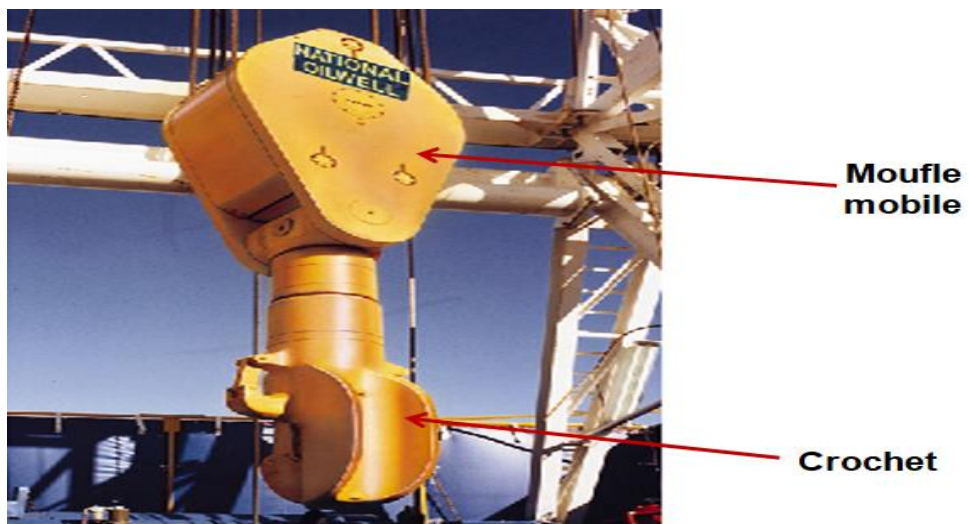


Figure II.6: Moufle mobile et le crochet.

✓ **Moufle fixe :**

Le moufle fixe est un assemblage de poulie situé au sommet de la tour. Le câble de forage passe sur ces poulies et constitue le moufleage.

✓ **Le câble de forage :**

Le câble de forage est constitué d'âme métallique sur laquelle on enroule six torons de fils d'acier. Le câblage des fils de torons est en général de sens inverse du câblage du toron sur l'âme, ceci donne une caractéristique raide (dure) et anti giratoire du câble de forage. Le diamètre du câble de forage est très variable mais ne dépasse pas 1,5 pouce (3,8 cm) en général.

L'ancrage du câble de forage se fait sur la portion reliant le moufle fixe avec inducteur de poids, sur l'écran de cet appareil qu'on peut lire la mesure de la tension du câble qui permet de connaître le poids suspendu au crochet.



Figure II.7: câble de forage.



Figure II.8: Indicateur de poids. [02]

✓ **Le Treuil :**

C'est un tambour autour duquel s'enroule le câble de forage .il est équipée de deux jantes qui servent au freinage et il se fait au contact des jantes avec les bandes métallique. Tire et alimente le câble de forage, en levant ou descendant la garniture de forage, il permet de contrôler la vitesse du moufle mobile et le poids exercé sur l'outil.



Figure II.9: Treuil de forage. [02]

➤ **Équipements de puissance :**

La force motrice sur un appareil de forage fournit l'énergie nécessaire au fonctionnement de différentes fonctions de l'appareil de forage (levage, rotation, Pompage, équipements de traitement de la boue, éclairage et autres).

➤ **Équipements de rotation :**

La puissance de la rotation de la garniture de forage est communiquée par la Table de Rotation (Rotary Table) et le carrée d'entraînement.

✓ **La table de rotation (rotary table) :**

La puissance de la rotation de la garniture de forage est communiquée par la Table de Rotation (Rotary Table) et le carrée d'entraînement.

C'est une machine de rotation utilisée pour tourner la garniture de forage. Elle est attachée au carrée d'entraînement articulé à la tige carrée qui fait tourner la garniture de forage.

Pendant les manœuvres, la table de rotation supporte le poids de la garniture en même temps qu'elle est utilisée pour dévisser rapidement les tiges.



Figure II.10: table de rotation.

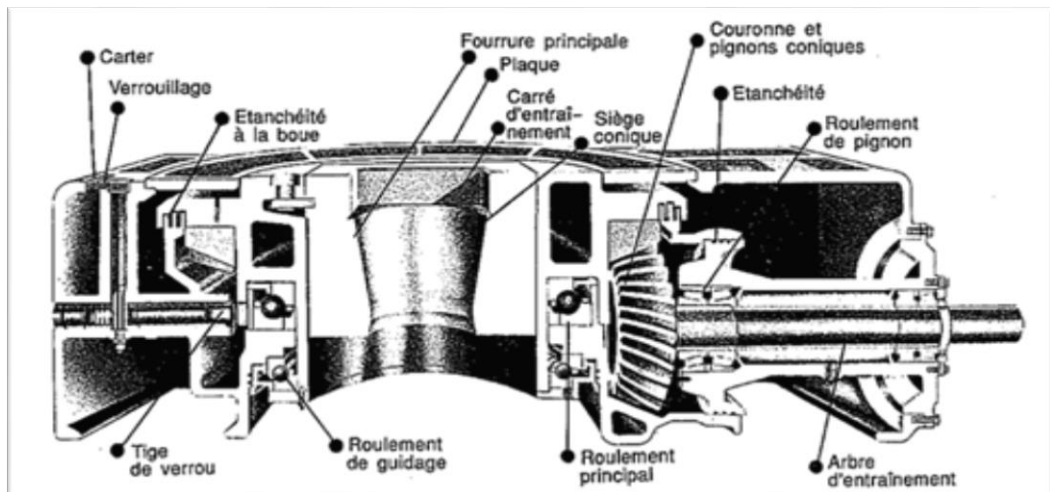


Figure II.11 : Nomenclature de la table de rotation.

✓ **La tige d'entraînement (carrée) :**

La tige d'entraînement est caractérisée par sa longueur occupée par le profil carré ou son hexagonal (longueur utile).

Les tiges d'entraînement normalisées par l'API possèdent une longueur totale de 12,19 m.

Les tiges d'entraînement comportent en général un filetage 6"5/8 femelle à gauche à leur partie supérieure pour le raccordement sur la tête d'injection qui permet simultanément l'injection de la boue et la rotation de la tige carré (le filetage est à gauche pour éviter le dévissage à droite pendant le forage).

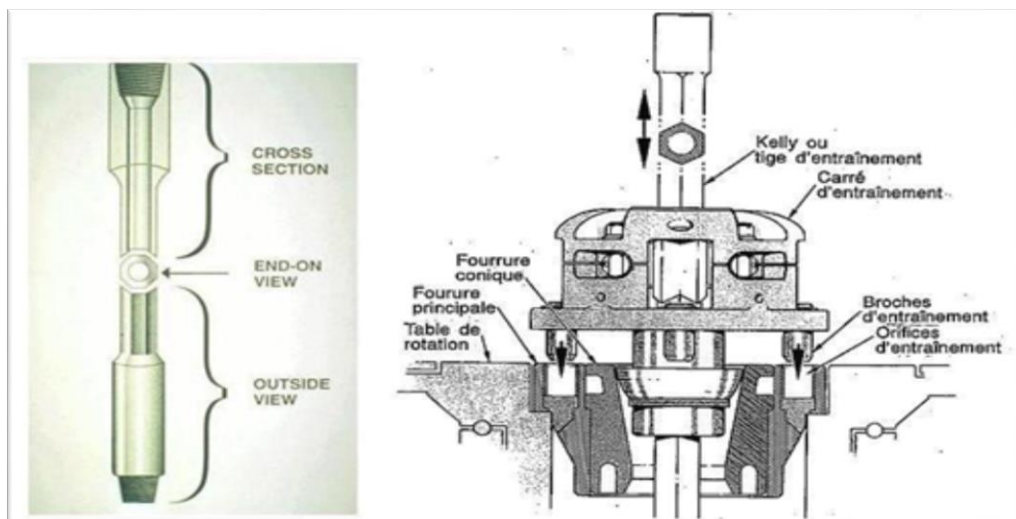


Figure II.12 : Tige d'entraînement

✓ Le carré d'entraînement :

Le mouvement de rotation est transmis par la table à la tige d'entraînement par l'intermédiaire d'un carré d'entraînement, le carré est solidaire à la table de rotation durant la rotation de celle-ci par l'intermédiaire d'une fourrure principale.

✓ La clé à tiges ou tenaille :

C'est une clé utilisée pour serrer et desserrer les tiges de forage et les masses tiges.

Deux jeux de clés sont utilisés, un pour tenir la garniture de forage et l'autre pour serrer le joint.

Ils sont appelés les clés de vissage et de dévissage de tiges



Figure II.13: clé à tiges. [02]

➤ Équipements de circulation :

Le système de circulation composé des équipements par lesquels circule la boue de forage. Il s'agit :

✓ Bacs à Boue :

Ce sont des bassins, souvent en acier (lieu de stockage de la boue) on distingue trois types de bacs selon leurs rôles :

- ❖ les bacs sous vibrateurs
- ❖ les bacs de décantation
- ❖ les bacs à boue



Figure II.14: bac à boue. [02]

✓ **Pompes à boue :**

Son rôle principale est d'aspirer les fluides de forage à partir des bacs à boue à travers la conduite d'aspiration.



Figure II.15: Pompes à boue. [02]

✓ **La conduite d'aspiration.**

✓ **La conduite de refoulement.**

✓ **Colonne montante :** C'est une tige verticale située sur le côté du plancher.

✓ **Flexible d'injection :**

C'est le flexible du forage rotatif, qui conduit les fluides de la colonne montante à la tête d'injection et la tige carrée.

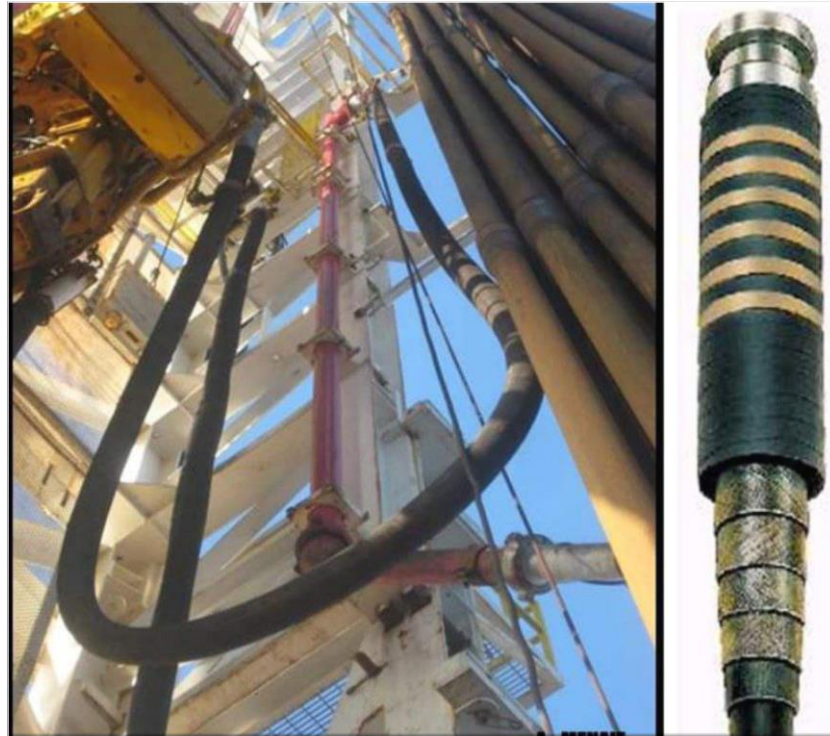


Figure II.16: Flexible d'injection.

✓ **La tête d'injection :**

Rôle de la tête d'injection :

- Permet la circulation de la boue jusqu'au trépan.
- Supporte le poids de la garniture pendant le forage.
- relie entre la partie fixe et la partie mobile

La durée de vie de la tête d'injection dépend de la charge et de la vitesse de rotation.



Figure II.17: Tête d'injection.

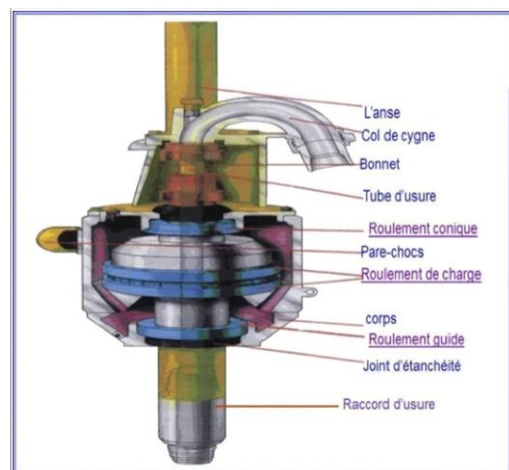


Figure II.18: Description de la tête d'injection.

- **Les Tamis vibrants d'échantillons (Cutting) :**

Il a placé après la conduite de refoulement de la boue pour tamisage les cutines de forer pour descriptif lithologique du puits.



Figure II.19: Tamis vibrant. [02]

II.5.2.2. Équipements de fond :

La garniture de forage, appelée aussi train de sonde ou assemblage de fond, est un arbre reliant l'outil travaillant au fond du puits avec l'équipement de surface, c'est donc le moyen de liaison entre le fond et la surface. Elle transmette à l'outil le mouvement de rotation fournit par la table de rotation, transmette le poids sur l'outil essentiellement par les massettes. Ces équipements constituent l'ensemble de la garniture de forage:

- ✓ **Tiges de forage :**

Les tiges de forage permettent la transmission de la rotation de la table à l'outil et le passage du fluide de forage jusqu'à ce dernier. Joint mâle Corps Joint femelle Elles doivent travailler en tension pour éviter leur frottement contre les parois du puits, qui peuvent causer leur usure et les éboulements des parois, et la déviation.

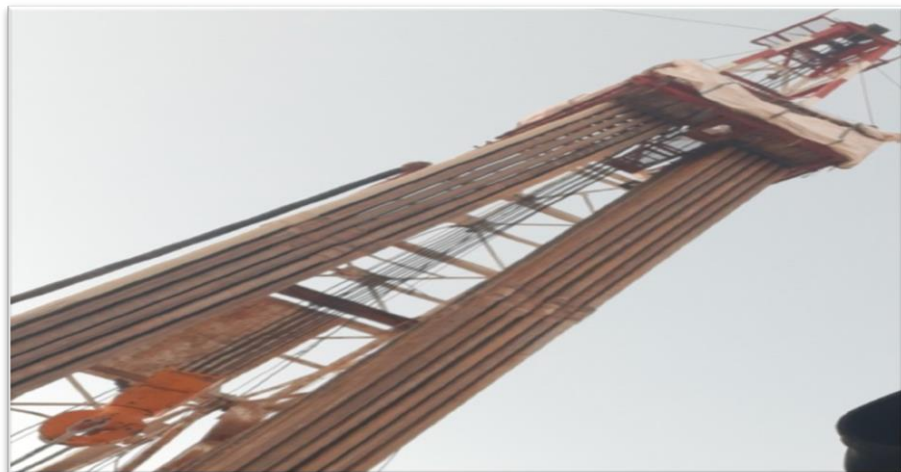


Figure II.20: Tiges de forage. [02]

Langueur	Diamètre	Épaisseur
19 m	5"	S35

Tableau. II.1: Caractéristiques des tiges utilisées.

✓ Les masse – tiges :

Les masse-tiges permettent de : mettre du poids sur l'outil pour éviter de faire travailler les tiges de forage en compression. Le poids utilisable des masse-tiges ne devra pas excéder 80% de leur poids total dans la boue ; Jouer le rôle du plomb du fil à plomb pour forer un trou aussi droit et vertical que possible. Elles ne rempliront pleinement ces conditions que si elles sont aussi rigides que possible donc aussi largement dimensionnées que possible.

Poids	diamètre
+ de 140 kg	9"

Tableau. II.2: Caractéristiques des masse-tiges utilisées.



Figure II.21: masse – tiges. [15]

✓ Aléseurs :

Ils sont intercalés dans le train de sonde, leurs rôle est l'alésage des parois de puits d'une part, d'autre part ils ont un rôle analogue à celui des stabilisateurs

✓ Outil de forage :

C'est le premier élément qui s'attaque au terrain, les outils sont classer selon la nature des terrains.

La phase	La longueur de foration	diamètre
1	45 m	36"
2	267 m	26"
3	1091 m	17" ^{1/2}
4	447 m	12" ^{1/4}

Tableau. II.3: Caractéristiques des Outils de forage utilisés.

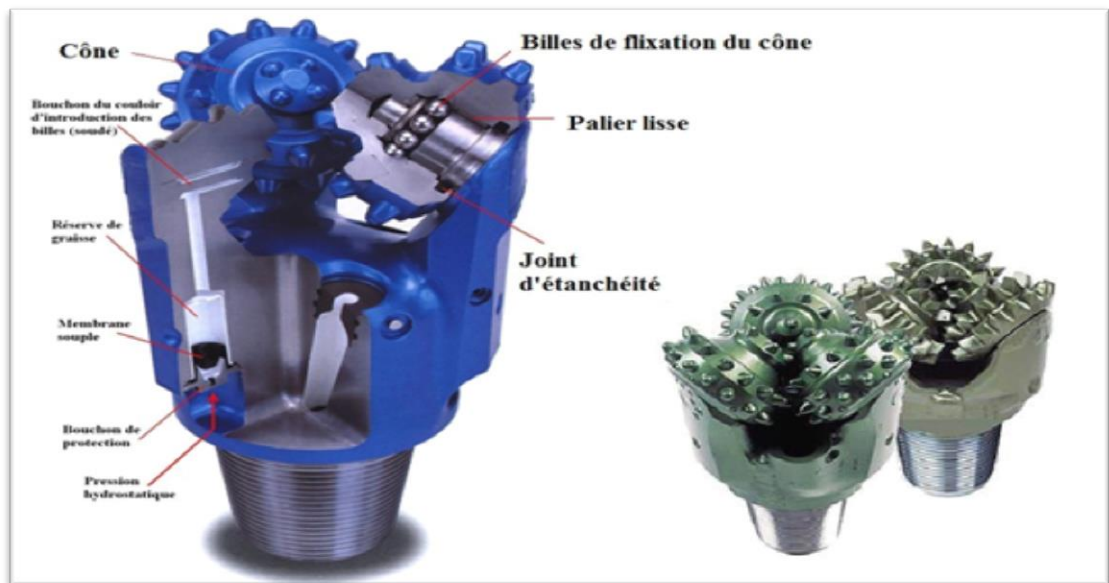


Figure II.22: Outil de forage (tricônes).

II.6. Les phases de Réalisation de forage :

II.6.1 :1^{ère} phase (Tube guide) :

- Installation du chantier, construction de plate-forme, bassins et rigoles.
- Commencer le forage de trou à profondeur de 45 m par un outil de $\varnothing 36''$.
- Mise en place de tube guide casing API de diamètre $\varnothing 28''$ de 0 à 45 m.
- Cimenter l'espace annulaire (Trou-Casing) avec laitier de ciment HTS de densité 1.8 de 45 m jusqu'à retour en surface.
- Attente d'une 48 h pour la prise de ciment.

II.6.2 :2^{ème} phase (La Colonne technique) :

- Continue le forage par outil de $\varnothing 12''^{1/4}$ de 45 m à 312 m.
- Elargissage et alésage en $\varnothing 26''$ de (45 - 312) m.
- Mise en place de la colonne technique $\varnothing 18''^{5/8}$ API avec des centreurs et gratteur de cake de 0 jusqu'à 312 m.

- Nettoyer le puits par la circulation de la boue de forage.
- Cimentation de tubage Ø 18^{5/8} API avec laitier de ciment HTS de densité 1.8 de 312 m jusqu'à retour en surface.
- Attente la prise de ciment d'une durée 48 h.

II.6.3 :3^{ème} phase (La Colonne de production):

- Continue le forage par l'outil de Ø 17^{1/2} de 312 m à 1403 m.
- Lire les enregistrements (logging) de RES-GR-INC du puits.
- Mise en place de la colonne de production Ø 13^{3/8} API avec des centreurs et gratteur de cake de 0 jusqu'à 1403 m, avec un DV en hauteur de 900 m.
- Nettoyer le puits par la circulation de la boue de forage.
- Cimenter le tubage Ø 13^{3/8} API avec laitier de ciment HTS de densité 1.6 et 1.8 de 1403 m par un volume en deux étages.
- Attente la prise de ciment d'une durée 48 h.

II.6.4 :4^{ème} phase (la Colonne de captage) :

(Colonne de production casing API Ø 9^{5/8} qualité (k55, poids 40 lb/ft) Raccordé avec colonne de captage Inox Ø 8^{5/8})

- Forage en Outil Ø 12^{1/4} de (1403-1850) m.
- Mise en place de la colonne de production API Ø 9^{5/8} de (0-1403) m'y compris DV de cimentation + Packer liner Hanger + réduction 9^{5/8} × 8^{5/8} + raccord diélectrique.
- Descente colonne de captage Inox Ø 8^{5/8} (1403-1850) m.
- Lire les enregistrements (logging) de CBL de la 3^{ème} phase.
- Cimenter l'espace annulaire entre deux casing API : Ø 13^{3/8} et Ø 9^{5/8} de densité 1,75 de la cote 0 m au 1394 m.
- Attente la prise du ciment d'une durée 48 heures.

II.7.Fluides de forage (La boue de forage) :

La boue de forage a une importance capitale pour la réalisation d'un forage.

Le succès technique et économique d'une opération de forage d'un puits dépend par une large part de la qualité du fluide de forage utilisé.

Le coût de fluide de forage proprement dit est relativement faible par rapport au coût de globale des opérations, mais l'optimisation de la composition de fluide en fonction des caractéristiques de la formation a foré réduire efficacement le coût de puits.

L'établissement d'un programme de boue constitue une opération primordiale pour la réussite d'un forage.

Il s'agit en effet de choisir les caractéristiques de la boue afin qu'on puisse atteindre l'objectif dans les meilleures conditions techniques, économiques et de sécurité.

Un programme de boue a pour but de déterminer les types des boues, la qualité et les techniques adoptées aux exigences du forage considéré, afin d'avoir le prix de revient le plus possible.

II.7.1. Rôles de la boue de forage :

Les boues de forage doivent avoir les propriétés leur permettant d'optimiser les fonctions suivantes :

- ↻ nettoyage du puits.
- ↻ maintien des cuttings en suspension (très important dans le cas où il se produit un arrêt de circulation).
- ↻ sédimentation des déblais fins en surface.
- ↻ refroidissement et lubrification de l'outil et du train de sonde.
- ↻ la facilité et le contrôle des opérations de mise en place du gravie et de cimentation..
- ↻ prévention du cavage et des resserrements des parois du puits.
- ↻ dépôt d'un cake imperméable.
- ↻ Prévention des venues d'eau, de gaz, ou d'huile.
- ↻ augmentation de la vitesse d'avancement.
- ↻ entraînement de l'outil.
- ↻ diminution du poids apparent du matériel de sondage.
- ↻ apport de renseignements sur le sondage.
- ↻ contamination des formations productrices.
- ↻ corrosion et usure du matériel.
- ↻ toxicité et sécurité.

II.7.2. Le choix de la boue :

Le choix du fluide de forage dépend des facteurs : (nature des terrains, type d'équipement, possibilité d'approvisionnement en eau et en produits, etc.). En général, les fluides à base d'eau, composés d'argile ou d'additifs polymères, seront utilisés dans les formations non consolidées.

Quel que soit le choix effectué, la réussite dépend principalement des dosages, du choix des additifs et des caractéristiques physico-chimiques des terrains et de l'eau des formations rencontrées

Dans notre étude, la boue qui a été choisie est la boue **Bentonitique**

II.7.2.1. Les bentonites :

Les bentonites sont des argiles sodiques du type montmorillonite qui présentent la propriété de se disperser dans l'eau douce en absorbant de grandes quantités d'eau.

Les bentonites sont employées pour augmenter la viscosité et les gels des boues douces et diminuer leur filtrat. En milieu salé (plus de 35 g/l de Na Cl), les bentonites sont inefficaces et ne servent alors que de support colloïdal.

les bentonites sont livrées en sacs papier poids net : 25 ou 50 kg, Big Bag de 1 t ou en vrac directement dans des silos. [04]

II.7.3. Caractéristiques de la boue de forage :

❖ Viscosité :

Pour transporter les déblais et gels pour les maintenir en suspension lorsque la circulation est arrêtée, permet aussi une boue possédant une viscosité correcte permet : d'avoir un outil bien dégagé, une bonne remontée des cuttings, réduire les pertes de charge dans le train de sonde et le dépôt plus rapide des cuttings dans les fosses de décantation.

Mesure de la viscosité : Viscosimètre Marsh, Viscosimètre Fan (permet de construire le rhéogramme)

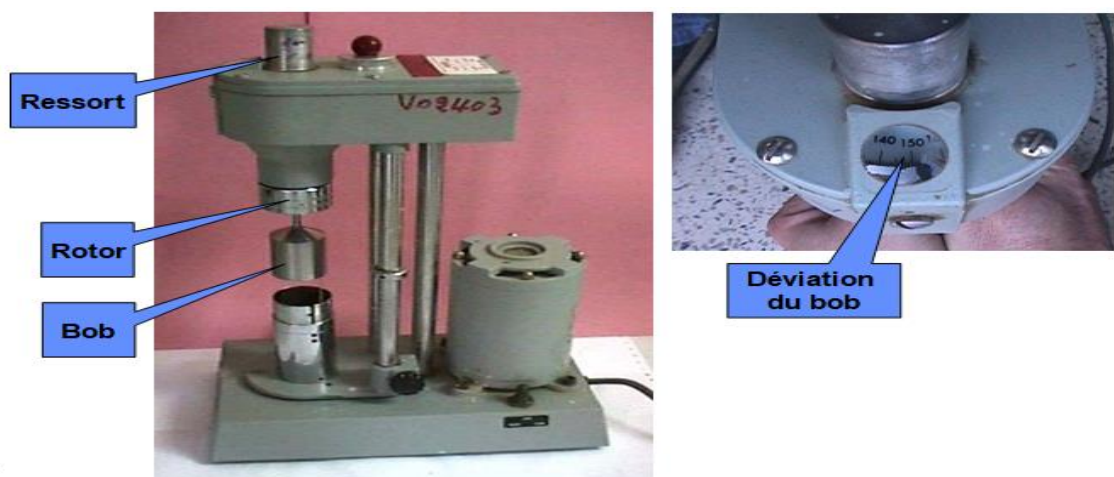


Figure II.23 : Viscosimètre Fan.

❖ Cake et filtrat :

Dans une formation perméable, la boue a tendance à laisser passer de l'eau au travers de la paroi (filtrat) et à déposer une couche d'argile (cake) sur cette dernière. Dans tous les cas, la nature du cake et du filtrat sera fonction de la composition initiale de la boue. Or, comme nous l'avons vu, ces propriétés peuvent évoluer lors de la foration. Il est donc important de contrôler régulièrement le cake et le filtrat.

Si le filtrat est trop grand (cake trop fin), les parois ne sont pas tenues et des éboulements risquent de se produire. Si le filtrat est trop faible (cake trop épais), la boue risque de colmater la formation aquifère.

Les mesures sont effectuées avec une presse Baroïd dans laquelle on dispose un échantillon de boue qui sera égoutté. Il faut alors noter le volume de filtrat recueilli en un temps donné ainsi que l'épaisseur et la consistance du cake obtenu.

❖ Teneur en solides :

Il est évident que la présence de sable dans la boue est néfaste à cause de son caractère abrasif (problèmes d'usure des tubes, flexibles, pompes etc.). Il augmente également la densité de la boue et risque, en cas de dépôts importants sur le fond, de bloquer la garniture. On estime généralement que la teneur maximale admissible de sable dans une boue est de 5 %. On peut la mesurer grâce à un électromètre.

L'élimination du sable se fait par l'intermédiaire de bacs ou fosses de décantation ou par des sableurs centrifuges.

❖ PH:

Le pH permet d'apprécier l'acidité ou l'alcalinité de la boue de forage. Si le pH est compris entre 0 et 5, la solution est acide ; entre 6 et 8, elle est neutre ; au-delà de 8, elle est basique (alcaline). La mesure du pH est importante car elle révèle la contamination par le ciment ou par l'eau de la couche aquifère si sa valeur est supérieure à 10 ou 11. Par contre, si elle est inférieure à 7, les risques de floculations sont à redouter. La mesure du pH doit être faite sur le filtrat.



Figure II.24: Balance à boue (densimètres).

❖ **Densité :**

Habituellement, forage puits ouvert (forage overbalanced), la boue doit avoir une densité suffisante pour empêcher l'entrée des fluides de formation à l'intérieur du puits et pour tenir les parois du trou. Si entrée de fluides de formation dans le puits (venue), nécessité de fermer le puits en surface. La densité ne doit pas être trop élevée pour ne pas ralentir le forage, avoir de pertes et / ou fracturer les formations traversées,

La densité : l'un des paramètres le plus surveillé pendant le forage.

Mesure de la densité : Balance à boue, densimètres.

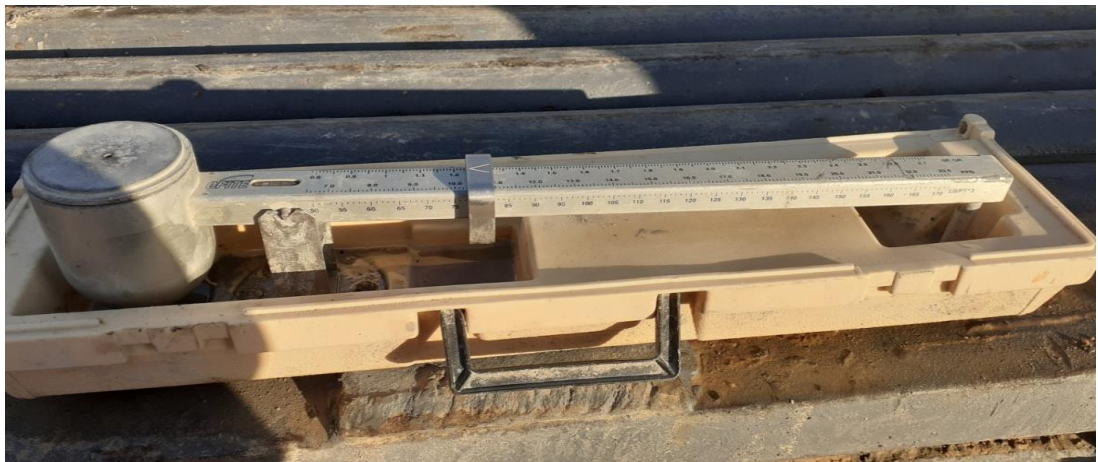


Figure II.25: Balance à boue (Densimètre).

Dans notre étude utilisons les caractéristiques suivant :

Cake	filtrat	Viscosité	Densité	PH
5 mm max	(5 – 10) Cm ³	(40 – 50) Secondes Marsch	(1.2)	(7.5 – 8)

Tableau. II.4: les caractéristiques de la boue de forage utilisé. [02]

II.7.4. Circuits de fluides de forage :

La circulation de fluides dans le forage s'opère en deux modes :

- ✓ Circulation normale.
- ✓ Circulation inverse.

Dans notre étude la circulation applicable est la **circulation normale** :

Dans le circuit normal le fluide se refoule dans le train de tiges à partir de la pompe à boue (à partir de compresseur s'il s'agit de l'air comprimé), circulant de haut en bas pour sortir au fond du forage à travers les trous de l'outil de forage (trépan), se mélange avec le cuttings, puis le mélange fluide- cuttings remonte, dans l'espace annulaire (espace entre les parois de forage et les parois de tubings) pour rejoindre la fosse à boue où s'effectue l'échantillonnage, l'analyse, le traitement, l'ajustement et la décantation ; puis de nouveau il sera aspiré par la pompe à boue pour qu'il sera refoulé vers le train de tiges, et ainsi de suite.

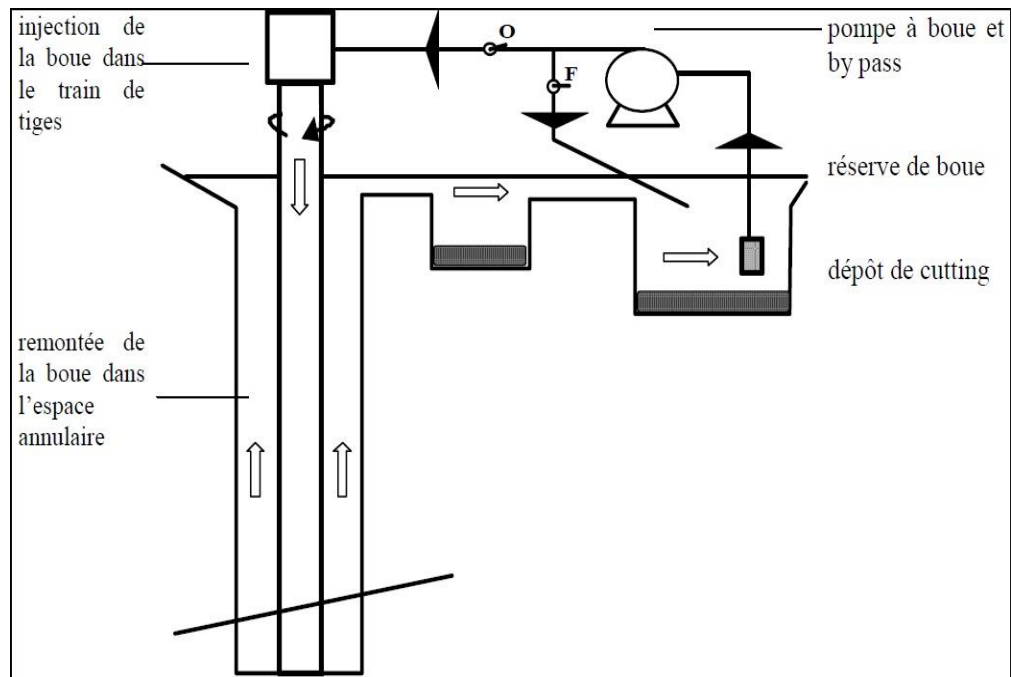


Figure II.26 : Circuit de la boue de forage. [09]

II.8. Description géologique :

Les déblais ascendants sont prélevés lorsque la boue de forage circule mètre par mètre pour l'étude stratigraphique du puits, où les déblais sont placés après nettoyé et séchés dans de petits sacs numérotés, pour nous permettre lorsque de la prise pour étude géologique de tracer une Log stratigraphique synthétique de notre forage à Sidi Mehdi.

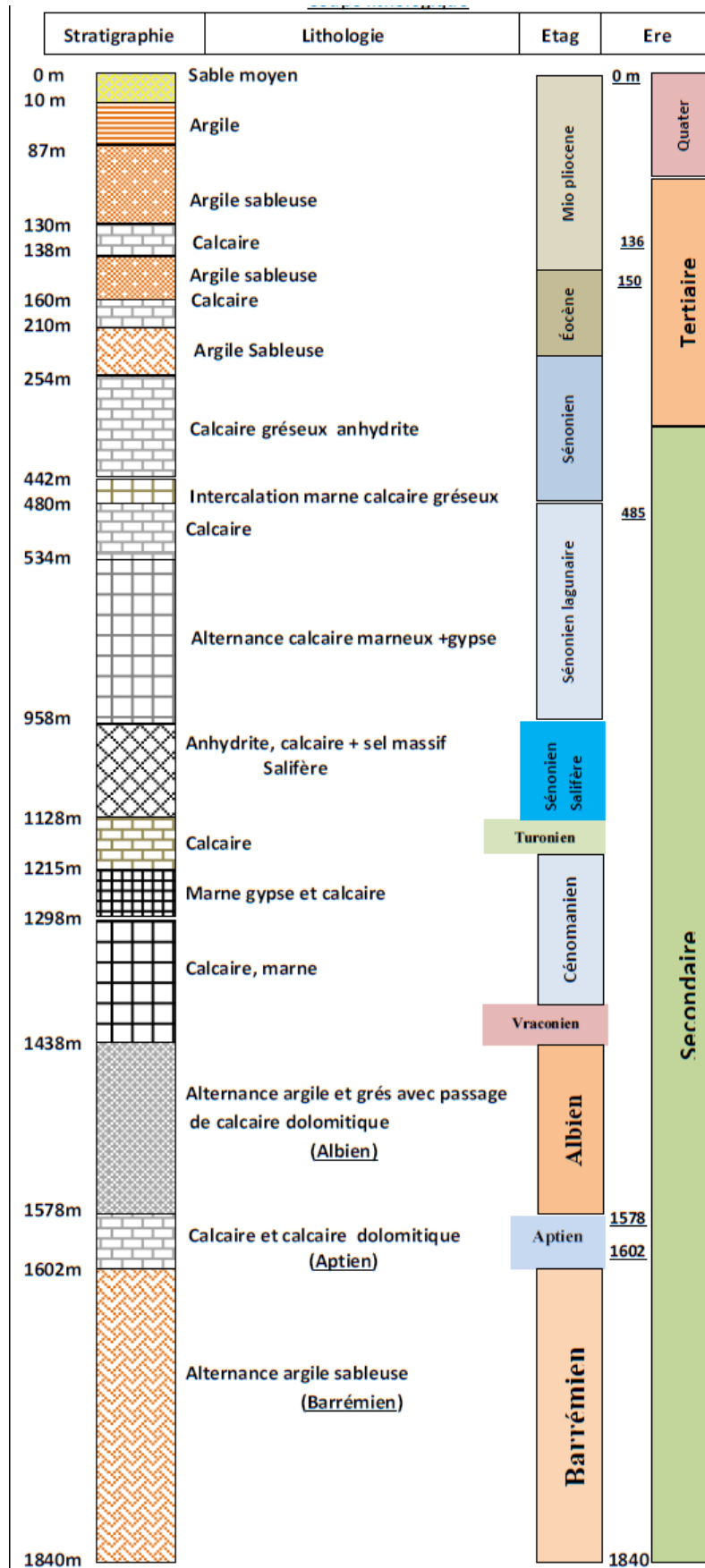


Figure II.27 : Coupe lithologique de forage profond Sidi Mahdi Touggourt (Sans échelle).

II.9. Le Tubage et la Crépine :

Le tubage d'un puits de forage est une opération qui consiste à descendre dans le puits une colonne de tubes afin de protéger les parois de l'intervalle foré. Pour cela, l'équipement installé dans le forage (tubage, crépine et gravier additionnel) doit être adapté au diamètre du forage, au débit sollicité, prévenant de l'aquifère nous permet de l'exploitation de l'ouvrage de façon productive.

Donc l'équipement du forage se compose d'une colonne d'exploitation qui est constituée de tube plein, de crépine au droit de la formation aquifère à capter.

II.9.1. Le tubage :

II.9.1.1. Rôles de tubage :

- ❖ Empêcher les parois de s'effondrer et pouvoir continuer le forage sans problèmes dans bonnes conditions techniques.
- ❖ Séparer toutes les couches incompatibles traversées (aquifères, gazée et pétrolières).
- ❖ Séparer les couches à faible pression.
- ❖ Sécurité et mise en place de l'équipement de production tout le long du puits.

II.9.1.2. Choix de tubage utilisé:

Le casing et les tubings utilisés sont des tuyaux normalisés par American Petroleum Institute (API) à Critère de production: API 5CT.

À la suite de l'avancement de ces dernières années, faisant usage du produit est beaucoup plus importante. Il est utilisé généralement dans l'huile, gaz, méthane de houille, réseau d'aqueduc, centrales électriques thermiques, conduite forcée hydroélectricité, centrales électriques thermiques, conception de dragage, ainsi que d'autres secteurs. Ils sont caractérisés par :

- La géométrie du corps tube.
- Leur nuance d'acier ou grade.
- La géométrie du manchon de raccordement.

Tubage	Diamètre	Longueur
API	28''	45 m
API	18'' 5/8	312 m
API	13'' 3/8	1403 m
API	9''5/8	1394m

Tableau. II.5: Tubages utilisées.

II.9.1.3. Préparation de la colonne:

Cette préparation s'effectue généralement pendant les jours de forage qui précèdent l'opération de tubage.

Les tubes sont stockés sur le pare de la sonde en couches successives (pas plus de trois couches), de façon que l'ordre normal de manutention corresponde à la composition prévue pour la colonne.

Au fur et à mesure des arrivages sur le chantier, les tubes sont identifiés (grade D'acier, épaisseur, filetage) et mesurés au décimètre. Ils sont alors numérotés afin que chacun soit repéré sans ambiguïté. Caractéristiques et longueurs sont notées sur un cahier. Puis les tubes sont triés et mis en ordre sur le pare dans l'ordre de descente.

Les protecteurs de filetage aux deux extrémités sont ôtés et les joints sont nettoyés et graissés. Seul le protecteur de l'extrémité male est remis en place pour protéger le filetage pendant la manutention.

Remarque :

Avant descendre de tubage dans la troisième phase, nous devons étudier et lire les diagrammes de RES-INC-GR qui enregistrent du puits et ensuite nous descendons le tubage de 13^{3/8}.

II.9.1.3. Accessoires de tubages:

La préparation de la colonne comporte en outre la mise en place de quelques accessoires d'habillage de la Colonne :

II.9.1.3.1.Sabot :

Généralement de forme arrondie, Facilite la descente et le guidage de la colonne et permet la pénétration directe de la boue dans le tubage lors de la descente.

Il est également disponible en plusieurs types.



Figure II.28 : Sabot de tubage.

II.9.1.3.2. Centreurs :

Le centrage d'une colonne est un paramètre déterminant pour l'obtention d'une bonne cimentation. Il existe des règles de centrage pour les puits verticaux et déviés.

Suivant qu'ils sont situés à l'intérieur d'un tubage ou bien au droit du découvert, les centreurs sont de type rigide ou bien de type souple :

- Les Centreurs rigides : Avec lames en "U", ils sont utilisés aux espaces annulaires (tubage-tubage).

-Les Centreurs souples :(droits et spiralé) : sont utilisés aux espaces annulaires (tubage -trou).



Figure II.29 : Différents centreurs de tubage.



Figure II.30 : Montage d'un centreur avec un stop collar. [07]

II.9.1.3.3. Gratteurs (scratcher) :

Les gratteurs servent à la destruction mécanique du cake et favorisent une meilleure adhérence du ciment sur la formation. Leur emploi est particulièrement recommandé au droit des couvertures lorsque l'on veut isoler parfaitement des niveaux réservoirs. Face à des terrains poreux et ayant une perméabilité assez élevée, l'élimination du cake par les gratteurs ne sera pas forcément un critère pour l'obtention d'une bonne cimentation, d'autres phénomènes pouvant perturber la qualité du laitier (filtration, déshydratation ...).

Les gratteurs seront choisis en fonction du mouvement que l'on compte imposer à la colonne pendant la cimentation.

- rotation : gratteurs rotatifs,
- va-et-vient (reciprocating) : gratteurs alternatifs.

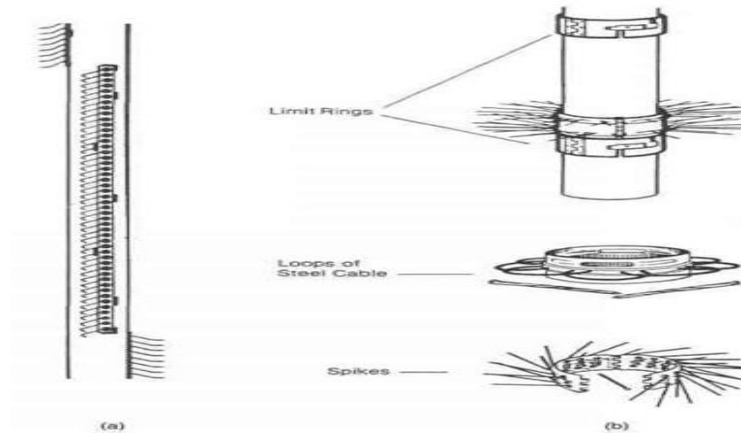


Figure II.31 : Différents types de gratteurs. [11]

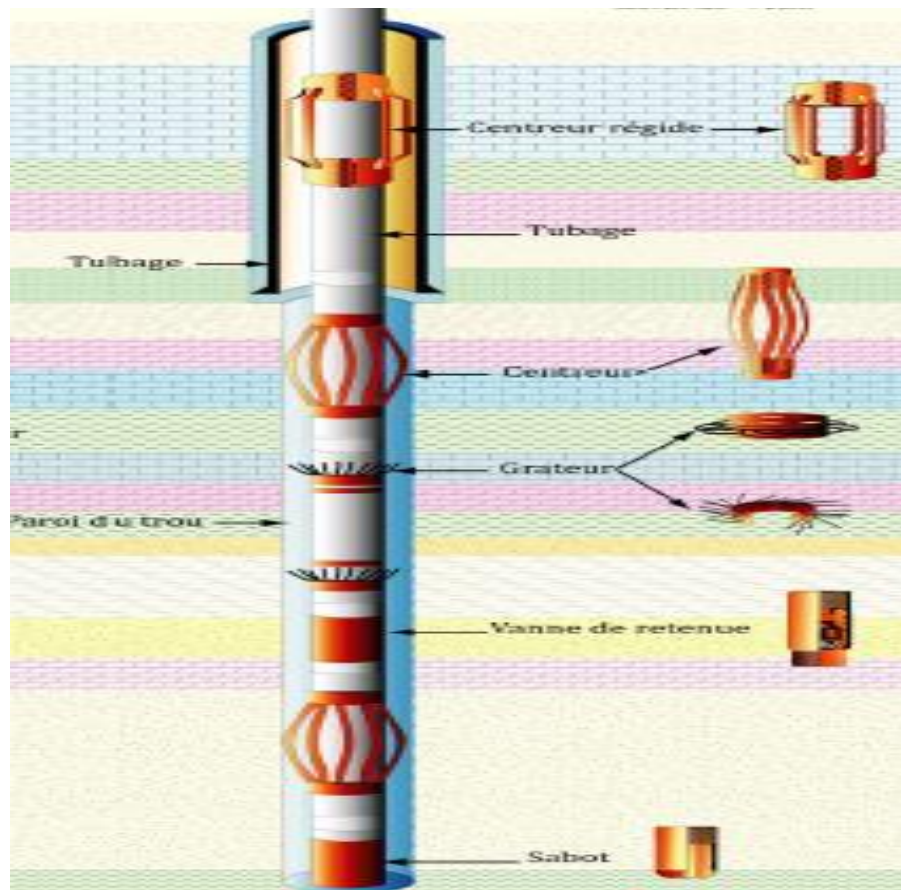


Figure II.32 : Exemple de colonne de tubage.

II.9.2. La crépine :

La crépine est un tubage perforé et qui permet la pénétration de l'eau de l'aquifère. Elle est placée à la suite du tubage plein, face à une partie ou à la totalité de la formation aquifère, elle constitue l'équipement principal de forage hydraulique.

II.9.2.1. Choix de la crépine :

le choix de type de crépine, son longueur, sa nature sont directement fonction de la formation ou la nappe à capter, du niveau de rabattement maximal, et de la nature de l'aquifère, prise en compte Les caractéristiques géométriques de la crépine (taille, densité et forme des ouvertures (slot)).

La crépine doit répondre aux critères suivants :

- Assuré la production maximale d'eau claire sans sable.
- Résister à la corrosion due à des eaux agressives.
- Résister à la pression d'écrasement exercée par la formation aquifère en cours d'exploitation.
- Assuré une longévité pour l'ouvrage.
- Réduire les pertes de charge.
- résister à la corrosion due à des eaux chaude.

Le type qui choisit dans notre cas est de crépine **INOX Johnson**.



Figure II.33 : crépine INOX Johnson utilisée.



Figure II.34 : Caractéristiques de crépine utilisée. [02]

II.9.2.2. Composants de la colonne de Captage :

Il se compose à :

{ 14 Tubes pleins Johnson $\text{Ø}8''^{5/8}$ 115.7 m } + { 37 Crépines soit 329.3 m } + { Sabot de décantation INOX (8.9 m) En $\text{Ø}8''^{5/8}$ }

II.9.2.3. Accessoires de miss en place de la crépine :

II.9.2.3.1 : Raccord diélectrique :

Son rôle est de relier le tube plein de diamètre $9''^{5/8}$ et la crépine de diamètre $8''^{5/8}$ lors de descente la colonne de captage.



Figure II.35 : Raccord diélectrique. [02]

II.9.2.3.2 : Liner Hanger Packer :

Un liner Hanger, comme son nom l'indique, sécurise et soutient le liner. Il utilise des glissements mécaniques pour saisir l'intérieur du tubage à une distance prédéterminée au-dessus du sabot de tubage. L'espace entre le support de chemise et le sabot de tubage est appelé tour de chemise. Les suspentes de revêtement peuvent être réglées hydrauliquement, mécaniquement ou un mélange des deux. La plupart des revêtements sont cimentés au support de revêtement. Certains systèmes sont conçus pour permettre la rotation du revêtement après la mise en place de la suspension, car il a été démontré que la capacité de rotation améliore l'adhérence du ciment, en particulier dans les puits longs à angle élevé.⁴ Le prix d'une meilleure intégrité du ciment est un système de suspension mécaniquement plus complexe.

Certains systèmes de suspension de chemise ont un réceptacle à alésage poli (PBR) au-dessus de la suspension de chemise. Cela permet à la base du tube de production d'être enfoncée dans le haut du revêtement, fournissant à la fois un joint et un conduit continu pour les fluides produits



Figure II.36 : Mécanique Liner Hanger Packer qualité d'origine.



Figure II.37 : Liner Hanger Packer (fabriqué en chine). [02]

II.9.2.3.3. Les étapes de l'ancrage de Liner Hanger Packer Dans le forage profond à la 4^{ème} Phase :

- 1- Vérifier Liner Hanger Packer (Chiens, ressorts et autre accessoires...);
- 2- Contrôler le poids du **liner** (Crépines + tubes pleins + poids de moufle);
- 3- Contrôler le poids total du (**liner** + **Casing** Ø 9 " 5/8 + poids de moufle);
- 4- Enregistrements du poids liner vers le haut et vers le bas ;
- 5- Suivre l'évolution du poids du liner Hanger au martin decker ;
- 6- Lors de la descente du garniture ne pas tourner liner avec la colonne de captage pour ; éviter le risque d'ouverture ;
- 7- Ne pas mettre les centreurs sur le line ;
- 8- A la fin de la descente de la garniture dégagez un **01 mètre** comme un repère tracé pour atteindre la cote de l'ancrage;
- 9- A l'aide de la clé à chaîne en tourne la garniture à droite avec une descente lente suivie d'une vitesse constante sans dépasser le repère tracé. (**01m**) ;
- 10- A la fin de l'ancrage le poids total (**Liner** + **Casing**) doit diminuer la valeur du poids de **liner** ;
- 11- Le martin decker indique uniquement le poids de **casing** ce la justifier la réussite d'opération de l'ancrage ;
- 12- En ajoute **3 tonnes** pour mesure de sécurité.
- 13- Fin opération de l'ancrage ;
- 14- Début de la circulation (retour de la boue en surface).

Remarque :

Le programme prévisionnelle nécessaire à la descente de la colonne de captage est composée de :

Joints Inox (Tubes plein + Crépines Johnson) Ø 9' 5/8 raccorder par les accessoires : (Raccord diélectrique + Liner Hanger Packer + Anneau de cimentation + DV) accompagné des équipements casing API Ø 9' 5/8.

Conclusion :

La réalisation d'un forage d'eau souterraine est une entreprise délicate qui met en œuvre une suite d'opérations exigeant la maîtrise de nombreuses techniques spécialisées dont dépendent son succès, sa productivité et sa durée de vie. Toute défaillance se traduit inmanquablement par des difficultés d'exploitation.

Par conséquent, la réussite d'une telle réalisation est intimement liée au choix judicieux des différentes méthodes et équipements qui ont été abordés dans ce chapitre. Dans ce cadre, on a vu avec les ingénieurs déterminer la méthode de forage et l'équipement nécessaire pour cela, ainsi que choisir la boue de forage appropriée. Nous avons également suivi l'opération de tubage après avoir sélectionné les tubes et les crépines appropriés pour le forage.

CHAPITRE III :
l'opération de Cimentation.

Introduction :

La cimentation d'un tubage dans un forage est une opération capitale pour la préservation de la qualité des eaux souterraines et la durée de vie de l'ouvrage. C'est une opération importante lors de la réalisation d'un ouvrage de captage des eaux.

La réussite du forage et sa longévité dépendront d'une grande partie de cette opération.

Qu'il s'agisse donc d'isoler diverses formations géologiques ou tout simplement de protéger la tête de forage contre les éventuelles pollutions provenant de la surface, il faut procéder à une opération de cimentation de l'espace annulaire sur la profondeur de puits.

Dans ce chapitre, nous définirons tout ce qui concerne l'opération de cimentation et suivrons ses différentes étapes.

III.1. La cimentation :

La cimentation consiste à injecter dans le trou un laitier de ciment (**mélange ciment + eau**), soit pour cimenter une colonne de tubage (casing), soit pour mettre en place un bouchon de ciment dans le but de colmater une perte.

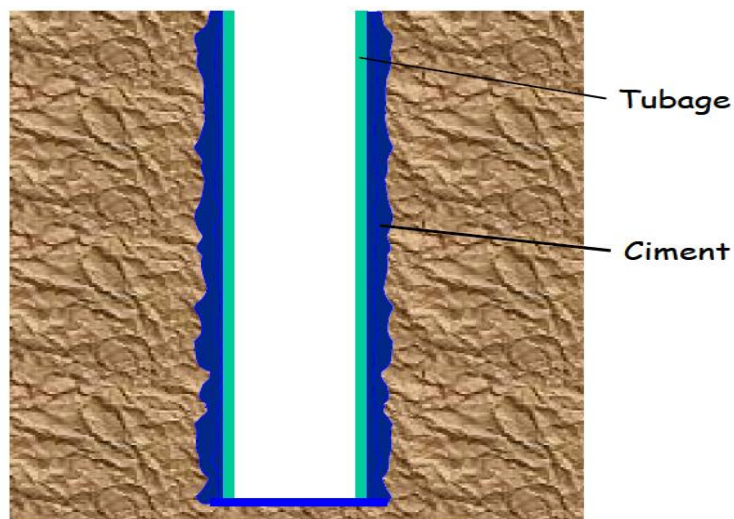


Figure.III.1 : Exemple d'une colonne de tubage cimenté. [10]

III.2. Objectifs de la cimentation :

- Isoler formations productives.
- Protéger les niveaux aquifères de la pollution.
- Éviter l'éboulement du trou, supporter la paroi du trou.
- Ancrer et suspendre les tubages.
- Fixer les colonnes de tubage au terrain et assurer un bon ancrage de celles-ci.

- Permettre la mise en tension des tubes.
- Faire un isolation thermique.
- prévenir le dévissage des tubes pendant le forage.
- Canaliser en surface les fluides exploités.
- Réaliser la séparation entre les différentes couches productrices pouvant contenir des fluides différents à des pressions différentes.
- Fermer les couches à haute pression pour éliminer les risques d'éruption.
- Protéger les colonnes contre les agents chimiques et la corrosion électrochimique.
- Il faudra donc obtenir la meilleure étanchéité possible derrière la colonne de tubage.

III.3.Choix de la qualité de ciment :

Pour mener à bien la cimentation d'un puits, le foreur dispose de plusieurs classes de ciment, définies par les normes A.P.I. Il faut noter qu'il existe sur le marché bon nombre de ciments, notamment ceux à prise rapide, qui peuvent être utilisés et ce, de façon à réduire l'immobilisation de l'atelier (du chantier) de forage.

Le choix de la qualité de ciment et l'adjonction d'éventuels additifs doivent être décidés en fonction des paramètres suivants :

- 1 – La nature des formations géologiques et des eaux rencontrées ;
- 2 – La température des terrains traversés come notre cas de forage profonds ;
- 3 – Du volume de ciment à employer ;
- 4 – De la vitesse de prise du laitier de ciment utilisé ;
- 5 – La résistance du laitier aux divers contaminants probablement présents dans le trou ;
- 6 – La résistance finale du ciment à l'écrasement après prise.

La qualité de ciment choisi dans notre étude est le ciment à haute teneur en sulfate (HTS) en raison de sa cohérence avec les paramètres précédemment mentionnés en ce qui concerne ce forage.

III.4.Matériel et outils de cimentation :

La préparation pour l'opération de cimentation d'une colonne comporte en outre la mise en place de quelques outils et apporter un peu de matériel, pour le bon fonctionnement d'opération de cimentation.

En plus du matériel d'habillage de la Colonne de tubage (Sabot, Centreurs, Gratteurs), il nous faut :

III.4.1. Les anneaux de retenue :

Les anneaux de retenue servent d'épaulement aux bouchons racleurs (inférieur et supérieur) qui encadrent le volume de laitier de ciment dans le casing.

La fonction de l'anneau de retenue est donc de servir de siège au(x) bouchon(s) de cimentation, selon les cas ou selon les techniques des compagnies. L'anneau de retenue est placé de 10 à 20m au-dessus de sabot de guidage et constitue donc une base pour les bouchons de cimentation. On distingue :

Les anneaux conventionnels (utilisés pour les cimentations à un seul étage) ;

Les anneaux différentiels (utilisés pour la cimentation à deux étages ou étagées).

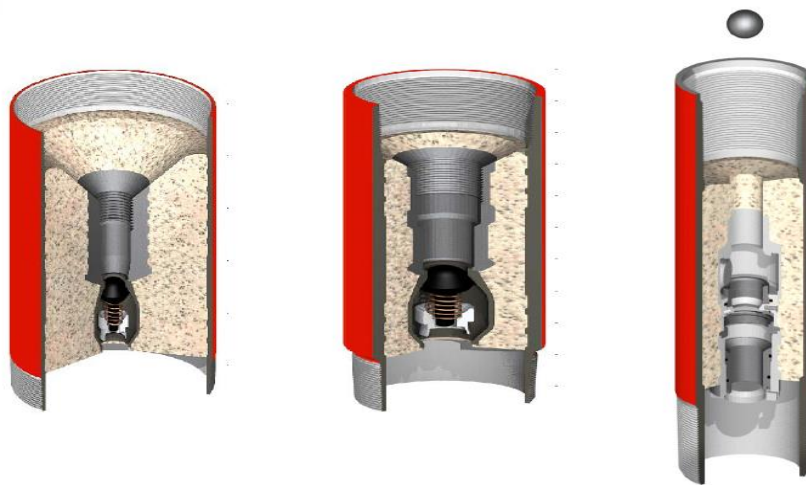


Figure.III.2.Différents types d'anneaux de retenue. [11]

III.4.2.Bouchonne de cimentation :

Ces bouchons sont introduits à l'intérieur de la colonne de tubage, au cours de l'opération de cimentation.

On distingue :

III.4.2.1.Bouchon inférieur :

Ce bouchon assure une séparation entre le laitier et la boue (ou le tampon d'eau) retardant au maximum le contact pour éviter la pollution du laitier par la boue pendant son passage à l'intérieur de la colonne. Par ailleurs, au cours de sa descente, il racle la paroi intérieure du tubage et la nettoie.

Ce bouchon, muni extérieurement de lèvres en caoutchouc destinées à racler le tubage, possède une ouverture centrale cylindrique fermée par une mince membrane. Lorsque le bouchon arrive sur l'anneau de retenue, la membrane se crève et laisse passer le laitier qui peut ainsi poursuivre son chemin.

III.4.2.2. Bouchon supérieur :

Contrairement au précédent, ce bouchon est un bouchon plein qui peut résister à des pressions importantes.

Il est libéré après l'injection du laitier et fait connaître que la cimentation est terminée quand il arrive sur le bouchon inférieur au niveau de l'anneau de retenue (coup de pression...).



Figure.III.3 : Bouchonne de cimentation. [02]

III.4.3. La tête de cimentation :

Elles sont généralement conçues pour contenir deux bouchons ; plusieurs capacités de pression sont disponibles en accord avec les capacités du casing. Elle doit permettre la circulation de la boue de forage, l'injection du laitier après le largage du bouchon inférieur, la chasse du bouchon supérieur avec la boue initiale.

Les systèmes de retenue des bouchons sont constitués soit par une tirette de retenue qui est tirée vers l'extérieur pour libérer le bouchon, soit par une demi-bague qui est manœuvrée depuis l'extérieur.

Normalement, il existe sur ces têtes un témoin qui permet de voir le départ du bouchon. La mise en place et le verrouillage de bouchons dans la tête doit être fait sérieusement, plusieurs cimentations ont été ratées parce que les bouchons sont partis intempestivement ou qu'ils ne sont pas partis du tout.



Figure.III.4 : Tête de cimentation.

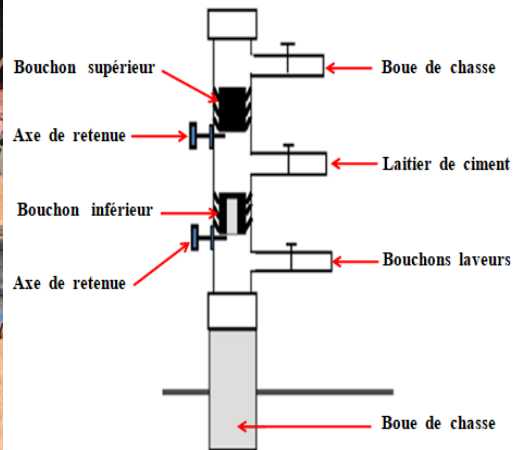


Figure.III.5 : schéma descriptif de Tête C

III.4.4.L'Unités de cimentation :

Les unités de cimentation offrent possibilité d'effectuer certaines opérations simultanément telles que :

Le mixage du ciment et des additifs afin d'obtenir un laitier correspondant aux caractéristiques désirées pour chaque type particulier d'opération.

Le pompage du laitier de ciment obtenu avec une grande flexibilité de vitesse et pression de pompage.

Ces unités de pompage sont composées de deux pompes Triplex, à grand débit et hautes pressions, montées soit sur camion soit sur skip.



Figure.III.6 : Unités de cimentation. [02]

III.4.5.Les silos :

Utilisés pour stoker le ciment sec. Les lignes de silos ne seront pas trop longues et seront vérifiées avant usage et nettoyées après usage.

Il faudra éviter de laisser du ciment trop longtemps dans les silos, travail pour le déchargement est appliqué par l'arrivée d'air située vers le haut.



Figure.III.7 : silos de ciment.

III.4.6. Citernes d'eau :



Figure.III.8 : citerne d'eau.

III.4.7. La DV (divertir valve) :

La DV est un outil qui permet d'assurer une cimentation étagée. Elle est vissée, en cours de la descente, à l'endroit voulu de la colonne de tubage. Elle est constituée de :

Le corps proprement dit ; Des orifices latéraux ; Une chemise supérieure goupillée au corps ; Une chemise inférieure goupillée au corps ; Une bague d'arrêt.

La DV est livrée avec 3 bouchons :

- Le bouchon de chasse du laitier de l'étage inférieur ;

- Le bouchon d'ouverture de la DV. Ce bouchon est également appelé Bombe ou Torpille
- Le bouchon de fermeture de la DV. Il permet également la chasse du laitier de l'étage supérieur

Elle est Utilisé pour permettre la cimentation dans le cas de :

- Zone à perte ou zone à densité équivalent faible.
- Hauteur à cimenter très important.
- Grande différence de température.
- Volume de laitier trop important (logistique).



Figure.III.9 : La DV.

III.5. Différentes méthodes de cimentation:

Il existe plusieurs méthodes de cimentation :

1. Cimentation par les tiges.
2. Cimentation par le tubage.
3. Cimentation par canne dans l'annulaire.

Les deux premières méthodes de cimentation s'appliquent uniquement pour les forages en gros diamètres et relativement profonds. La troisième est utilisée pour les forages de moins de 50 mètres.

Dans notre forage, on a choisi la méthode de la cimentation par le tubage, Sous l'effet d'une chasse d'eau ou de boue, un bouchon destructible (joint séparateur) pousse dans l'espace annulaire le volume de ciment introduit dans le tubage.

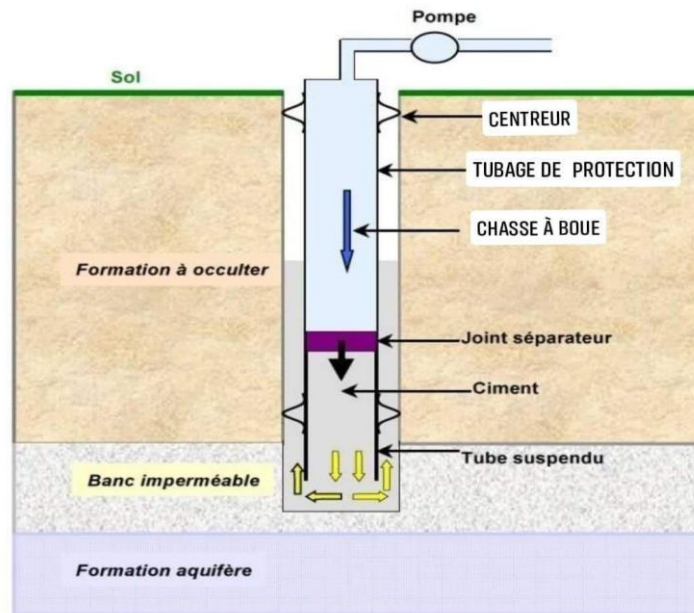


Figure.III.10. Schéma descriptif de la méthode de cimentation par le tubage. [10]

III.6. Préparation du laitier de ciment :

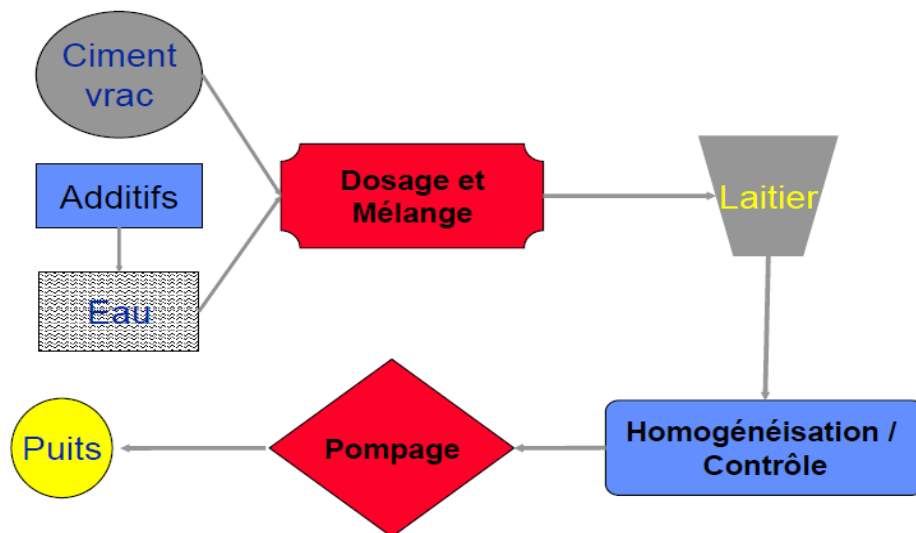


Figure.III.11. Procédés et étape de fabrication du laitier ciment. [11]

III.7. Calcul de cimentation :

III.7.1. calcul de volume de laitier de ciment :

On va calculer le volume de laitier de ciment de chaque phase de ce forage, après nous déterminons la quantité de ciment et le volume d'eau de gâchage qui ont été consommés pour cimenter de ce puits.

➤ **Colonne 1 ère phase (Tube guide) :**

On a :

Trou forage Ø 36'' = 0.9144 m ; Tubage API Ø 28'' = 0.7112 m ; profondeur H = 45 m.

Calculer le volume de laitier de ciment pour cimenter cette colonne :

$$V_{TL} = V_{Lth} + V_S$$

$$V_{TL} = [0,785 (D_{tro}^2 - D_{exTub}^2) \times K_1 \times H] + V_S$$

V_{TL} = volume totale de laitier de ciment ;

V_{Lt} = volume de laitier de ciment théorique ;

K_1 = coefficient dépendant de la nature du terrain (présence de cavernes, fissures.....)

($K_1 = 1,05$ à 2) ;

H = hauteur à cimenter dans l'espace annulaire ;

V_S = volume de sécurité ou majorité qui est de 15% de volume théorique ;

$$\text{A.N: } V_{TL} = [0,785 (0.9144^2 - 0.7112^2) \times 1.1 \times 45] + 1.893$$

$$V_{TL} = 12.622 + 1.893 = \mathbf{14.515 \text{ m}^3}$$

➤ Colonne de 2^{ème} phase :

On a :

Trou forage $\varnothing 26'' = 0.6604 \text{ m}$; Tubage API $\varnothing 18''^{5/8} = 0.4731 \text{ m}$; profondeur $H = 312 \text{ m}$;

$V_S = 10\%$ de V_{Lt}

Calculer le volume de laitier de ciment pour cimenter cette colonne :

$$\text{A.N: } V_{TL} = [0,785 (0.6604^2 - 0.4731^2) \times 1.1 \times 312] + 5.719$$

$$V_{TL} = \mathbf{57.197} + 5.719 = \mathbf{62.917 \text{ m}^3}$$

➤ Colonne de 3^{ème} phase :

On va calculer le volume totale de laitier de ciment pour cimenter cette colonne de profondeur $H = 1403 \text{ m}$ en deux volume :

Volume 01 :

Trou forage $\varnothing 17''^{1/2} = 0.4445 \text{ m}$; Tubage API $\varnothing 13''^{3/8} = 0.3397 \text{ m}$; profondeur $H = 1091 \text{ m}$;

$V_S = 15\%$ de $V_{Lt}(01)$

$$\text{A.N: } V_{TL} (01) = [0,785 (0.4445^2 - 0.3397^2) \times 1.1 \times 1091] + 1.893$$

$$V_{TL} (01) = \mathbf{77.423} + 11.613 = \mathbf{89.036 \text{ m}^3}$$

Volume 02 (volume théorique : casing – casing):

Tubage $\varnothing 18''^{5/8} = 0.4731 \text{ m}$; Tubage API $\varnothing 13''^{3/8} = 0.3397 \text{ m}$; profondeur $H = 312 \text{ m}$;

$$\text{A.N: } V_{TL} (02) = [0,785 (0.4731^2 - 0.3397^2) \times 1.1 \times 312]$$

$$V_{TL} (02) = \mathbf{29.212 \text{ m}^3}$$

Donc le volume total pour cimenter la troisième colonne est :

$$V_{TL} (01) + V_{TL} (02) = \mathbf{118.247 \text{ m}^3}$$

➤ **Colonne de 4^{ème} phase :**

On a :

Tubage API Ø 13^{3/8} = 0.3397 m ; Tubage API Ø 9^{5/8} = 0.2445 m ; profondeur H = 1394 m ;

Calculer le volume de laitier (volume théorique : casing – casing) de ciment pour cimenter cette colonne :

$$\text{A.N: } V_{TL}(02) = [0,785 (0.3397^2 - 0.2445^2) \times 1.1 \times 1394]$$

$$V_{TL}(02) = 66.945 \text{ m}^3$$

III.7.2. Quantité de ciment sec :

➤ **Quantité de ciment sec pour préparer 1 m³ de laitier :**

$$q_c = \frac{\gamma_c \cdot \gamma_e}{\gamma_e + W \cdot \gamma_c} = T/m^3$$

q_c = quantité de ciment ;

γ_c = densité de ciment = 3,15 ;

γ_e = densité de l'eau de gâchage ;

W = rapport eau/ciment. On prend W = 46% c à d pour 100kg de ciment il nous faut 46kg d'eau.

$$\text{A.N: } q_c = \frac{3.15 \times 1}{1 + 0.46 \times 3.15} = 1.286 \text{ T/m}^3$$

• **Poids totale de ciment sec pour cimenter ce puits :**

$$Q_C = q_C \cdot V_T \cdot k_2$$

Q_C : Quantité totale de ciment sec pour cimenter tout le puits.

q_C : Quantité de ciment sec pour préparer 1 m³ de laitier.

V_T : Volume totale de laitier qui consommé par le puits.

k_2 : coefficient tenant compte des pertes de ciment lors de la fabrication. Prendre $k_2 = 1,05$.

$$V_T = V_{TL1Ph1} + V_{TL1Ph2} + V_{TL1Ph3} + V_{TL1Ph4}$$

$$V_T = 14.515 + 62.917 + 118.247 + 66.945 = 262.624 \text{ m}^3$$

$$\text{A.N: } Q_C = 1.286 \times 262.624 \times 1.05 = 354.621 \text{ T}$$

III.7.3. Volume d'eau de gâchage :

$$V_e = \frac{W \times q_c}{\gamma_c}$$

V_e = volume d'eau de gâchage ;

Q_C = quantité total de ciment ;

γ_c = densité de ciment ;

W = rapport eau/ciment.

$$\text{A.N:} \quad V_e = \frac{0.46 \cdot 354.621}{3.15} = 51.785 \text{ m}^3 = 51785 \text{ liter}$$

III.7.4. Volume de la boue de chasse :

$$V_{ch} = 0,785 \times k_3 [(H - h_0) \times d_{inTub}^2] = V_{intTu}$$

V_{ch} = volume de fluide de chasse ;

K_3 = coefficient dépendant de l'état intérieur du tubage (rugosité, pas de cavernes ni fissures ...) ($K_1 = 1$) ;

H = hauteur à cimenter dans l'espace annulaire ;

h_0 = hauteur de sécurité qui est de 10 à 20m.

$$\text{Alor :} \quad V_{intTu} = V_{intTu1} + V_{intTu2} + V_{intTu3} + V_{intTu4}$$

$$V_{intTu} = 11.03 + 49.839 + 108.368 + 54.923 = 224.16 \text{ m}^3 \text{ de la boue de chasse.}$$

III.8. Mode opératoire de cimentation :

III.8.1. Cimentation simple étage :

Les laitiers de ciment ainsi injectés s'écoulent à travers le sabot pour remonter ensuite dans l'annulaire. L'anneau de retenue sert d'épaulement aux bouchons racleurs inférieur et supérieur qui encadre le volume de laitier dans le casing.

Un à-coup de pression perfore le bouchon inférieur pour laisser circuler le laitier qui pousse directement la boue en place et lave à la fois les parois du trou et l'extérieur du casing au cours de son écoulement. Lorsque tout le laitier est injecté, on libère le bouchon supérieur déplacé par circulation de la boue de forage. Cette opération est appelée chasse.

Le volume de chasse est le volume de boue entrez l'anneau et la tête de cimentation. En fin de chasse on doit remarquer une montée en pression qui signifié l'arrêt du bouchon supérieur.

Le maintien d'une surpression pendant quelques minutes permet de faire en même temps un test d'étanchéité de la colonne.

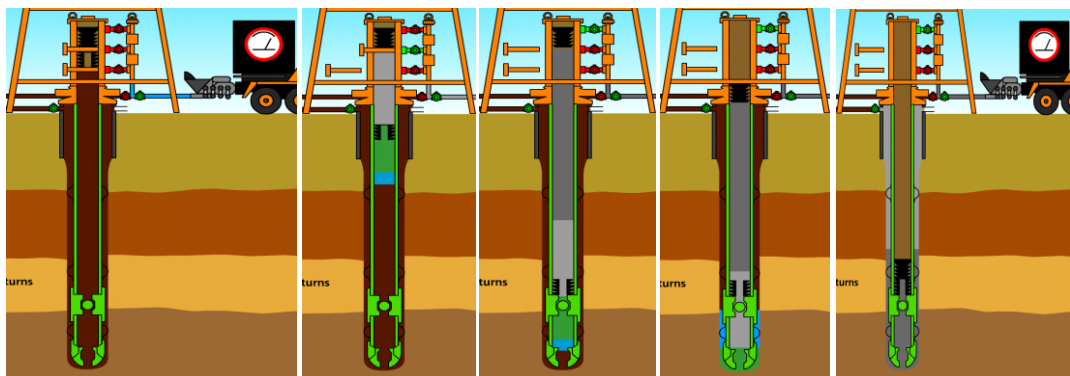


Figure.III.12 : les étapes d'opération de cimentation simple étage. [07]

III.8.2.Cimentation double étage :

La colonne est équipée de la DV à la cote désirée. La cimentation primaire est effectuée d'une manière classique avec toutefois l'utilisation de bouchons devant passer à travers le rétrécissement procuré par la DV. Après l'à-coup de pression, on laisse tomber la bombe (50 à 60 m/min suivant la déviation) ; la pression d'ouverture cisaille des goupilles et déplace la chemise (de l'ordre de 10 MPa). On peut alors injecter le laitier, mais on n'utilise pas de bouchon de tête .en fin d'injection, on libère le bouchon de queue que l'on chasse jusqu'à la DV par déplacement d'une seconde chemise.

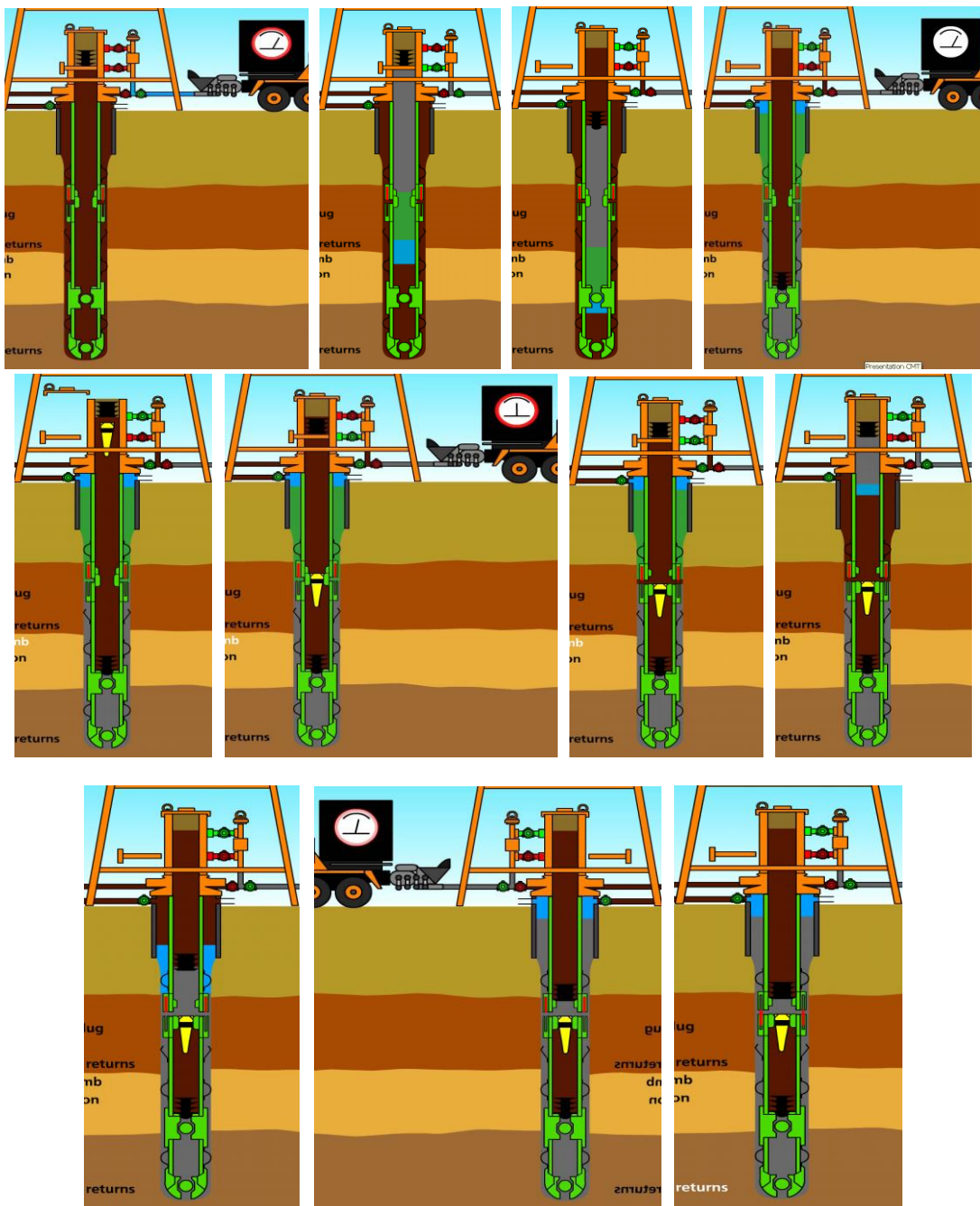


Figure.III.13 : les étapes d'opération de cimentation doublé étage. [07]

III.9. Bouchons de ciments :

En pratique, les bouchons de ciment trouvent des applications multiples, soit en cours de forage :

- ✓ Effectuer un "side track" à cause d'un poisson ou pour changer la trajectoire du puits,
- ✓ Boucher une zone (aquifère, zone déplétée),
- ✓ Résoudre un problème de perte de circulation pendant une phase de forage,
- ✓ Boucher d'un puits,
- ✓ Servir de base pour poser un packer de test.

Soit après la production d'un puits :

- ✓ Boucher d'un puits ;
- ✓ Abandon d'un ouvrage

Les bouchons de ciments nécessitent de faibles volumes de laitier.

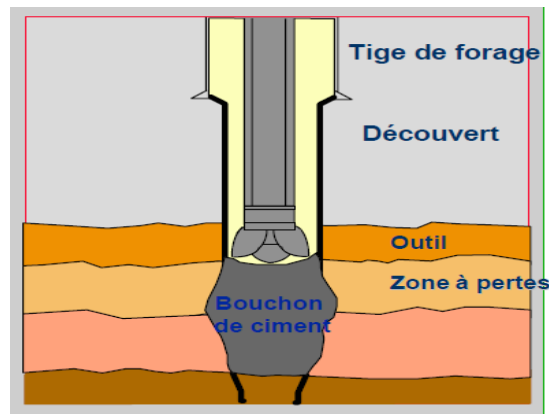


Figure.III.13 : Bouchon de ciment pour le colmatage de zones à pertes.

III.10. Déroulement d'opération de cimentation :

- ❖ Préparer les équipements et le matériel de cimentation.
- ❖ Préparation du trou avant l'injection par la circulation de boue pour ne pas créer des surpressions qui risqueraient de craquer le terrain.
- ❖ Préparer le laitier de ciment avec des caractéristiques physico-chimiques de chaque phase (la densité : 1^{er} et 2^{ème} et 3^{ème} phase = 1.8 ; 4^{ème} phase = 1.75).
- ❖ Lorsque, l'opération fait à simple étage :
 - Injecter le laitier de ciment dans le tubage après la descente de bouchon inférieur de cimentation ;
 - l'argage de bouchon supérieur de cimentation est chassé par la boue jusqu'à l'augmentation de pression indiquant la fin du déplacement du laitier ;
 - Attente la prise de ciment d'une durée 48 h

- ❖ Lorsque, l'opération fait à doubler étage :
 - Injecter le 1^{er} volume de laitier de ciment dans le tubage ;
 - Largage le bouchon de chasse du laitier de l'étage inférieur de cimentation ;
 - Chasser le volume de laitier qui injecté par la boue jusqu'à ce mis en place dans l'annulaire (depuis le sabot de la colonne jusqu'à la hauteur de la DV la plus profonde) ;
 - ouvrir la DV par l'intermédiaire d'un bouchon (bombe), qu'on lance dans le casing, depuis la surface et on fait circuler de la boue pour éliminer un éventuel trop plein de ciment ;
 - Après prise (séchage) du ciment,
 - on entame la cimentation du deuxième étage.
 - On commence par injecter le volume de laitier nécessaire dans le tubage, puis on le pousse avec un nouveau bouchon, pour qu'il puisse remonter dans l'annulaire (depuis la DV jusqu'à la surface).
 - Attente la prise de ciment d'une durée 48 h ;

Remarque :

Dans la réalisation de cimentation du 3^{ème} et 4^{ème} phases, on a :

- **Dans le 3^{ème} phase :**
 - Avant de cimenter la colonne de tubage, tester la tension de trou et crée la diagraphie de RES-GR-INC (Gamma Ray et Résistivité) pour voir résistivité de puits.
 - Après la cimentation on a évalué la qualité de la cimentation par les soniques de CBL (Cement Bond Log) et VDL (Variable Densité Log) qui permet :
 - ↳ Enregistrent et mesurent la transmissions des vibrations,
 - ↳ Permettent de déterminer la qualité de la liaison casing –ciment formation,
 - ↳ détermination de la qualité de la cimentation d'un tubage ;

Tout ceci est pour déterminer la qualité de ciment du puits pour prendre des précautions dans l'étalement de la colonne suivante pour éviter tout danger pouvant résulter d'une mauvaise cimentation car le puits profond est à haute pression.

- **Dans le 4^{ème} phase :**

Enregistrent l'amplitude d'une onde sonore dans le tubage dont le taux d'atténuation est fonction de la compression du ciment et du pourcentage de circonférence cimentée pour détermination de la qualité de la cimentation de puits.

III.11. Les Soniques : CBL – VDL (Ciment Bond Log – Variable Densité Log) :**III.11.1 Principe du CBL (Ciment Bond Log) :**

Elle permet d'étudier et de quantifier la qualité de la cimentation par la mesure d'adhérence entre tubage et ciment, Un train d'onde de fréquence variant entre 15 et 30 KHz selon les appareillages, est périodiquement généré par un émetteur.

Cette onde traverse la boue, passe dans le tubage, le ciment et la formation si ces divers milieux sont couplés acoustiquement, puis est détectée par un récepteur qui se trouve sur le corps de l'outil (généralement à 3 pieds de l'émetteur).

L'énergie acoustique voyageant le long d'un tube se propage plus rapidement que les ondes de formation elles-mêmes plus rapides que les ondes de boue.

III.11.2 Interprétation de CBL :

Dans le cas d'un tubage non cimenté toute l'énergie acoustique circule le long de l'acier : il y a très peu d'atténuation de l'onde et de l'amplitude de la première arche du signal est importante, Dans le cas d'un tubage parfaitement cimenté, cette énergie se propagera à travers le ciment jusque dans la formation.

Dans le cas d'un tubage mal cimenté, l'énergie se répartit entre le tubage et la formation.

III.11.3. Principe de VDL :

L'étude de la qualité de la cimentation peut être faussée par un certain nombre de phénomènes. Il s'est avéré utile d'enregistrer l'ensemble du train d'ondes sonores reçues par un récepteur situé généralement à 5 pieds de l'émetteur. Enregistré en complément du CBL, le VDL permet de définir l'adhérence Ciment Formation.

La présentation de cet enregistrement est :

- Sous forme du train d'onde complet ou de sa partie positive uniquement ("Wave Forme", "Signature Curve") : la lecture est difficile.
- En densité variable (VDL), seules les arches positives étant reproduites en une échelle de gris d'autant plus foncés que l'amplitude est plus grande.

Cette présentation permet de contrôler la présence des ondes de formation et leurs variations en fonction de la profondeur, ainsi que l'amplitude des ondes de tubage.

III.11.4. Interprétation de VDL :

- Dans le tubage libre, les ondes de tubage apparaissent très nettement, parallèles et rectilignes sur toute la partie libre. On ne voit pas les ondes de formation.
- Dans le tubage bien cimenté, elles sont très affaiblies et peuvent même pratiquement disparaître. Les ondes de formation apparaissent très nettement.

- Dans une partie moyennement cimentée, les ondes de tubage sont visibles, plus ou moins sombres, ainsi que les ondes de formation. [03]

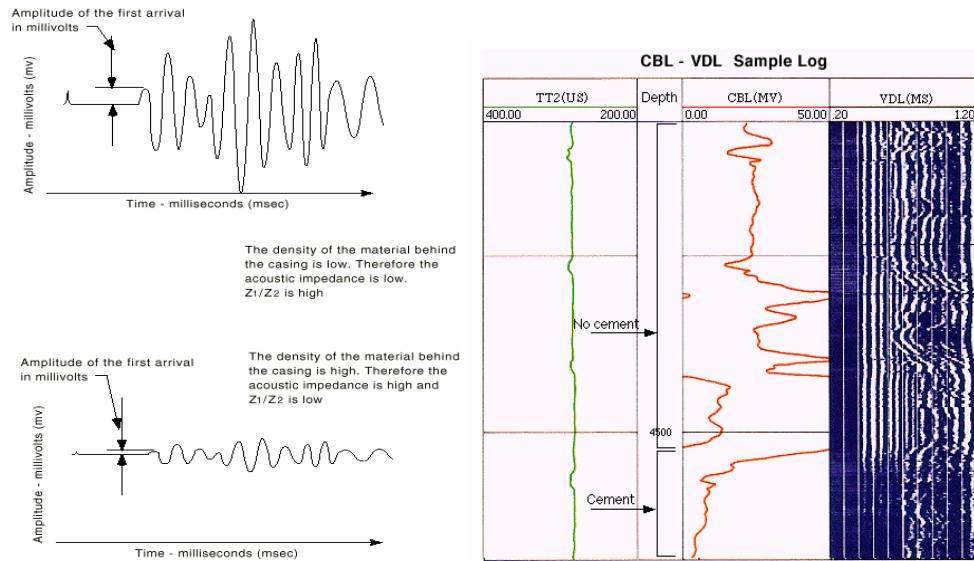


Figure.III.14. Exemple de mesures soniques (CBL et VDL) ; [07]

III.11.5.Vérification de la qualité de ciment :

Diagraphie utilisé	Bonne cimentation
CBL	<ul style="list-style-type: none"> • L'amplitude du CBL est faible. • Le Travel time. est peu différent de celui mesuré dans le tubage libre.
VDL	<ul style="list-style-type: none"> • ondes de tubage très faibles • des ondes de formation très nettes dont les variations correspondent à celles vues sur le sonique enregistré en trou ouvert. • le signal de formation vient en haut et clair.

Tableau III.1 : Conditions de bonne qualité de ciment par diagraphie sonique CBL et VDL.

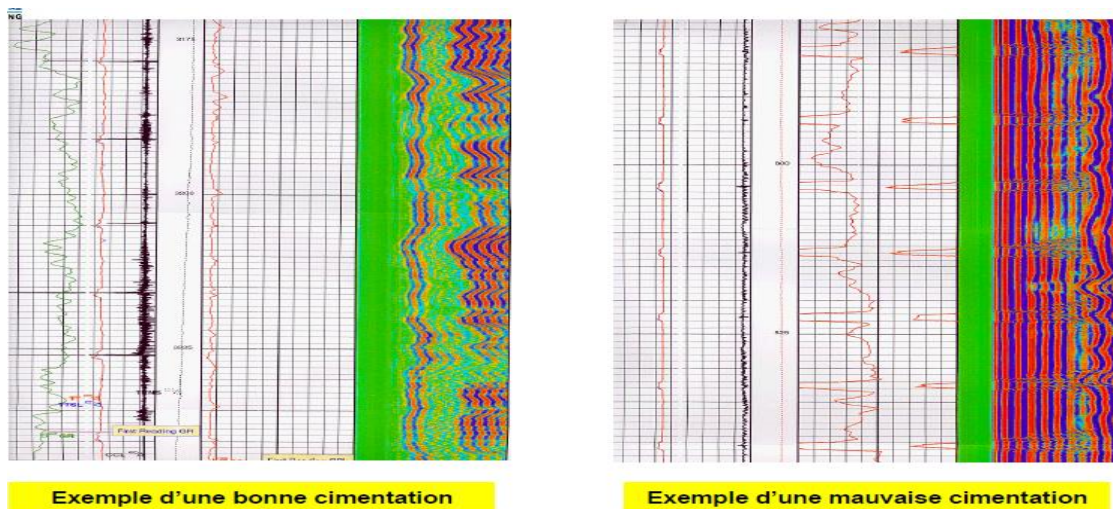


Figure. III.15 : Exemple d'un bon CBL et d'un mauvais CBL. [03]

III.11.6. Développement du forage :

Autant dans les zones sédimentaires que dans les zones cristallines, les fluides de forage ou les particules fines déplacées lors de la foration peuvent colmater la crépine et l'aquifère au voisinage du forage. Cela empêche l'eau de circuler librement, d'où une réduction considérable du débit du forage. En effet, si la formation géologique autour de la zone de la crépine et du massif filtrant n'est pas bien rincée, l'efficacité du forage peut baisser et la crépine risque de se colmater plus rapidement.

Le développement d'un forage consiste à nettoyer la zone de l'aquifère à proximité immédiate des crépines afin d'éliminer tous déblais et fluides de forage, ainsi que les sédiments en suspension.

III.11.6.1. La tête de puits :

Une tête de puits est un élément à la surface d'un puits qui fournit une interface structurelle qui contient la pression pour le forage et la production d'équipements. L'objectif principal de la tête de puits est de fournir un point de suspension et des joints de pression pour les chaînes de tubage qui s'étendent du fond des sections de forage jusqu'à l'équipement de contrôle de la pression de surface. Lors du forage de puits d'eau, le contrôle de la pression de surface est assuré au moyen d'une obturatrice anti-éruption. Si la pression pendant le processus de forage n'est pas contenue par la colonne de fluide marin, les tubages, la tête de puits et l'obturateur anti-éruption ; Une explosion peut également se produire. Les têtes de puits sont généralement soudées à la première colonne de tubage qui est maintenue en place pendant les opérations de forage pour former une structure faisant partie du puits. Dans les puits d'exploration abandonnés par la suite, les têtes de puits qui s'y trouvent peuvent être récupérées pour être régénérées et réutilisées.

↳ Les rôles de la tête de puits :

Les têtes de puits des forages géothermiques ont plusieurs fonctionnalités :

- a) elles assurent la fermeture hermétique du puits, ainsi que l'étanchéité en tête de forage dans le cas de nappes artésiennes jaillissantes.
- b) elles contrôlent l'accès aux forages et les protègent des pollutions externes.
- c) elles servent à la suspension du matériel de production et d'injection (éventuellement en matériaux composites) placés dans l'ouvrage.
- d) elles servent également à la suspension du matériel d'exhaure installé dans les puits de production (pompe).

- e) elles permettent le contrôle de l'artésianisme des puits lorsqu'ils sont jaillissants, soit par l'utilisation des vannes, soit par injection dans le puits de fluides spécifiques de densité adéquate (saumure par exemple) permettant de compenser la pression des formations.



Figure. III.16 : tête de puits (sidi mahdi).

III.11.6.2. Development du forage:

Après fin d'opération de la cimentation de l'espace annulaire entre les deux casings API Ø 9''^{5/8} et Ø 13''^{3/8} du forage profond CI, attente prise de ciment 48 heures

Reforage du bouchon du ciment (dans l'anneau de cimentation) en outil Ø inférieur à 8''^{5/8} soit 6''.

Traitement par produit chimique en utilise Hexamétaphosphate

Dosage :

25 kg de l'Hexamétaphosphate injecté dans 1m³ d'eau soit 1000 litres

Calculer le volume du trou forage Ø 12''^{1/4} de l'aquifère (épaisseur de la nappe CI)

Volume d'eau nécessaire à injecter avec l'Hexamétaphosphate dans le trou forage

(Aquifère CI)..... $V = S \times E$

V = Volume de

S = Surface (Trou forage en 12''^{1/4}) = $S = \frac{\pi \times D^2}{4}$

E = Épaisseur de la nappe CI = 437 m

Alor : $V = 33.228 \text{ m}^3$

Donc : le poids de l'Hexamétaphosphate = $25 \times 33.228 = 830.71 \text{ Kg}$

III.11.6.3.Les essais de début :

Déterminer le début d'exploitation de forage :

1) L'essai par palier :

Série de paliers de débits différents et croissants, d'une courte durée, le temps de l'opération 12 heure divisée en 3 étapes.

	Temps (heure)	Pression (bar)	Débit (l/s)	Date de mesure
1 ^{er} Palier	4	9	60	21/05/2022
2 ^{er} Palier	4	6	90	21/05/2022
3 ^{er} Palier	4	3	120	22/05/2022

2) Palier longue durée à débit constant (72 heures) :

$Q = 130 \text{ l/s}$; $P = 2 \text{ Bars.}$

III.12.le Chartes de ciment de forage Sidi Mahdi :

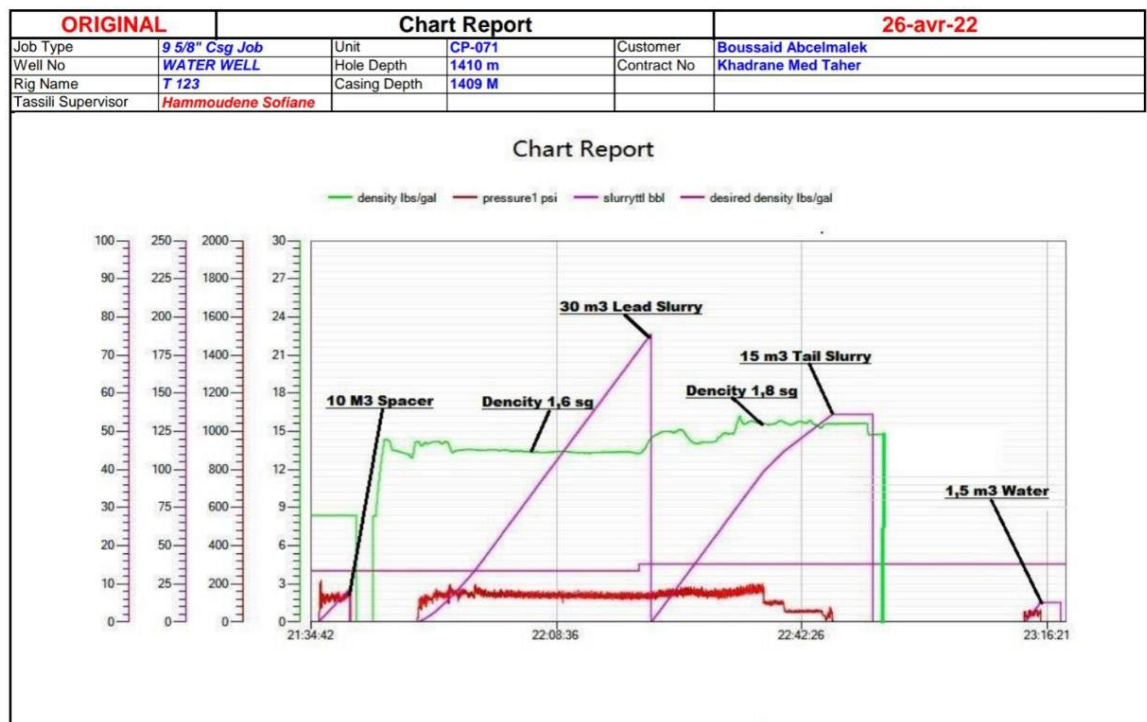


Figure. III.17. 9^{5/8} Csg ciment de forage Sidi Mahdi. [02]

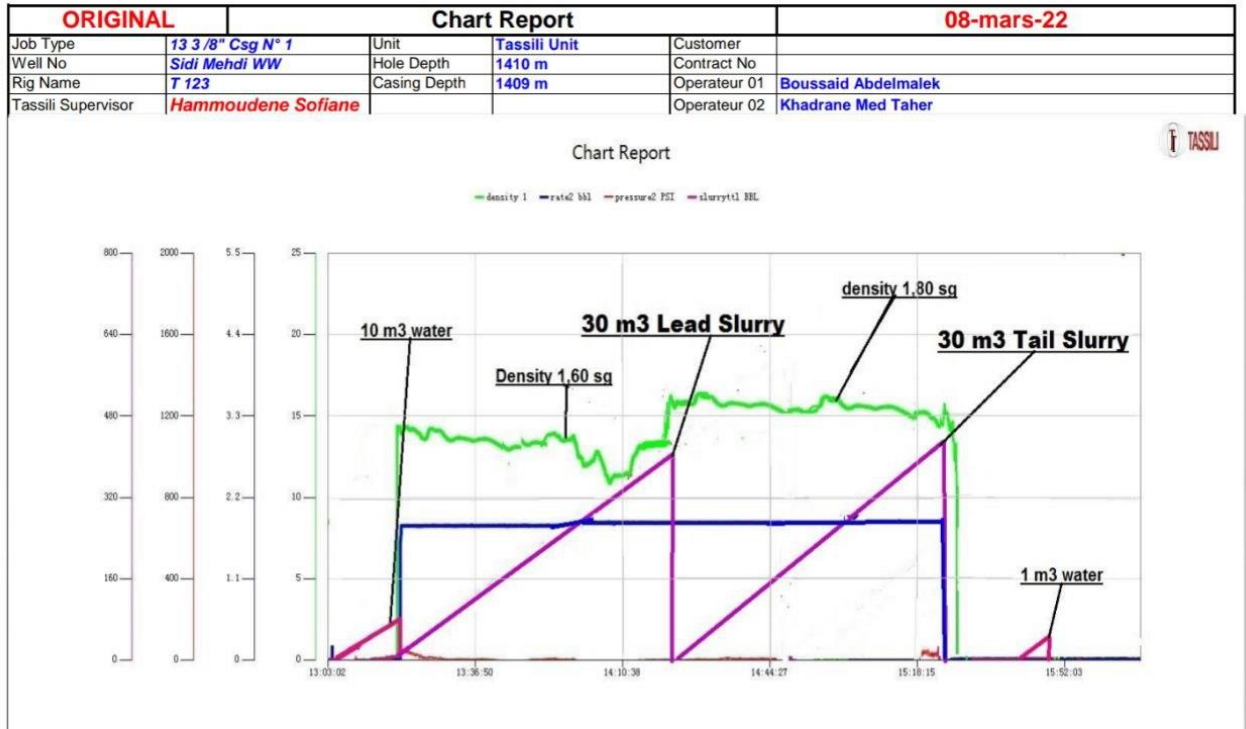


Figure. III.18. 13^{3/8} Csg ciment N02 de forage Sidi Mahdi. [02]

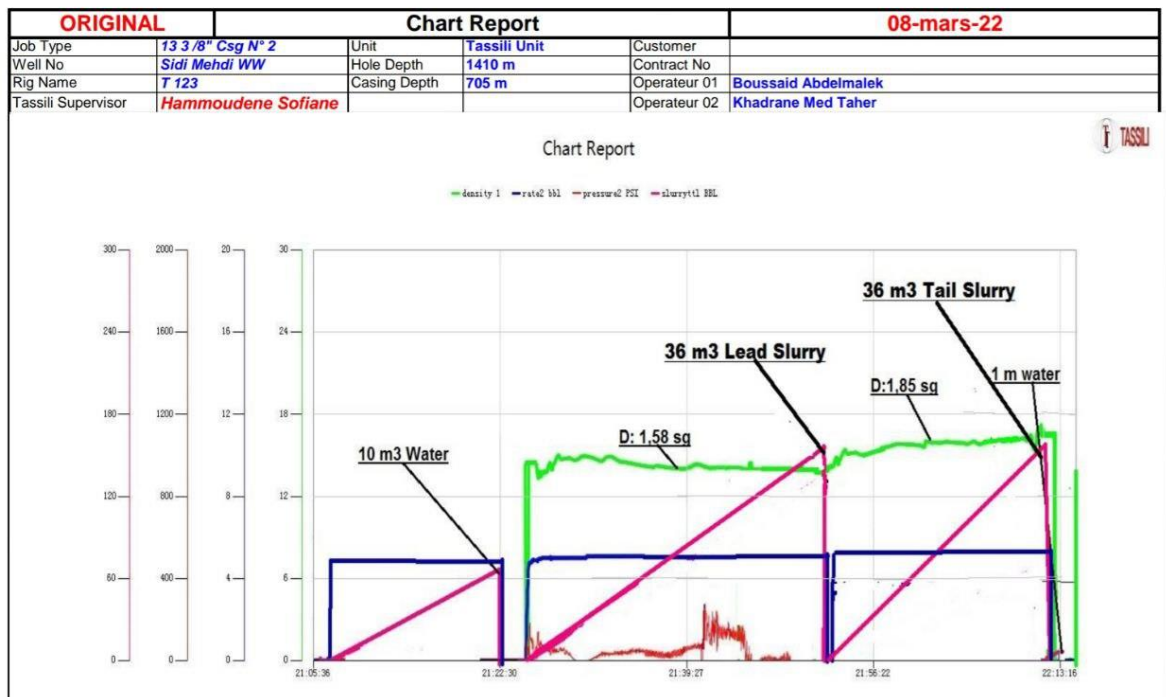
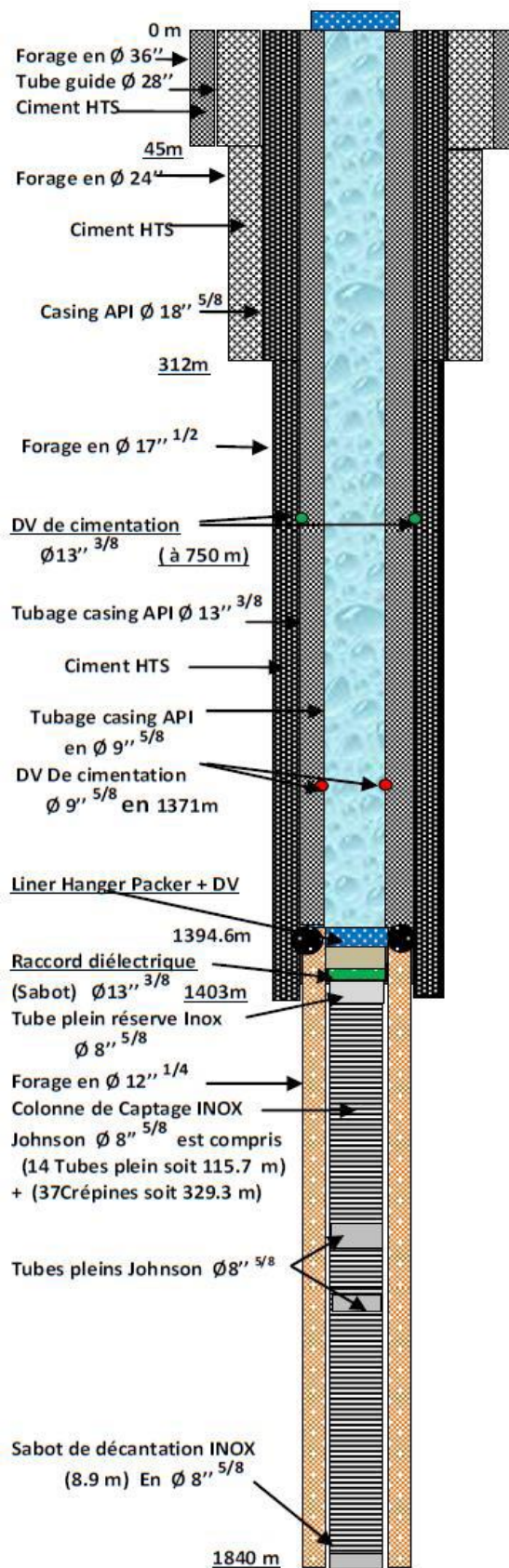


Figure. III.19. 13^{3/8} Csg ciment N02 de forage Sidi Mahdi. [02]

III.12. Coupe Technique final de forage :



Conclusion :

L'opération de cimentation est une tâche délicate dans le forage, car il est réalisé selon les techniques et en choisissant les meilleurs matériaux pour obtenir un bon cimentation qui conditionne la dureté du puits et lui confère une longue durée de vie de productivité... Toute défaillance entraîne inévitablement aux problèmes futurs ... par conséquent, le succès de l'étayage est étroitement lié Il est nécessaire d'évaluer l'opération après son achèvement pour déterminer l'ampleur de son échec.



Conclusion générale

Conclusion général :

Compte tenu de la rareté dans le Sahara algérien des précipitations et des ressources en eau, il est devenu nécessaire d'établir des puits pour exploiter les ressources souterraines de la région. Cette construction s'effectue selon des étapes qui doivent être suivies afin d'obtenir des puits de bonne qualité. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre thèse.

La fiche technique de chaque excavation, que ce soit pour les formations de surface, les formations de coiffe ou de socle, est une information claire sur la structure, la composition et les caractéristiques des différentes couches géologiques.

Selon la formation hydrogéologique actuelle dans la région de Touggourt, le technique rotary est utilisée pour réaliser des forages pour exploiter les ressources en eaux souterraines, car elle est adaptée à la géologie de la région, dans la partie supérieure Le climat de la zone d'étude est de type désertique, caractérisé par une différence importante entre la température estivale et la température hivernale, de faibles précipitations et une évaporation intense.

La région de Sidi Mahdi se caractérise par sa dépendance vis-à-vis des activités agricoles qui a obligé les habitants de la région à rechercher des ressources afin de les exploiter en irrigation, et la nappe albien jouit d'un grand intérêt dans le domaine agricole, ce qui a conduit à la réalisation de ce bien.

La réalisation d'un forage hydraulique dans la région de Sidi Mehdi passe par plusieurs phases, en fonction de la profondeur et de la pression de la phréatique.

Cette réalisation de forage comporte plusieurs étapes, commençant par la définition des objectifs de forage du puits jusqu'à l'exploitation de l'eau. Dans le cadre de notre étude, nous avons suivi le forage d'un puits destiné à un usage d'irrigation agricole dans la région. Nous avons montré l'importance et les effets de l'étude géologique de la zone dans la détermination de la strate appropriée pour le forage. L'étude prend également des mesures et des techniques de forage, ainsi que de se concentrer sur l'opération de cimentation et de le suivre de près pour obtenir un bon support pour le puits.

L'étude a conclu que la bonne réalisation du puits grâce à la bonne utilisation des techniques et des équipements de forage, se traduit par un puits bien productif.



*Références
et bibliographie*

Référence, Sites et Aide mémoires :

- [01] <https://www.infoclimat.fr/> (Climatologie de la région Touggourt).2010/2021.
- [02]Entreprise de TASSILI .2022.
- [03]DRISSI NOURREDDINE, DJOUKHRAB ABD ELBASSET (Étude de la cimentation de la colonne de tubage 13^{3/8} du puits champ de Hassi-Messaoud. Utilisation du CRETE Lite de laitier). Univ. Ouargla 2016/2017.
- [04]JEAN.PAUL NGUYEN. Institut français de pétrole ‘’forage’’.
• [05]Dr. MEDJANI Fethi. (Forage pétrolier) 2016.
- [06]Dr Mehdi METAICHE (FORAGE TECHNIQUES ET PROCÉDES) Université de Bouira Octobre 2013.
- [07]Schlumberger (La cimentation pratique) puits GHAN- Jan 2002.
- [08]IFP Training, LES DIAGNOSTICS DE CIMENTATION, ENSPM Formation Industrie, 2005.
- [09]Slimani, M. Daddou Module (FORMATION JDF M1) Mars 2004.
- [10]ENSPM Formation(Industrie - IFP Training. Cimentation) 2004.
- [11]Djebbari Hissan (COURS DE CIMENTATION MASTER – II– PROF –FORAGE D’EAU) 2021/2022.
- [12]ANRH (Données générales de Touggourt)2003.
- [13]ANRH (Géologie et morphologie de Touggourt ; Les nappes CI, CT de Ouad Righ)2003.
- [14] <https://www.climatsvoyages.com> (Climatique-Touggourt).1997/2020.
- [15]Moulay Omar Younes et Seddiki Youcef (Suivi d'un forage d'eau dans la région de Bouhraoua(Wilaya de Ghardaïa)). Univ. Ouargla 2016/2017



Annexes

Tableaux des Volumes de l'espace annulaire :

		Diamètre nominal du tube intérieur (pouces)																		
		0 (1)	4 1/2	5	5 1/2	6 5/8	7	7 5/8	8 5/8	9 5/8	10 3/4	11 3/4	13 3/8	16	18 5/8	20	30			
		0 (2)	l/m	10.30	12.69	15.36	22.34	24.88	29.58	37.87	47.10	58.74	70.16	90.80	130.00	176.20	203.00	455.8		
Diamètre et masse nominale de tube extérieur	9 5/8	58.40	36.14	25.84	23.45	20.76	13.80	11.26	X	X										
		61.10	35.53	25.23	22.84	20.17	13.19	10.65	X	X										
		71.80	33.46	23.16	20.77	18.10	11.12	8.58	X	X										
	10 3/4	32.75	52.60	42.30	39.91	37.24	30.26	27.72	23.02	14.73	X									
		40.50	51.15	40.85	38.46	35.79	28.81	26.27	21.57	13.28	X									
		45.50	50.15	39.85	37.46	34.79	27.81	25.27	20.57	12.28	X									
		51.00	49.13	38.83	36.44	33.77	26.79	24.25	19.55	11.26	X									
		55.50	48.27	37.97	35.58	32.91	25.93	23.39	18.69	X										
		60.70	47.26	36.96	34.57	31.90	24.92	22.38	17.68	X										
	11 3/4	42.00	62.24	51.94	49.55	46.88	39.90	37.36	32.66	24.37	15.14	X								
		47.00	61.31	51.01	48.62	45.95	38.97	36.43	31.73	23.44	14.21	X								
		54.00	59.96	49.66	47.27	44.60	37.62	35.08	30.36	22.09	12.86	X								
		60.00	58.79	48.49	46.10	43.43	36.45	33.91	29.21	20.92	X									
	13 3/8	48.00	81.89	71.59	69.20	66.53	59.55	57.01	52.31	44.02	34.79	23.15	X							
		54.50	80.63	70.33	67.94	65.27	58.29	55.75	51.05	42.76	33.53	21.89	X							
		61.00	79.37	69.07	66.68	64.01	57.03	54.49	49.79	41.50	32.27	20.63	X							
		68.00	78.08	67.78	65.39	62.72	55.74	53.20	48.50	40.21	30.98	19.34	X							
	16	72.00	77.24	66.94	64.55	61.88	54.90	52.36	47.66	39.37	30.14	18.50	X							
		65.00	117.8	107.5	105.1	102.5	95.53	92.99	88.29	80.00	70.77	59.13	47.71	27.0	X					
		75.00	7	7	8	1	93.53	90.99	86.29	78.00	68.77	57.13	45.71	7	X					
	18 5/8	84.00	115.8	105.5	103.1	100.5	91.85	89.31	84.61	76.32	67.09	55.45	44.03	25.0	X					
		7	7	8	1	98.83								7						
		114.1	103.8	101.5	98.83									23.3						
	18 5/8	87.50	159.7	149.4	147.0	144.3	137.4	134.8	130.1	121.8	112.6	101.0	89.58	68.9	29.7	X				
4		4	5	8	0	6	6	7	4	0			4	4						
20	94.00	185.2	174.9	172.5	169.9	162.9	160.4	155.7	147.4	138.1	126.5	115.1	94.4	55.2	X					
	106.5	8	8	9	2	4	0	0	1	8	4	2	8	8	X					
	0	182.9	172.6	170.2	167.5	160.5	158.0	153.3	145.0	135.8	124.1	112.7	92.1	52.9	X					
	133.0	2	2	3	6	8	4	4	5	2	8	6	2	2						
30	0	177.7	167.4	165.0	162.4	155.4	152.8	148.1	139.9	130.6	119.0	107.6	86.9	47.7						
	6	6	7	0	2	2	8	8	8	6	2	0	6	6						
30	267.0	407.8	397.5	395.1	392.4	385.5	392.9	379.2	369.9	360.7	349.1	337.6	317.0	277.8	231.6	204.8	X			
	310.0	397.0	386.7	384.3	381.6	374.7	372.1	367.4	359.1	349.9	338.3	326.8	306.2	267.0	220.8	194.0	X			

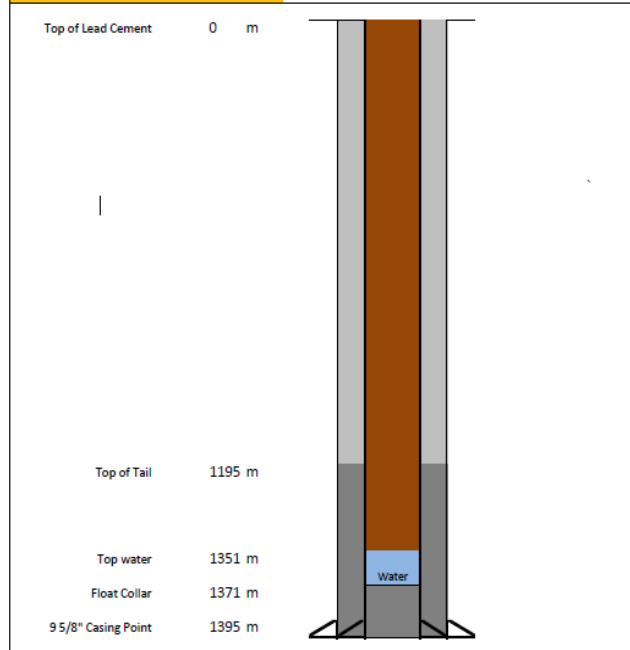
VOLUME DE L'ESPACE ANNULAIRE CACING-CASING (suite et fin) (litres par mètre)

Volumes dans le puits

	Masse Nom lbs./ft. Kg./m	volume Ext	volume Int	volume Acier																
					26	18 5/8	17 1/2	16	13 3/8	13 3/8	13 3/8	12 1/4	9 5/8	9 5/8	8 3/8	8 1/2	7	7	6	4 1/2
18 5/8 - K55	87.5#-130.21	176.2	159.74	16.46	342.5	159.74	155.2	129.72	77.24	78.08	80.63	76.04	34.91	38.19	35.54	36.6	18.8	19.38	18.2	7.79
13 3/8 - K55	72#-107.15	90.80	77.24	13.66	68.94	64.4	38.92													
13 3/8 - K55	68#-101.20	90.8	78.08	12.72	68.94	64.4	38.92													
13 3/8 - K55	54.5#-81.10	90.80	80.63	10.17				30.14	30.98	33.53	28.94									
9 5/8 - P110	53.5#-79.62	47.1	36.91	10.19				30.14	30.98	33.53	28.94									
9 5/8 - P110	47#-69.94	47.10	38.19	8.91																
7" - P110	32#-47.62	24.88	18.82	6.06										12.03	13.31	10.66	11.73			
7" - P110	29#-43.16	24.88	19.38	5.50										12.03	13.31	10.66	11.73			
4 1/2 - P110	13.5#-20.09	10.3	7.79	2.51				14.01	109.47	83.99	31.51	32.35	34.9	30.31						
9 1/2 x 3	DC-322.9	45.73	4.56	41.17				127.31	122.77	97.29	44.81	45.65	48.2	43.61						
8 x 2 13/16	DC-222.7	32.43	4.37	28.06				138.33	133.79	108.31	55.83	56.67	59.22	54.63	15.5	16.79	14.13	15.2		
6 1/2 x 2 13/16	DC-136.4	21.41	4.37	17.04											34.91	38.19			7.39	7.95
4 3/4 x 2 1/4	DC-69.7	11.43	2.57	8.86				145.77	141.23	115.75	63.27	64.11	66.66	62.07	22.94	24.22	21.57	22.64		
5" HW	50#-73.5	13.97	4.61	9.36							70.24				27.91	31.19			11.80	12.38
3 1/2" HW	25#-37.7	7.00	2.19	4.81				146.63	142.09	116.61	64.13	64.97	67.52	62.93	23.8	25.08	22.43	23.5		
5" OP (E)	19.5#-31.06	13.11	9.15	3.96				146.58	142.04	116.65	64.08	64.92	67.47	62.88	23.75	25.03	22.38	23.45		
5" OP (X)	19.5#-31.83	13.16	9.1	4.06				146.54	142	116.52	64.04	64.88	67.43	62.84	23.71	24.99	22.34	23.41		
5" OP (G)	19.5#-32.55	13.20	9.05	4.15				153.24	148.7	123.22	70.74	71.58	74.13	69.54	30.41	31.69			12.32	12.88
3 1/2 DP (E)	13.5#-20.76	6.50	3.86	2.64				153.13	148.59	123.11	70.63	71.47	74.02	69.43	30.3	31.58			12.21	12.77
3 1/2 DP (G)	13.5#-21.89	6.61	3.82	2.79				159.74	155.2	129.72	77.24	78.08	80.63	76.04	28.31	31.59	28.94	30	12.2	12.78
3 1/2 DP (E)	15.5#-24.65	6.57	3.42	3.14				159.74	155.20	129.72	77.24	78.08	80.63	76.04	28.65	31.93	29.28	30.34	12.2	12.78
3 1/2 DP (G)	15.5#-25.37	6.60	3.37	3.23				153.48	148.94	123.46	70.98	71.82	74.37	69.78	30.65	31.93	29.28	30.35	12.56	13.12
3 1/2 DP (G)	9.2#	6.26	4.54	1.72				155.53	150.99	125.51	73.03	73.87	76.42	71.83	32.7	33.98	31.33	32.4	14.61	15.17
2 7/8 DP (G)	7.7#	4.21	2.72	1.48				156.86	152.32	126.84	74.36	75.2	77.75	73.16	34.03	35.31	32.66	33.73	15.94	16.9

9 5/8" Csg Cement Program CEMENTING PROGRAM Well : Sidi Mehdi water well:

1. Wellbore Schematic



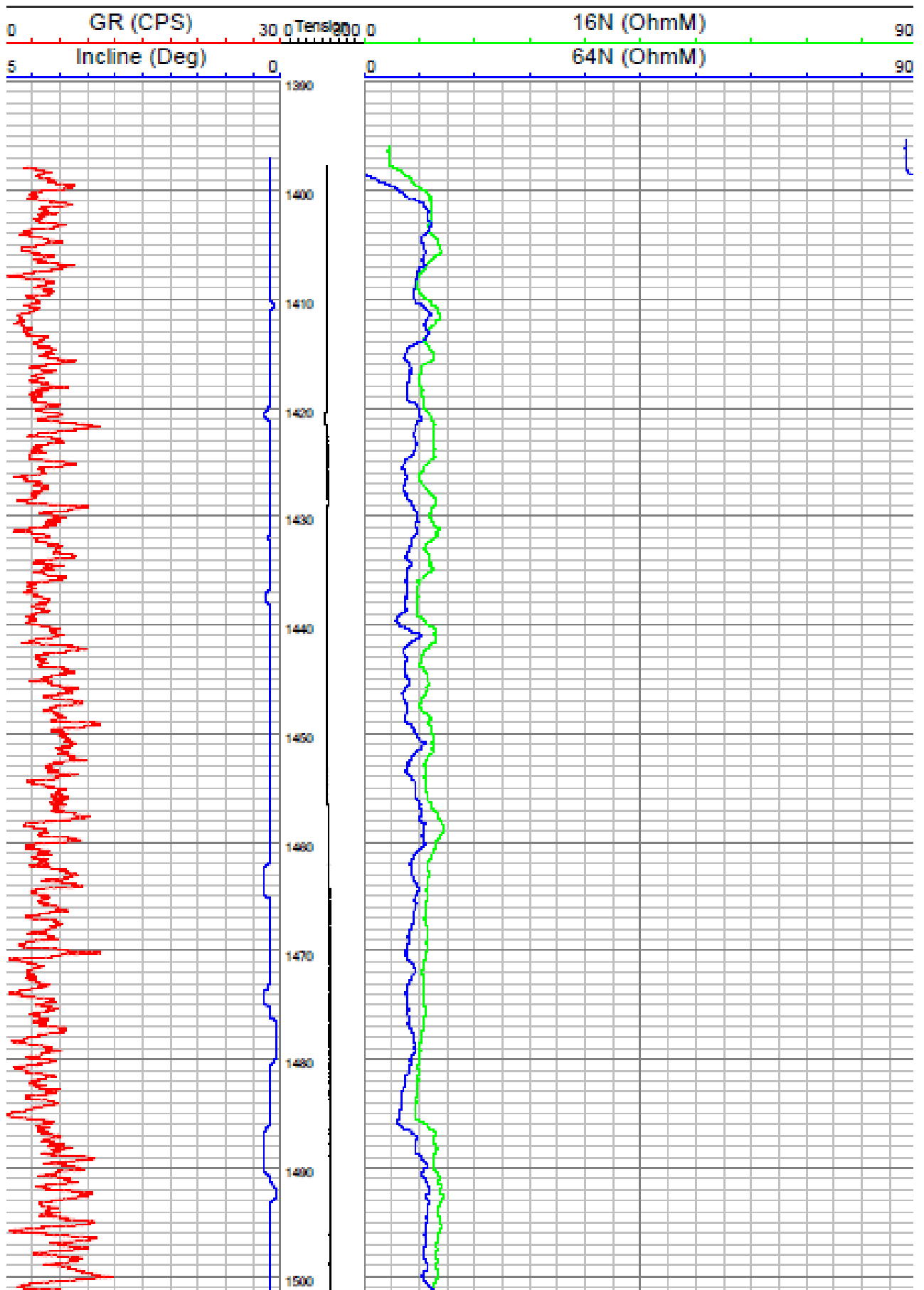
2. Fluids Summary

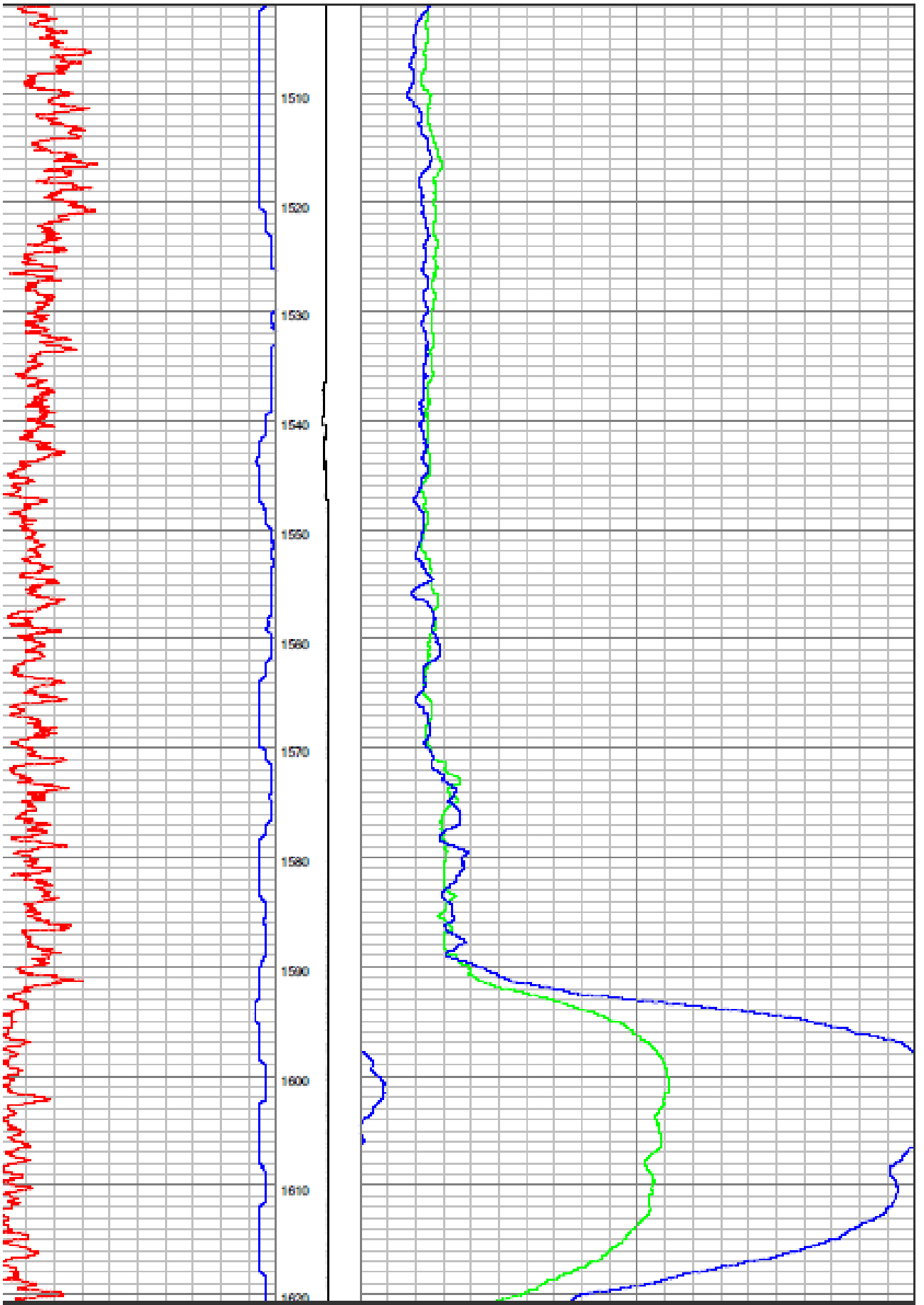
Fluid	Surface Density		Volume	
	S.G.	lb/gal	m ³	bbt
Mud	1.24	10.34		
Spacer	1.05	8.76	10.00	63
Lead Slurry	1.58	13.18	42.61	268
Tail Slurry	1.80	15.01	9.04	57
Displ (Water)	1.05	8.76	1.59	10.0
Displ (Mud)	1.24	10.34	52.63	332

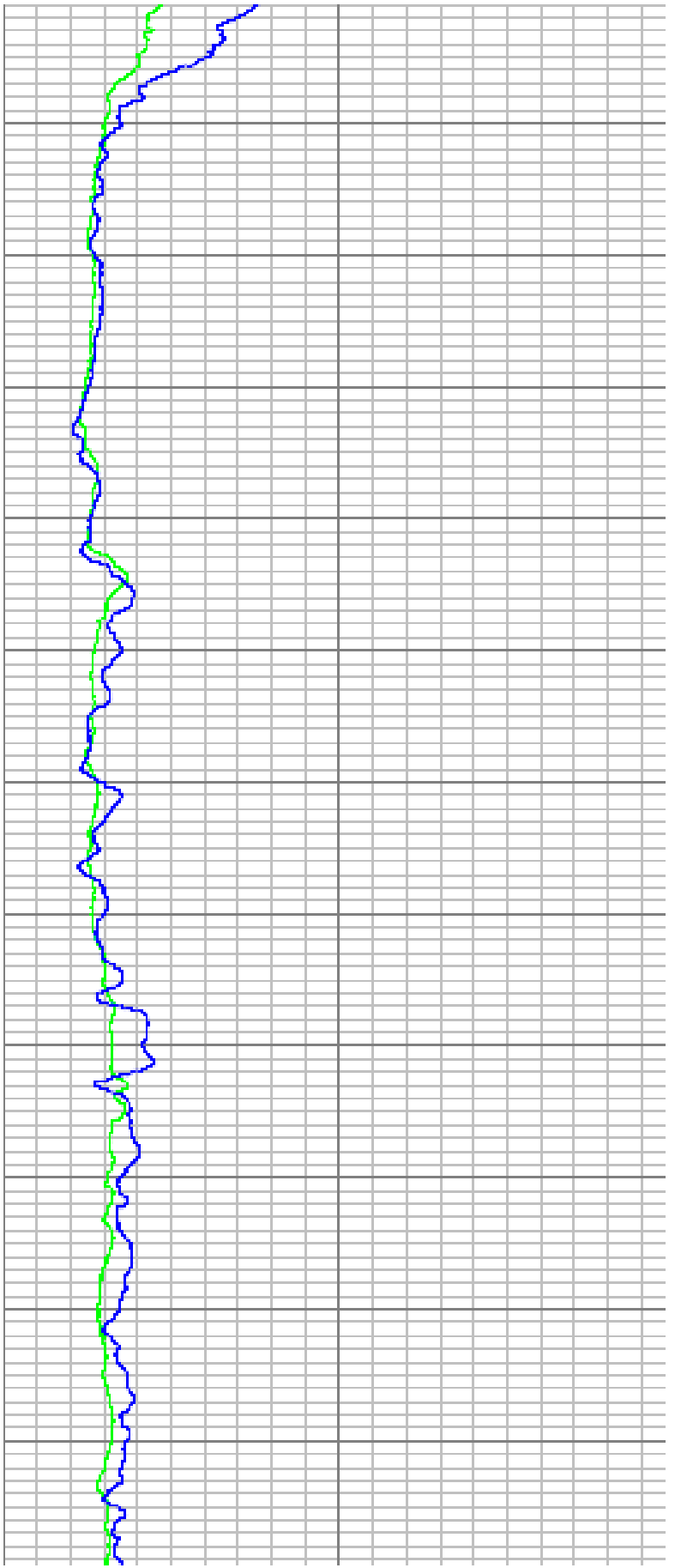
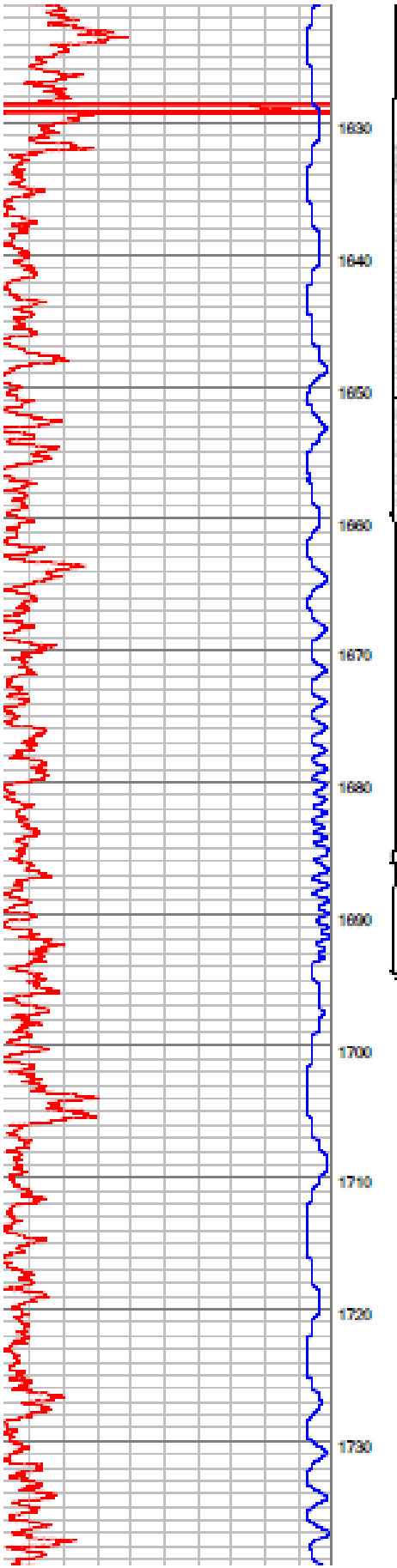
4. Capacities

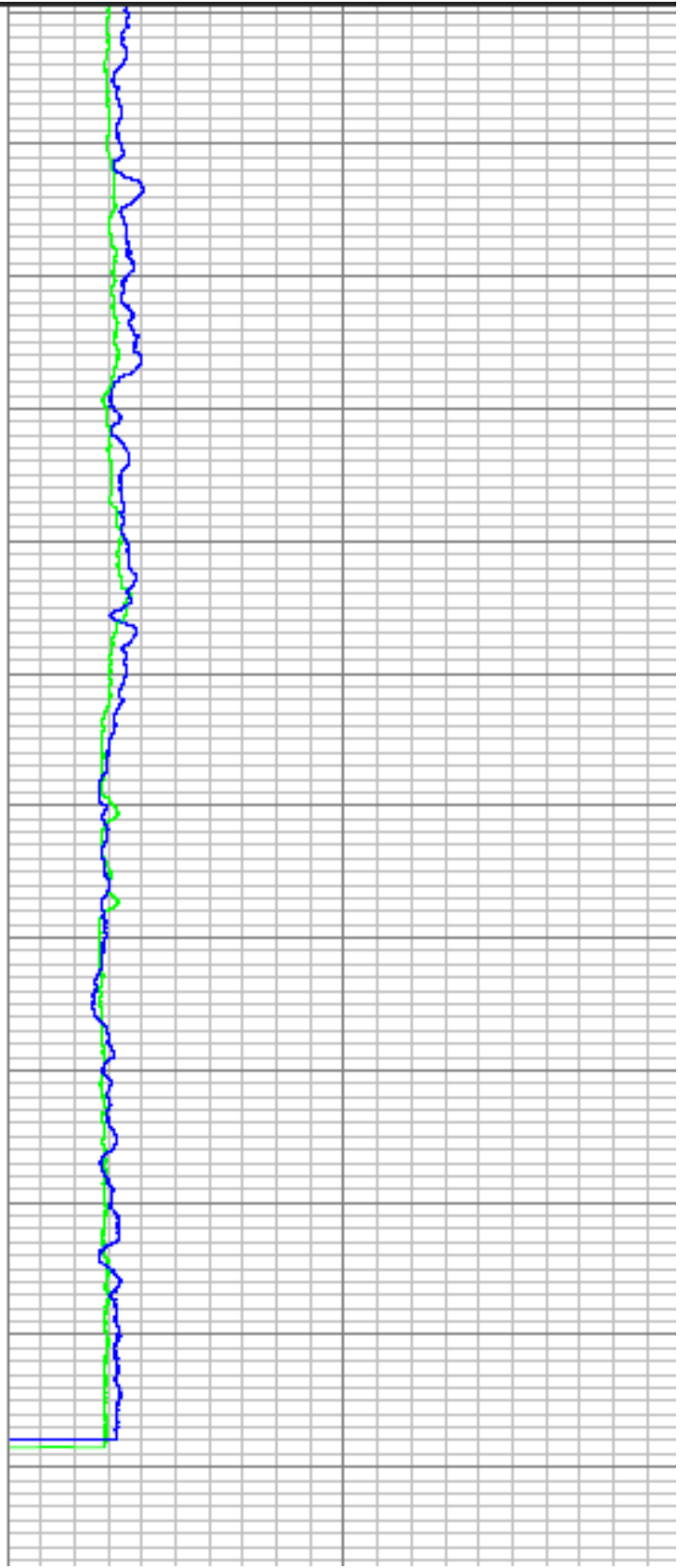
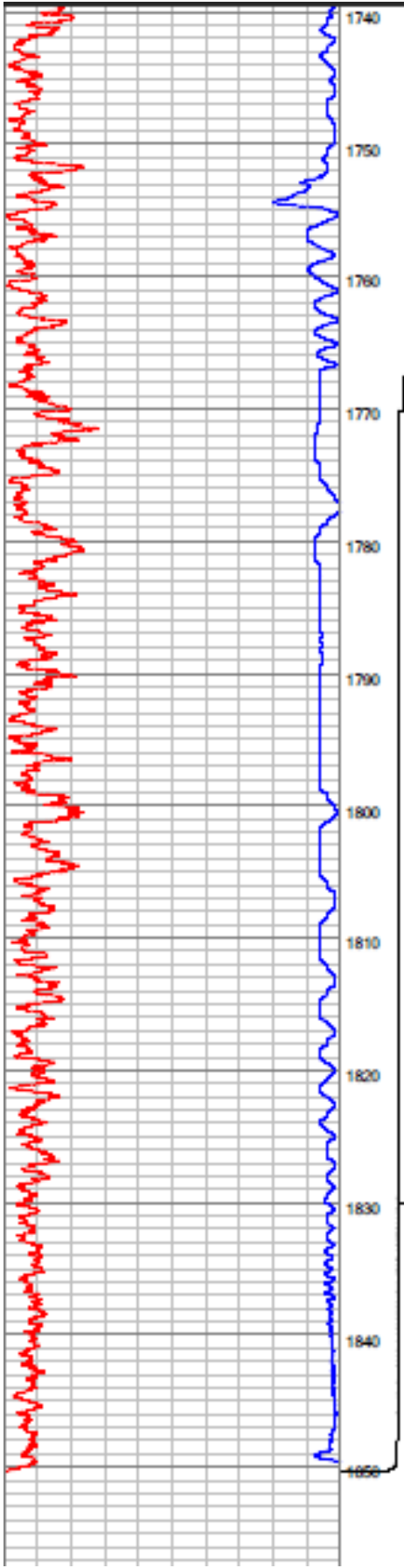
Csg/Annulus	Excess	m ³ /m	L/m
Csg			
13 3/8" CSG 61# K55 BTC		0.0793	79.35
9 5/8" CSG 40# K55 BTC		0.0395	39.54
Annulus			
13 3/8" CSG X 9 5/8" CSG		0.0324	32.42
Excess as Caliper	Lead 0.0%	0.0324	32.42
Excess as Caliper	Tail 0.0%	0.0324	32.42

Diagraphie de RES-GR-INC (Gamma Ray et Résistivité) forage Sidi Mahdi :









Diagraphie de CBL – VDL (Cément Bond Log – Variable Density Log) de forage Sidi Mahdi :

