

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE POPULAIRE



MINISTER DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA



Faculté des sciences appliquées

Mémoire

MASTER PROFESSIONNEL

Domaine : Sciences appliquées

Filière : Hydraulique

Spécialité : Forage D'eau

Présenté par :

BENDERRADJI NOUREDDINE & DEGHA SID ALI

Thème :

***Suivi de Forage d'AEP à Hassi Chetaa
N'Goussa***

Soutenu publiquement le :
Devant le jury compose de :

M_{eme} : Elfergougui M

MCA (UKM Ouargla)

Président

M_r : Djebari H

MAA (UKM Ouargla)

Examineur

M_{ell} : Mansouri Z

MCB (UKM Ouargla)

Encadrante

Année Universitaire : 2023/ 2024



Remerciements

*Tout d'abord, nous remercions notre Dieu
qui nous a donné force et courage afin
d'achever notre travail. Ensuite, nous
remercions le professeur encadré*

Mansouri Zina

*Et membres jury : M^{eme}. Elfergougui .M
et M^r Djebari hassen*

*Nous remercions également tous ceux qui
nous ont aidés, dont M. Arif Salim,
ingénieur à l'Agence nationale des
ressources en eau et M. Hitama
Mohammed, ingénieur à la Direction des
ressources en eau. Et n'oubliez pas de
remercier tous les professeurs et amis.*



Dédicace

Ce travail est dédié à :

-Mon père

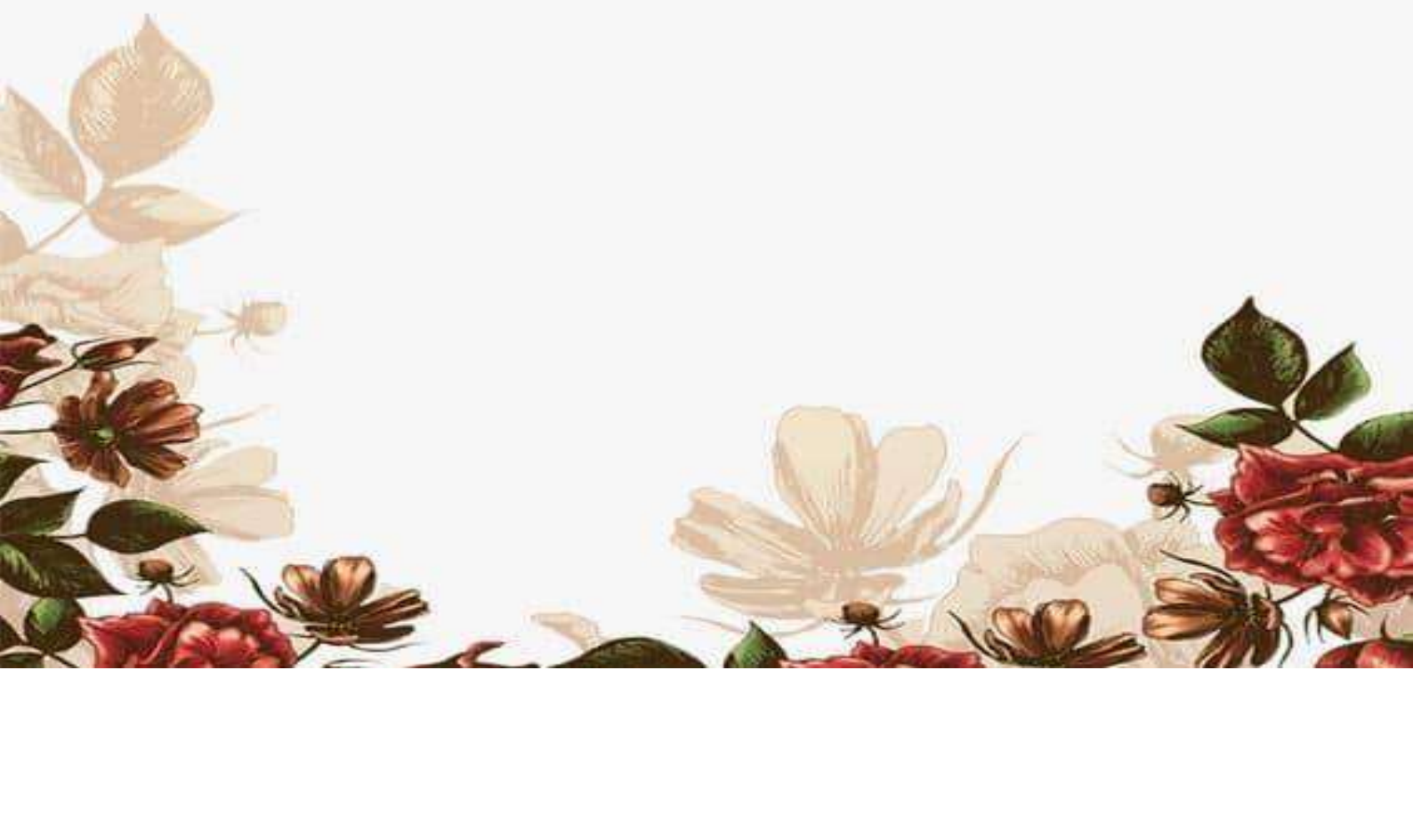
-Ma mère

-Mes frères

-Tous les amis d'étude et de travail,

-Tous les professeurs.

-A tout qui m'ont aidé à réaliser ce travail



SOMMAIRE

Remerciements	
Dédicace	
Sommaire.....	
Liste des figures.....	
Liste des tableaux	
Liste des photos.....	
Abréviations	
Résumé	
Introduction générale	01
Chapitre I : Généralité et caractéristique de la zone d'étude, Techniques Et équipements des forages	
1 - Situation géographique et localisation Hassi Chetaa El Bour N'goussa	
02	
2 - Localisation de forage Hassi Chetaa El Bour N'goussa	02
3 - L'objectif de forage	03
4 - Définition de forage d'eau	03
5 - Les méthodes de forage	04
5 – 1 Forage marteau fond de trou (MFT)	04
5 – 2 Forage au marteau fond de trou avec tubage.....	04
5 – 3 Forage par havage	05
5 – 4 Forage par battage	05
5 – 5 Forage rotary	05
5 – 5 – 1 Le principe de forage rotary.....	06
5 – 5 – 2 Les paramètres de forage.....	06
5 – 5 – 2 – 1 Poids sur l'outil	06
5 – 5 – 2 – 2 Vitesse de rotation	07
5 – 5 – 2 – 3 Débit de pompe	07
5 – 5 – 3 Les avantages de forage rotary	07
5 – 5 – 4 Les inconvénients de forage rotary	08
6 – Les équipements de forage rotary	08
6 – 1 Fonction de levage	09

6 – 1 – 1 Le mat de forage	10
6 – 1 – 2 Le système mouflage.....	10
6 – 1 – 3 Le moufle fixe [crown block].....	10
6 – 1 – 4 Le moufle mobile [traveling block]	11
6 – 1 – 5 Le crochet	12
6 – 1 – 6 Le câble de forage.....	12
6 – 1 – 7 Le treuil de forage [draw block].....	12
6 – 2 Fonction de rotation	13
6 – 2 – 1 La tige d'entraînement	13
6 – 2 – 2 Table de rotation	13
6 – 2 – 3 Les tiges de forage	14
6 – 2 – 4 Les masse tiges de de forage	14
6 – 2 – 5 L'outils de forage.....	15
6 – 2 – 6 Le top drive	15
6 – 3 Fonction de pompage	16
6 – 3 – 1 La boue ou la fluide de forage	16
6 – 3 – 2 La pompe à boue.....	17
6 – 3 – 3 Le circuit de la boue.....	18
6 – 3 – 4 La tête d'injection.....	19
6 – 3 – 5 Les tamis vibrations (shale shakers).....	19
6 – 3 – 6 Bac à boue.....	20
Conclusion	21
Chapitre II : Réalisation et équipement d'un forage d'AEP à Hassi Chetaa N'Goussa.	
1 – Installation du chantier et travaux de surface	23
2 – Les bassins de la boue	23
3 - Pompe à boue	24
4 – Les équipements de forage utilisé	24
4 – 1 Le mat de forage	25
4 – 2 Les outils de forage	25
4 – 3 Les mass tiges de forage.....	26
4 – 4 Les tiges de forage	27
5 – Description des travaux	27
5 – 1 Tube guide	27
5 – 2 L'opération de reconnaissance 12 ^{n1/4} et la perte totale de la boue de forage.....	28

5 – 3 La phase de la colonne de la production API 13 ^{n3/8}	30
5 – 4 Pose et cimentation de la colonne de la production API 13 ^{3/8}	31
5 – 5 La 2 ^{ieme} opération de la reconnaissance en 12 ^{n1 /4}	32
6 – Les cuttings	33
7 – Les enregistrements diagraphique	35
8 – Fiche technique du forage d’eau hassi chetaa.....	38
9 – Pose de la colonne de captage inox 8 ^{n5/8}	39
Chapitre III : Calcul de cimentation, Développement et Essai des pompages	
1 - Définition de l’opération de cimentation	41
1 – 1 Préparation du laitier de ciment	41
1 – 2 Injection du laitier de ciment	41
1 – 3 Placement du laitier de ciment	41
1 – 4 Prise du laitier de ciment	41
1 – 5 Vérification de l’intégrité	41
2 – Calcul de cimentation	42
2 – 1 Tube guide.....	42
2 – 1 – 1 Calcul du volume de laitier.....	42
2 – 1 – 2 Quantité de ciment.....	42
2 – 1 – 3 Volume d’eau	43
2 – 2 Colonne de production	44
2 – 2 – 1 Calcul du volume de laitier	44
2 – 2 – 2 Quantité de ciment	45
2 – 2 – 3 Volume d’eau	46
2 – 3 Calcul du volume de massif filtrat	46
3 – Le développement d’un forage.....	47
3 – 1 Introduction.....	47
3 – 2 Développement	47
3 – 3 Principe	48
4 – Essai de pompage	48
4 – 1 Essai de blanc	48
4 – 2 Essai par paliers	49
Conclusions et recommandations	52
Conclusion général	53
Références Textes	54

Liste des figures

Figure 01 : Schéma par satellite de la région de El Bour	02
Figure 02 : Dispositif schématique d'un atelier de forage rotary	08
Figure 03 : Schéma de fonctionnement de forage au rotary	09
Figure 04 : Le circuit de la boue	18
Figure 05 : Schéma d'installation du chantier de forage Hassi Chetaa	23
Figure 06 : Mise en place tubage	28
Figure 07 : Perte totale de la boue de forage Hassi Chetaa.....	29
Figure 08 : 1 ^{ère} Opération de reconnaissance en 12 ^{n1/4}	30
Figure 09 : La phase de la colonne de la production API 13 ^{3/8}	31
Figure 10 : Pose et cimentation de la colonne de la production API 13 ^{3/8}	32
Figure 11 : 2 ^{ème} Opération de la reconnaissance en 12 ^{n1/4}	33
Figure 12 : Schéma de Diagraphie	36
Figure 13 : Coup technique de forage	38
Figure 14 : Courbe caractéristique de l'essai de débits par paliers	51

Liste des tableaux

Tableau 01 : Les coordonnées géographiques du forage.....	02
Tableau 02 : Les outils utilisés.....	25
Tableau 03 : Mass tige utilisée	26
Tableau 04 : Les tiges utilisées	27
Tableau 05 : Les Matériaux injectés pour colmatage la perte totale de la boue	29
Tableau 06 : Description lithologique des cuttings du forage	34
Tableau 07 : La Programme de colonne du captage de Ø 8 ^{n5/8}	39
Tableau 08 : Conversion d'unités	42
Tableau 09 : Résultats de cimentation (tube guide)	44
Tableau 10 : Conversion d'unités.....	44
Tableau 11 : Résultats de cimentation (colonne de production)	46
Tableau 12 : Résultat de massif filtrant	47
Tableau 13 : Les données essai par trois paliers	49

Liste des photos

Photo 01 : Localisation du forage (image satellite)	03
Photo 02 : Le mat de forage.....	10
Photo 03 : Le moufle fixe	11
Photo 04 : Le moufle mobile et Le crochet	11
Photo 05 : Le treuil	12
Photo 06 : La tige d'entrainement.....	13
Photo 07 : La table de rotation	13
Photo 08 : Les tiges de forage	14
Photo 09 : Les mass tiges	14
Photo 10 : L'outil de forage	15
Photo 11 : Le top drive	15
Photo 12 : La pompe à boue	17
Photo 13 : La tête d'injection	19
Photo 14 : Les tamis vibrants	19
Photo 15 : Le bassin à boue de forage hassi chetaa	23
Photo 16 : La pompe à boue de forage hassi chetaa	24
Photo 17 : Le mât de forage hassi chetaa	25
Photo 18 : Les cuttings de forage	33

Abréviations

API : American Petroleum Institute

m : Mètre.

m³ : Mètre cube.

V : Volume.

V_L : Volume de laitier.

V_{eau} : Volume de l'eau de gâchage.

Q_c : Quantité de ciment.

H : hauteur à cimenter dans l'espace annulaire.

D: Diamètre.

V_{gv} : Volume de gravies.

V_{gr} : Volume de gravies réserve.

ANRH : Agence Nationale Des Ressources Hydrauliques

DRE : Direction des ressources en eau.

N_d : Niveau dynamique.

N_s : Niveau statique.

TP : Tubes plein.

TC : Tubes crépines

Résumé

La population croissante de la province et d'Ouargla coïncide avec les besoins en eau de la population, ce qui nécessite un forage accru des forages et l'exploitation de l'eau, qui est un atout précieux qui doit être préservé, et afin de répondre aux besoins du citoyen en fournissant la quantité d'eau nécessaire pour la nécessité de vivre.

Dans notre travail, nous avons étudié et suivi l'un de ces forages, à savoir le forage d'AEP de Hassi Chetaa dans la région d'El Bour de la commune d'N'goussa, Ouargla. Ce forage a été foré avec la technologie de forage la plus célèbre, la technique de forage par rotation, qui a franchi les étapes : tube guide, colonne Production, colonne de captage, développement du forages pour l'élimination des particules fines, essais de pompage pour déterminer le débit à exploiter.

Mots clés : Forage, Hassi Chetaa, Tube guide, Colonne Production, Colonne de captage, Essai de pompage.

المخلص

يتزامن تزايد عدد السكان في ولاية ورقلة مع احتياج السكان لكمية المياه مما توجب زيادة حفر الابار واستغلال المياه الباطنية، ومن أجل تلبية حاجات المواطن من خلال توفير الكمية اللازمة من المياه للضرورة المعيشية

وفي عملنا هذا تطرقنا الى دراسة ومتابعة احدى هذه الابار وهو بئر حاسي الشتا بمنطقة البور التابعة لبلدية أنقوسة بولاية ورقلة، وقد تم حفر هذا البئر بأشهر تقنيات الحفر وهي تقنية الحفر الدوراني والذي مر بعدة مراحل والمتمثلة في انبوب التوجيه، عمود الإنتاج، عمود التجميع، تطوير البئر من اجل التخلص من الجسيمات الدقيقة، اجراء اختبارات الضخ لتحديد التدفق الذي سيتم استغلاله.

الكلمات المفتاحية: البئر، حاسي الشتا، عمود التوجيه، عمود التجميع، عمود الإنتاج.

ABSTRACT:

The growing population of the province and Ouargla coincides with the water needs of the population, which requires increased well drilling and water exploitation, which is a valuable asset that must be preserved, and to meet the needs of the citizen by providing the amount of water necessary for the need to live

In our work, we studied and followed one of these wells, namely the drilling of AEP Hassi Chetaa in the El Bour region of the municipality of N'goussa, Ouargla. This drilling was drilled with the most famous drilling technology, the rotational drilling technique, which passed the steps: guide tube, Production column, catchment column, well development for the removal of fine particles, pumping tests to determine the flow to be operated.

Keywords: Drilling, Hassi Chetaa, Guide tube, Production column, Catchment column.

Introduction générale

On sait que les zones désertiques sont caractérisées par la sécheresse en raison du manque de précipitations et de chaleur climatique, mais leurs couches de sol sont riches en eaux souterraines, ce qui nécessite l'utilisation de forages pour l'exploitation de ces eaux. Dans notre travail, nous avons suivi l'un de ces forages, à savoir le forage d'AEP de Hassi Chetaa situé dans la région d'El Bour de l'État de Ouargla.

Nous avons suivi les étapes du travail jusqu'à la fin de l'opération de forage et nous avons eu plusieurs visites sur le lieu de travail, et dans cette recherche, nous avons enregistré ce qui s'est passé sur le terrain.

Notre programme de travail portait sur la méthodologie suivante :

Chapitre I :

- Étude théorique des types et des méthodes de forage.
- Caractéristiques, avantages et inconvénients du forage rotary.
- Equipements des forages rotary.

Chapitre II :

- Réalisation et équipement d'un forage d'AEP à Hassi Chetaa N'Goussa (les équipements et les phases).

Chapitre III :

- Calcul de cimentation, Développement et Essai des pompes.

Chapitre I :
Généralité et caractéristique de la
zone d'étude, Techniques Et
équipements des forages

1 - Situation géographique et localisation :

El Bour est un village de la commune de N’Goussa, dans le district de N’Goussa, province de Ouargla, en Algérie. Le village est situé à 4 kilomètres au nord-est de N’Goussa et à 23 kilomètres au Nord de la capitale provinciale Ouargla.

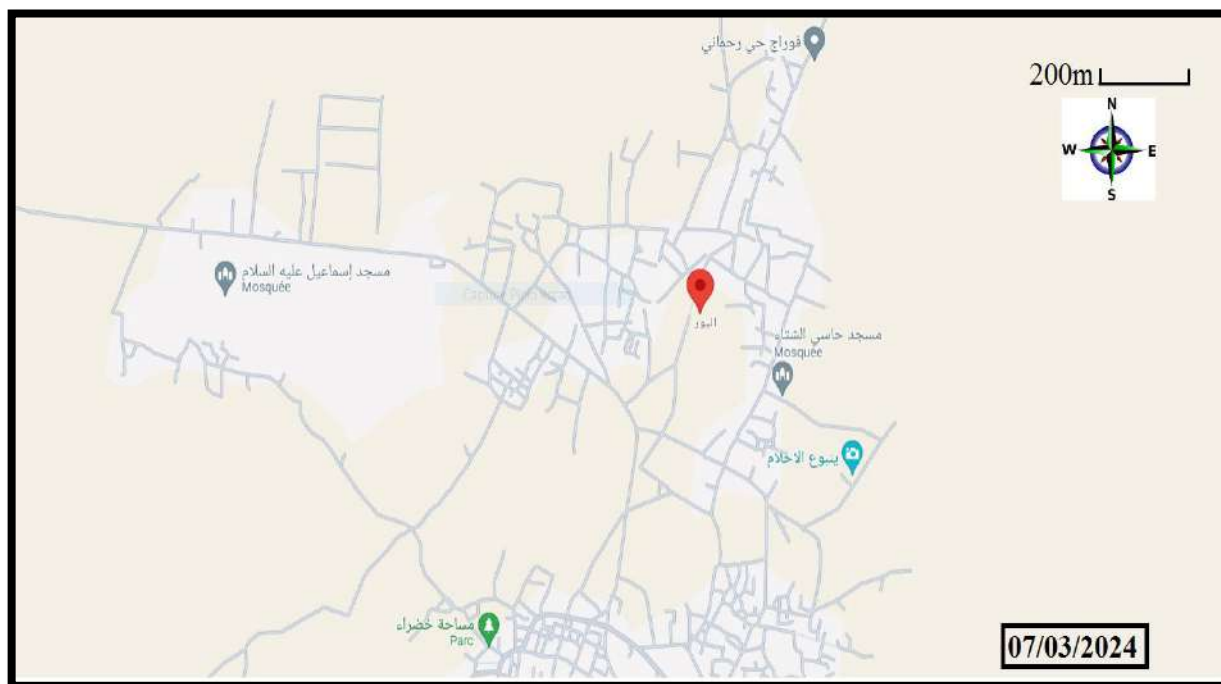


Figure N°01 : Schéma par satellite de la région d’El Bour

2 - Localisation de forage de Hassi Chetaa El Bour N'Goussa Ouargla :

Le nouveau forage D'AEP cité du 08 Mai 1945 à Frane de la commune de N'Goussa, dans les coordonnées géographiques sont les suivantes :

Tableau N°01 : Les coordonnées géographiques du forage. [1]

X	32°10'22.1"
Y	5°20'57.3"
Z	126 m
Longitude	05°,35400"
Latitude	32°,18000"

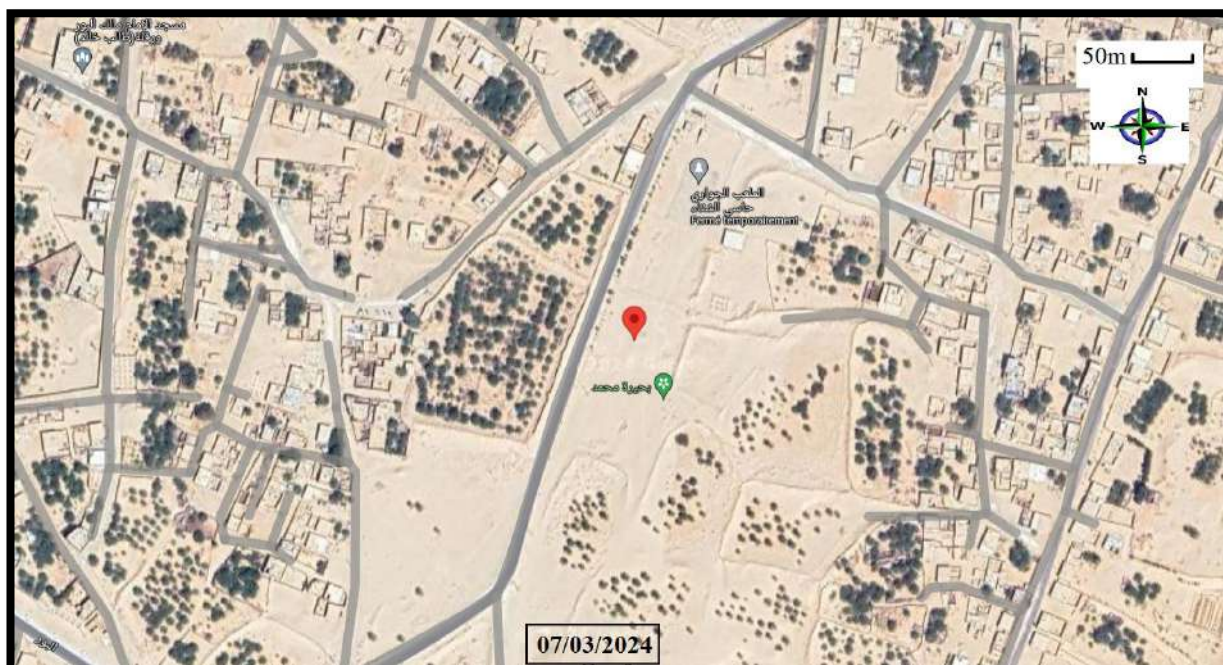


Photo N°01 : Localisation du forage (image satellite)

3 - L'objectif de forage :

Dans le cadre de la réalisation d'un forage destiné à L'AEP, au profit de la Direction des Ressources en Eau de la Wilaya de Ouargla, l'Agence Nationale des Ressources Hydriques a assuré le suivi technique des travaux de réalisation de ce forage, l'aquifère ciblée est le Sénonien Carbonatée du Complexe terminal, dont les travaux de réalisation ont été confiés à l'entreprise SARL FORCE SUD KHOUALED BRAHIM.

Les travaux de réalisation de forage ont débutés le 22/10/2022 et achevés le 06/03/2023.

4 - Définition de forage d'eau :

Le forage d'eau est le processus par lequel un forage est creusé dans le sol afin d'atteindre une nappe phréatique ou une source d'eau souterraine. Ce processus est essentiel pour l'approvisionnement en eau potable dans de nombreuses régions du monde, notamment dans les zones où l'eau de surface est limitée ou de mauvaise qualité. Le forage d'eau peut être réalisé à l'aide de différentes techniques et équipements, en fonction de la profondeur de la nappe phréatique et des caractéristiques géologiques du terrain. Une fois le forage terminé, une pompe est généralement installée pour extraire l'eau du forage à la surface pour un usage domestique, agricole ou industriel.

5 - Les méthodes de forage :

Il existe de nombreuses méthodes de foration dont la mise en oeuvre dépend de paramètres très divers.

5-1 Forage marteau fond-de-trou (MFT) :

Cette méthode de forage utilise la percussion assortie d'une poussée sur l'outil qui se trouve lui-même en rotation. L'énergie utilisée pour actionner cet outillage est l'air comprimé à haute pression (10 – 25 bars). C'est un procédé très intéressant en forage hydraulique et principalement en terrains durs et très dur (calcaire et grès). Un marteau pneumatique équipé de taillants est fixé à la base d'un train de tiges et animé en percussion par envoi d'air comprimé dans la ligne de sonde, d'où le nom de "marteau fonde de trou". Cette technique est surtout utilisée dans les formations dures car elle permet une vitesse de perforation plus élevée que celles obtenues avec les autres techniques.

Il convient de noter que la foration MFT à l'air est parfois couplée à l'emploi de mousse de forage (injectée dans le circuit d'air) pour favoriser la tenue des parois et/ou la remontée des cuttings. S'agissant d'un contexte "eau minérale", le choix d'une mousse "inerte" doit être une préoccupation pour l'opération. [1]

5-2 Forage au marteau fond de trou avec tubage :

Principe :

Identique à la technique MFT "classique" exposée ci-avant, cette méthode concerne la mise en Place d'un tubage des parois du trou au fur et à mesure de sa foration.

Elle met en œuvre un taillant pilote avec aléseur excentrique qui permet de forer des trous d'un diamètre légèrement supérieur au diamètre extérieur des tubes. Le tubage est ainsi enfoncé progressivement à la suite de l'aléseur sous l'effet de son propre poids et de l'énergie de percussion du marteau. Les tubes sont solidarités entre eux soit par soudure, soit par filetage. Le taillant excentrique se déploie par rotation dans le sens des aiguilles d'une montre, une rotation en sens inverse en fin de foration permet son repli et la remontée de la garniture. Comme en foration au marteau fond de trou classique, l'évacuation des cutines est là aussi assurée par la remontée de l'air, ici entre tiges et tube. [2]

5-3 Forage par havage :

Plus connue sous le nom de procédé Bento, dans ce type de forage par curage ou havage, les tubages pénètrent dans la formation sous l'effet de leur propre poids ou sous l'action de vérins hydrauliques. Une benne « preneuse » vide progressivement l'intérieur du tubage tant que celui-ci se trouve au-dessus du niveau statique. En-dessous du niveau statique, l'emploi d'une soupape est recommandé.

Méthode adaptée pour des ouvrages de gros diamètre en terrains alluvionnaires (formations meubles).

5-4 Forage par battage :

Le battage consiste à briser la roche en laissant régulièrement tomber un outil (le trépan). Ce procédé ancien est utilisé dans des formations « dures ». Un tubage de travail est utilisé pour protéger les parois du terrain

Principe :

La méthode consiste à soulever un outil lourd (trépan) et à le laisser retomber sur le terrain à traverser. La hauteur et la fréquence de chute varient selon la dureté des formations. [2]

On distingue deux types de battages : le battage au treuil et le battage au câble. Cette dernière méthode est la plus courante. Le trépan est suspendu à un câble qui est alternativement tendu et relâché. Les mouvements sont rapides et le travail de l'outil se fait plus par un effet de martèlement dû à l'énergie cinétique que par un effet de poids comme pour le battage au treuil.

Un émerillon permet au trépan de pivoter automatiquement sur lui-même à chaque coup. Le trou est nettoyé au fur et à mesure de l'avancement par descente d'une soupape permettant de remonter les débris (cutines). Ce procédé permet de réaliser des forages sans utilisation d'eau ou de boue. [2]

5-5 Forage au rotary :

La méthode rotary c'est une méthode de forage classique est plus rapide, plus efficace et plus économique que toute autre, nous en décrirons brièvement pour mieux expliquer les processus de l'échantillonnage des terrains et les mesures hydrauliques et de perméabilité qui constituent les buts essentiels de l'opération de reconnaissance des nappes aquifères, leur interprétation permettra de décider si l'ouvrage doit être poursuivi en vue de son exploitation et de définir ses dimensions définitives et son équipement. [3]

5-5-1 Le principe de forage rotary :

Le principe du forage rotary consiste à mettre en rotation un outil sur lequel s'applique une force orientée dans la direction d'avancement, ce procédé permet de creuser un trou de rayon égal à celui de l'outil. Les copeaux (cuttings) générés au fond du trou suite à la destruction de la roche par l'outil remontent en continu à la surface grâce à la circulation du fluide de forage qui est généralement une boue bentonique à base d'eau ou d'huile. Ce fluide est pompé depuis la surface vers l'intérieur des tiges de forage pour être injecté au travers de l'outil sur le front de coupe. La boue remonte ensuite dans l'espace annulaire entre les tiges et les parois du forages et entraîne ainsi les copeaux de roche vers la surface. Le poids sur l'outil (weight on bit : wob) est obtenu par la gravité grâce à l'introduction de tiges lourdes appelées les masse tiges. Le couple de rotation est obtenu soit à partir d'un couple en surface transmis vers l'outil via un train de tiges.

La sonde de forage rotary est l'appareillage nécessaire à la réalisation des trois fonctions

*Poids sur l'outil, *Vitesse de rotation de l'outil, *Injection d'un fluide

5-5-2 Les paramètres de forage :

Les paramètres de forage sont très nombreux et ne sont pas tous critiques. Les appareils de forage sont munis de capteurs qui permettent l'enregistrement et le suivi de ces paramètres principaux : tension du câble (d'où on déduit le poids sur l'outil), pression d'injection de la boue, pression en tête de forages, fréquence des coups des pompes, vitesse de rotation, couple de rotation, niveaux des bacs, débit de boue, densité, viscosité, viscosité, température et résistivité. [1]

Les paramètres critiques sont le poids sur l'outil, la vitesse de rotation et débits des pompes. Pour avoir le meilleur rendement d'un forage rotary, il convient d'être très attentif sur les trois paramètres suivant :

5-5-2-1 poids sur l'outil :

Pour forer les formations, le trépan fixé à l'extrémité de la garniture doit tourner mais également appuyer sur la roche. C'est en lâchant partiellement le train de tiges à l'aide du frein que l'on peut mettre la partie basse de la garniture en compression et exercer ainsi la force qui permettra le forage. Ce paramètre a un impact direct sur la vitesse d'avancement, il est contrôlé par le Martin Decker (dynamomètre) qui mesure la tension du brin (file) mort du câble de forage par le biais d'une cellule à pression hydraulique. Cette tension donne le poids de tout ce qui est suspendu au crochet, y compris le moufle mobile. Avant de reprendre le

forage, le foreur note toujours soigneusement la lecture L du Martin Deckar qui reflète le poids apparent de tout ce qui se trouve sous le crochet (poids apparent = poids dans l'air moins la poussée d'Archimède exercée sur la partie de garniture immergée dans la boue)

Lorsque le foreur lâche le frein et fait « poser » l'outil au fond du trou, la lecture L est diminué du poids mis sur l'outil. [1]

5-5-2-2 Vitesse de rotation :

La vitesse de rotation du trépan est liée à celle de la table de rotation ou à celle de la tête motorisée. Il ne faut pas croire que plus la vitesse de rotation est élevée, plus la vitesse de pénétration du trépan est importante. Ce paramètre est nécessaire au foreur car il influe sur la longévité du trépan (abrasion de l'outil et risque de torsion). Dans les terrains durs, la vitesse de rotation sera faible ; elle

Sera plus élevée lorsque les terrains seront tendres. [1]

5-5-2-3 Débit des pompes :

Le débit de boue est un paramètre fixé pour assurer un bon nettoyage du trou et de l'outil ainsi que son refroidissement ; mesuré en sortie de pompe est facilement obtenu si l'on connaît le nombre de coups de pompe et le volume de chacun de ces coups. Le débit retour en surface (ou débit sortie) est contrôlé soit directement par des débitmètres, soit plus empiriquement et plus souvent par le contrôle de niveau des bacs mais le temps de réponse est évidemment plus lent. La vitesse de remontée des cuttings doit se situer autour de 60 m/min. au minimum. Le choix de la puissance de la pompe et de son moteur sera conditionné par le volume total de boue à mettre en œuvre pour la plus grande profondeur du forage, en tenant compte des pertes de charge, de la viscosité de la boue et de dimensions des tiges. [1]

5-5-3 Les avantages de forage rotary :

- La profondeur du forage peut être très importante, la foration n'est pas perturbée par les terrains peu stables ou plastiques, sous réserve de l'utilisation d'un fluide de forage adapté.
- Ce système permet un bon contrôle des paramètres de forage (poids de l'outil, vitesse de rotation, qualité de la boue, débit d'injection de la boue) en fonction des terrains à traverser.
- Le forage au rotary consolide les parois en terrains meubles par dépôt d'un cake.
- Les forages de grands diamètres sont exécutés rapidement et économiquement.

- Facilité de mise en place de la crépine.
- Consommation économique de l'énergie [5]

5-5-4 Les inconvénients de forage rotary :

- 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).
- Nécessite beaucoup d'eau.
- Nécessite un grand investissement (matériel très importants).
- Seuls les sites accessibles peuvent être forés avec ce matériel lourd. [5]

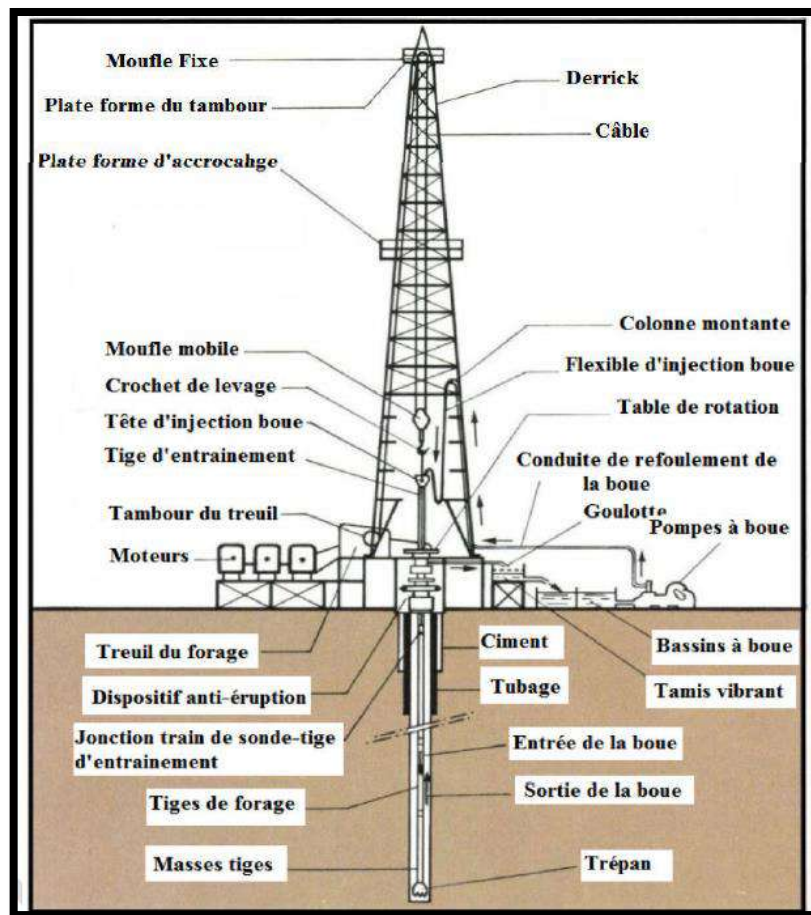


Figure N°02 : Dispositif schématique d'un atelier de forage rotary. [1]

6 - Les équipements de forage rotary :

On peut regrouper les équipements d'un appareil de forage suivant les fonctions principales

- Fonction levage

- Fonction rotation
- Fonction pompage

Ainsi, la fonction de contrôle de venue et la fonction de transmission d'énergie

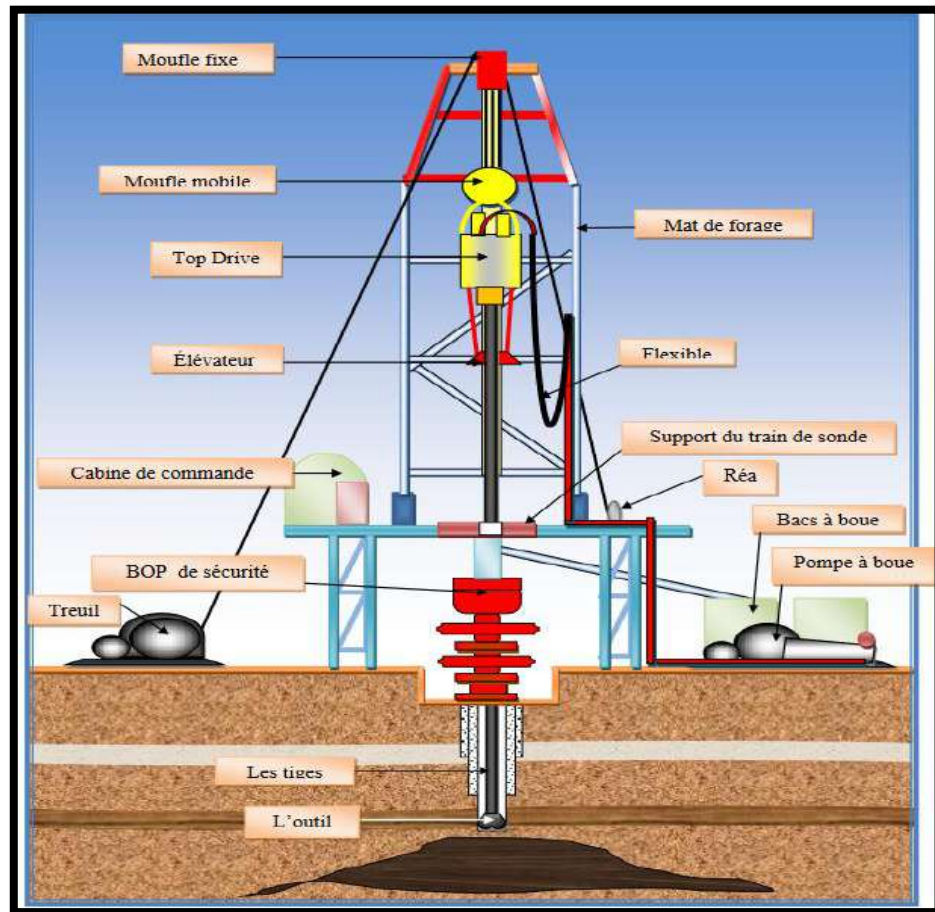


Figure N°03 : Schéma de fonctionnement de forage au rotary. [4]

6-1 Fonction de levage :

Pour soulever la garniture de forage (ensemble tiges - tiges lourdes – masse-tiges), il faut utiliser une grue de grande capacité, puisque la garniture de forage peut atteindre un poids de 150 tonnes ou plus. Cette grue est constituée de

- Le mât
- Le treuil

Un palan comprenant les moufles fixe et mobile et le câble. [4]

6-1-1 Le mât de forage [mat] :

C'est le « trépied » qui supporte le palan. Il a remplacé la tour pour la rapidité de son montage et démontage.

A son sommet est placé le moufle fixe. Une passerelle d'accrochage est placée à son milieu elle sert de lieu de travail pour l'accrocheur, qui accroche ou décroche les « longueurs » de tiges lors de remontée ou la descente de l'outil

dans le forages. Une autre passerelle de hauteur ajustable placée plus bas, sert à guider le tubage pour le visser et le descendre dans le forages. [4]



Photo N°02 : Le mat de forage. [3]

6-1-2 Le system de mouflage :

Le mouflage est l'enroulement du câble de forage entre les poulies des moufles fixe et mobile en plusieurs brins (jusqu'à 14 brins). Le mouflage permet de démultiplier le poids de la garniture de forage et diminuer la vitesse de son déplacement. En négligeant les frottements, la tension sur le brin actif est divisée par le nombre de brin, et sa vitesse est multipliée par ce nombre. [4]

6-1-3 Le moufle fixe [crown block] :

Formé d'un certain nombre de poulies et placé au sommet du mât, il possède une poulie de plus que le moufle mobile.

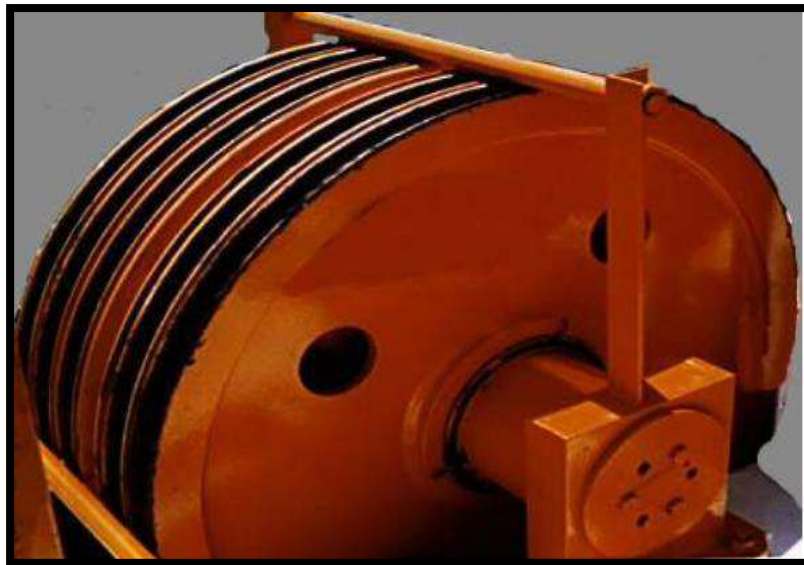


Photo N°03 : Le moufle fixe. [3]

6-1-4 Le moufle mobile [travelling block] :

Formé également d'un certain nombre de poulies par lesquelles passe le câble de forage, il se déplace sur une certaine hauteur entre le plancher de travail et le moufle fixe.

Il comporte à sa partie inférieure un crochet [Hooke] qui sert à la suspension de la garniture pendant le forage. Des bras sont accrochés de part et d'autre de ce crochet servent à supporter l'élévateur, utilisé pour la manœuvre de la garniture.

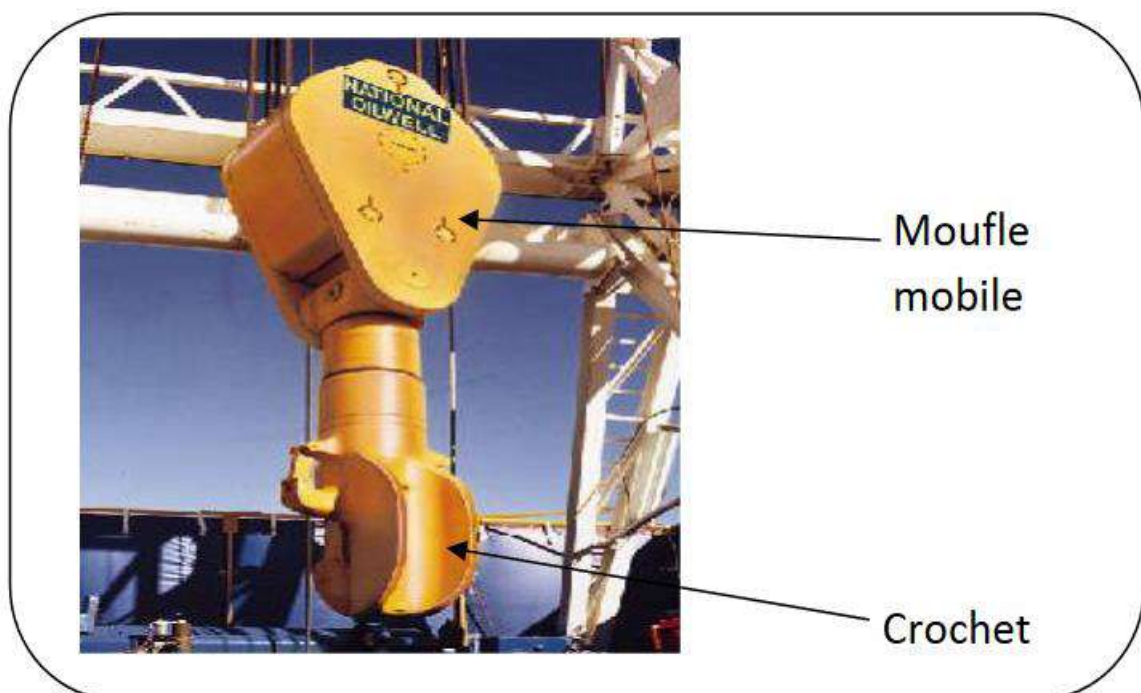


Photo N°04 : Le moufle mobile et Le crochet. [3]

6-1-5 Le crochet :

Il est fixé en bas de moufle mobile, il suspend la tête d'injection, la tige carré de rotation et la garniture de forage.

6-1-6 Le câble de forage :

Le câble utilisé sur les installations de forage est un câble en acier, mais l'âme peut être parfois en chanvre. Autour de l'âme sont enroulés généralement six torons, chaque un de ces torons étant composé d'un certain nombre de fils d'acier.

6-1-7 Le treuil [draw work] :

C'est un fût (tambour) autour duquel s'enroule le câble de forage. Aux bouts de ce fût sont fixées des jantes qui servent au freinage, au contact de bandes en acier contenant des patins en ferodo, actionnées par un levier.

Les principaux éléments constituant le treuil de forage sont :

- Le châssis du treuil
- L'arbre tambour
- L'arbre des cabestans
- La boîte à vitesses
- Le poste de commande



Photo N°05 : Le treuil. [3]

6-2 La fonction de rotation :

6-2-1 La tige d'entrainement :

Elle assure la liaison entre la garniture de forage et la tête d'injection et communique le mouvement de rotation de la table à la garniture de forage par l'intermédiaire du carré d'entraînement.

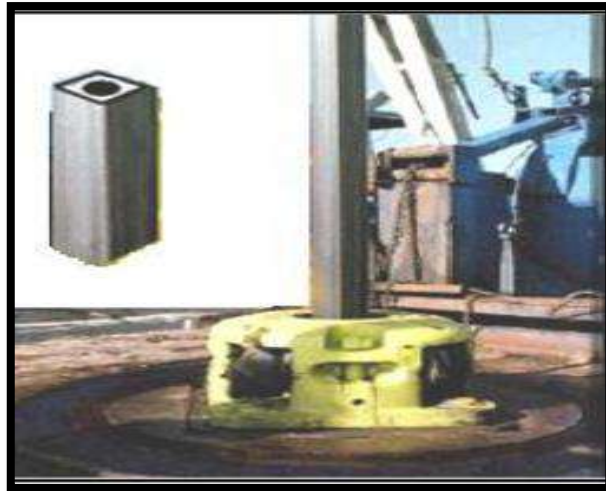


Photo N°06 : La tige d'entrainement. [3]

6-2-2 Table de rotation :

Pour faire tourner l'outil, on visse au sommet des tiges, de forme cylindrique, une autre de section carrée ou hexagonale, appelée tige d'entraînement [Kelly], et on l'introduit dans un moyeu appelé table de rotation [rotary table]. Cette table sert aussi au calage de la garniture

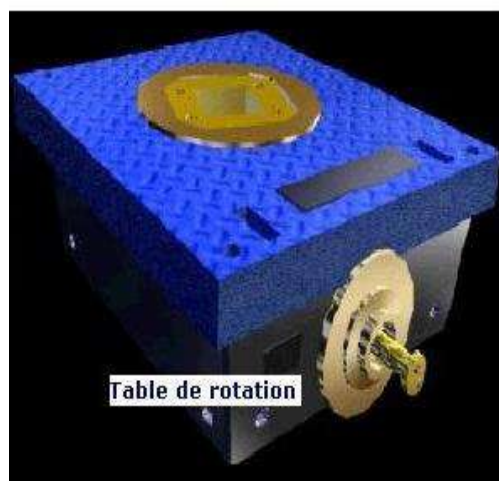


Photo N°07 : La table de rotation. [4]

6-2-3 Les tiges de forage:

C'est un ensemble de tiges d'acier légères d'environ 10 m est plus de longueur, d'un diamètre extérieur pouvant aller de 9 à 15 cm et d'une épaisseur de 1 cm. assurent la transmission du mouvement de rotation à partir de la table jusqu'à l'outil et permettent aussi la canalisation du fluide de forage jusqu'à ce dernier. [4]



Photo N°08 : Les tiges de forage. [3]

6-2-4 Les mass tiges de forage :

Ce sont des tubes de fortes sections permettant d'exercer du poids sur le trépan. Les masses-tiges sont sollicitées en compression et en torsion. Les diamètres de ces tiges peuvent varier selon les forages, de 6 à 8 cm pour le diamètre intérieur et de 10 à 25 cm pour le diamètre extérieur pour une épaisseur de 6 à 16 cm, ce qui leur confère une bonne rigidité en torsion et en compression. [4]



Photo N°09 : Les mass tiges. [5]

6-2-5 L'outil de forage :

Est l'outil qui permet de forer les roches en les broyant, permettant ainsi au forage de progresser en profondeur, Il est composé de trois parties solidaires, munies de dents ou de pastilles abrasives en acier spécial très dur.



Photo N°10 : L'outil de forage. [3]

6-2-6 Le top drive :

,Le top drive est une sorte de tête d'injection motorisée énorme qui, en plus de l'injection assure la rotation de la garniture de forage. On n'a besoin ni de la tige d'entraînement ni de la table de rotation pour faire tourner la garniture, c'est le top drive qui s'en charge. En plus, pendant le forage, au lieu de faire les ajouts simple par simple, on peut les faire longueur par longueur.



Photo N°11: Le top drive. [3]

6-3 La fonction de pompage :

6-3-1 La boue ou fluide de forage :

La boue ou fluide de forage est un élément essentiel dans le processus de forage rotatif.

La boue est un liquide contenant des éléments solides dans l'eau ou l'huile, elle est préparée d'argile.

Les principaux rôles de la boue sont :

- Remontée des déblais
- Maintien des déblais en suspension pendant l'arrêt de la circulation
- Refroidissement de l'outil
- Maintien des parois du forages
- Maintien des fluides de formations traversées

Ses principales caractéristiques sont :

- La masse volumique : (appelée densité sur chantier), sert à alourdir la boue pour augmenter la pression hydrostatique dans le forages, et éviter ainsi l'intrusion d'un fluide ou le fluage des argiles. [4]
- La viscosité : c'est la caractéristique qui permet à la boue de déplacer les déblais.
- Le filtrat : c'est l'eau qui pénètre dans la formation pour permettre le dépôt d'une couche de solides, appelée cake, qui "cimente" les parois du forages :

La densité : La densité est un paramètre important des boues de forage. Elle doit être suffisamment élevée pour contrebalancer la pression exercée par les venues d'eau, d'huile et de gaz et par conséquent les éruptions. Cependant elle ne doit pas dépasser la limite de résistance des parois du forages (formations traversées) pour ne pas les fracturer et ne pas risquer une perte de boue au cours de la circulation.

Le pH : Le contrôle de l'acidité et l'alcalinité de la boue est important. Il révèle la contamination par le ciment ou par l'eau de la couche aquifère

Pourcentage de sable :

Les principaux types sont :

- La boue à base d'eau : le fluide dans lequel sont ajoutés les autres produits est de l'eau.

- La boue à base d'huile : le fluide dans lequel sont ajoutés les autres produits est du gasoil ou du pétrole

Chaque type de boue est utilisé pour répondre à certains problèmes dans le forages. Par exemple, les argiles dites « gonflante » gonflent au contact de l'eau et viennent coincer la garniture de forage. Pour éviter ce problème, il faut utiliser une boue à base d'huile

La boue à base d'eau dissout le sel. Donc, pour forer ce type de formation, il faut, soit utiliser une boue à base d'huile, soit une boue saturée en sel.

6-3-2 La pompe à boue :

Ces pompes réalisent la circulation de la boue de forage dans le forages. Elles sont divisées en deux sections :

.Section hydraulique : c'est la section de piston qui aspire et refoule la boue

Section mécanique (de puissance) : contient le gros vilebrequin et les engrenages qui déplacent les pistons dans la section hydraulique. [4]

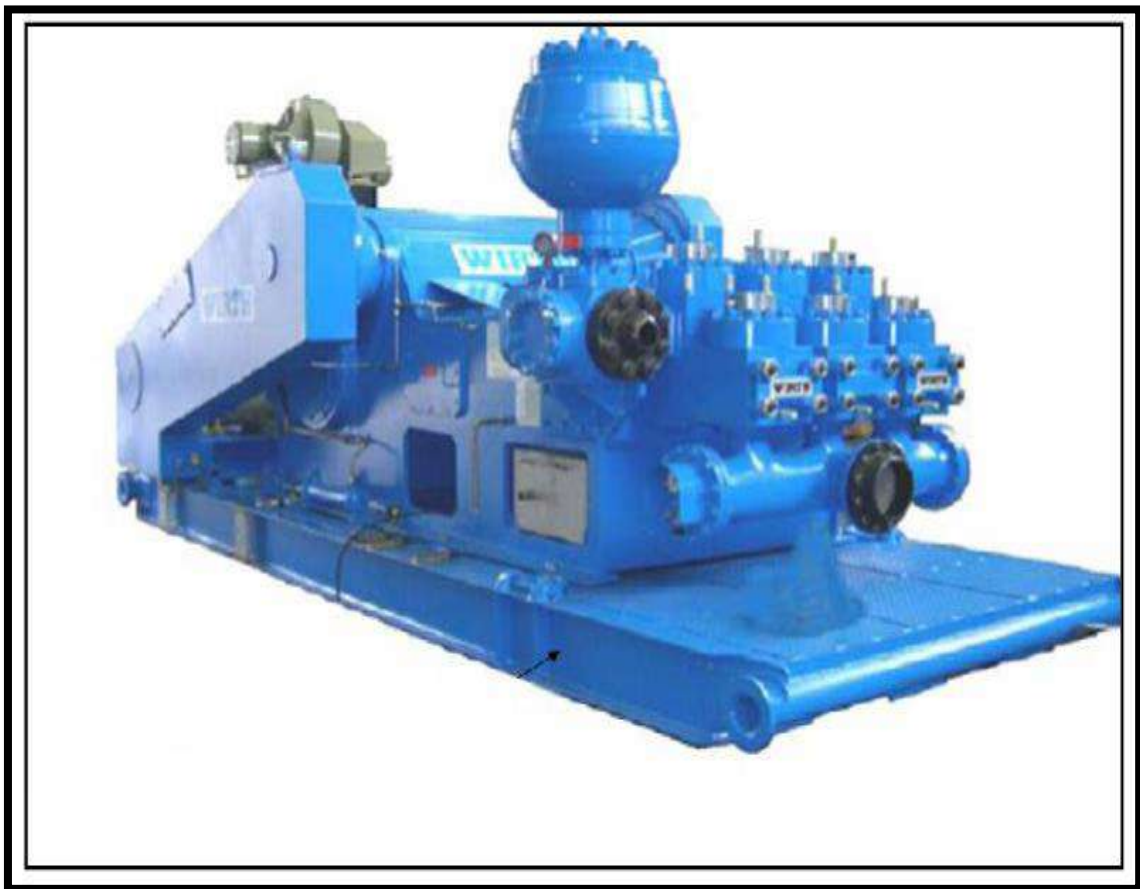


Photo N°12: La pompe à boue. [3]

6-3-3 Le circuit de boue :

La boue, une fois refoulée doit suivre le chemin suivant : la conduite de refoulement : juste à la sortie de la pompe, achemine la boue de la pompe jusqu'au plancher de travail, -le manifold de plancher : placé sur le plancher de travail, il comporte plusieurs vannes pour diriger la boue dans plusieurs directions.

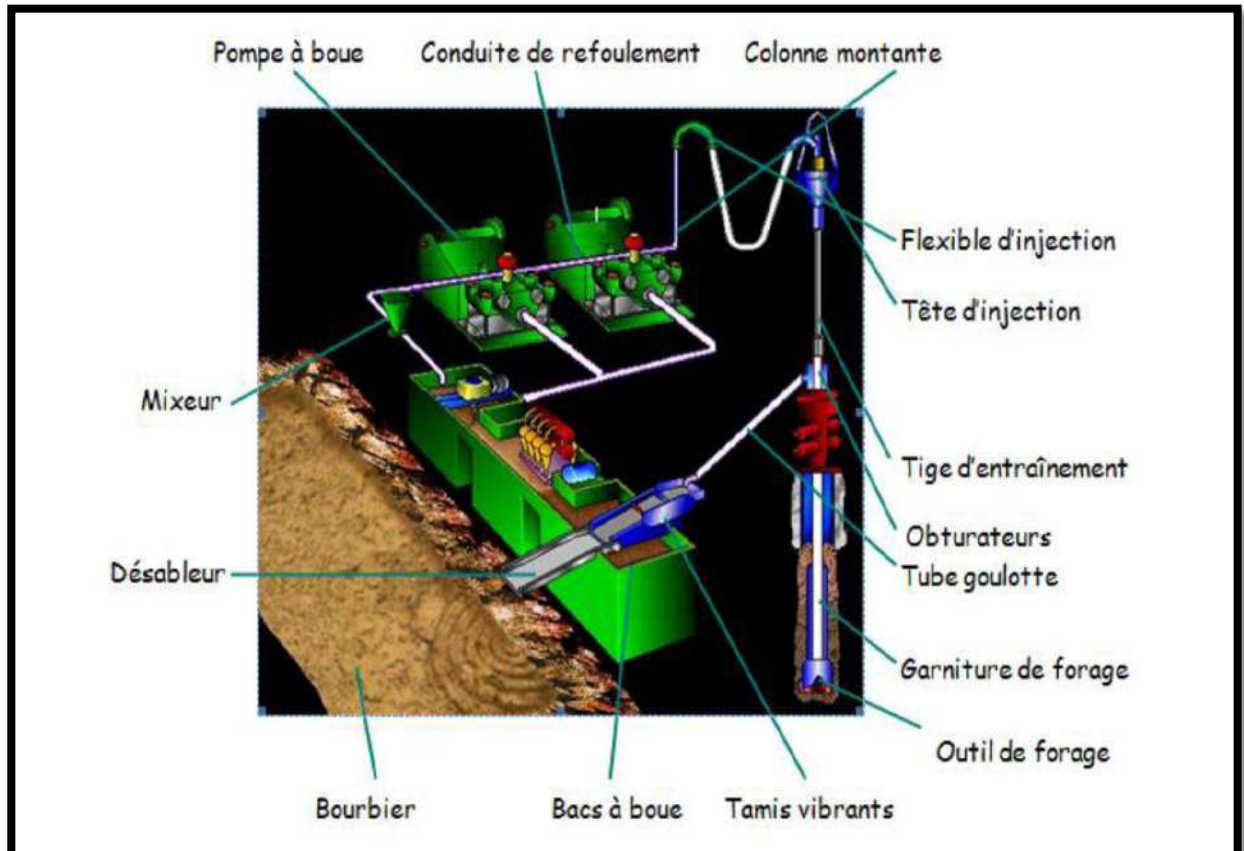


Figure N°04 : Le circuit de la boue

6-3-4 La tête d'injection :

La tête d'injection joue un rôle important dans le forage : étant donné que le flexible d'injection ne doit pas tourner alors que la garniture de forage doit tourner pour transmettre le mouvement de rotation à l'outil, la tête d'injection est composée de deux parties : celle de haut, reliée au flexible d'injection, est immobile, alors que celle en bas, reliée à la tige d'entraînement, est tournante. [4]

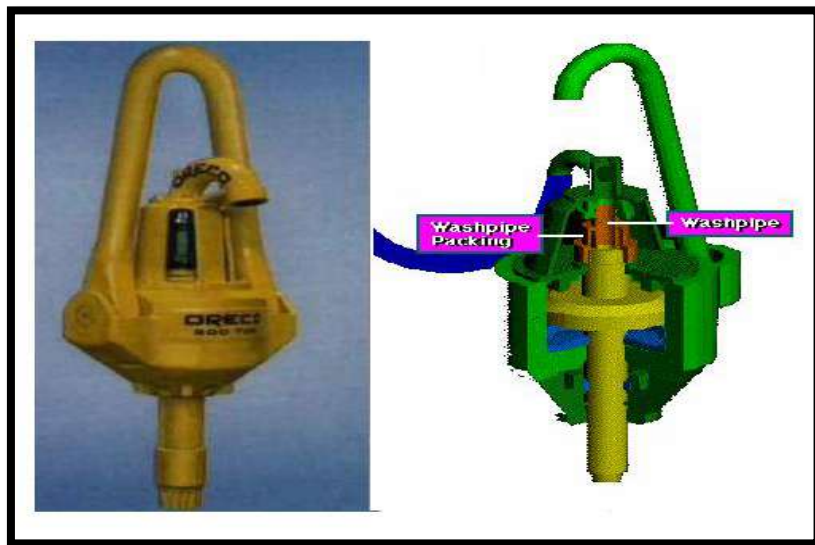


Photo N°013 : La tête d'injection. [4]

6-3-5 Les tamis vibrants (shale shakers) :

Les tamis vibrants dont le rôle est de séparer les déblais de la boue comportent un ou deux châssis des toiles métalliques spéciales.



Photo N°14 : Les tamis vibrants.

6-3-6 Les bac à boue (Trip tank) :

Il s'agit d'un dispositif spécial, qui entre en service lorsque la garniture de forage sort du s pour des manœuvres. Et assure que le volume de boue ajouté remplace exactement le volume occupé par la garniture de forage. [4]

Conclusion :

La technologie de forage rotary est la technologie la plus répandue, car elle s'adapte à la géologie de la région, de sorte que le taux de réussite est significatif, Avec la nécessité de travailler professionnellement, fournir les capacités matérielles et humaines nécessaires et

Tout en maintenant la sécurité publique

Dans cette partie, nous avons abordé certaines méthodes de forages importants, en particulier la technologie de forage rotary.

La sonde de forage rotary est l'appareillage nécessaire à la réalisation des trois fonctions

*Poids sur l'outil, *Vitesse de rotation de l'outil, *Injection d'un fluide

Chapitre II :

Réalisation et équipement d'un

forage d'AEP à Hassi Chetaa

N'Goussa

1 - Installation du chantier et travaux de surface :

Les travaux du forage ont été attribués à SARL FORCE SUD KHOUALED BRAHIM. Dans le cadre d'un appel d'offre lancé par l'ANRH de la wilaya d'Ouargla

Technique de sondage : Machine de forage au rotary avec une boue à base d'eau douce et bentonite.

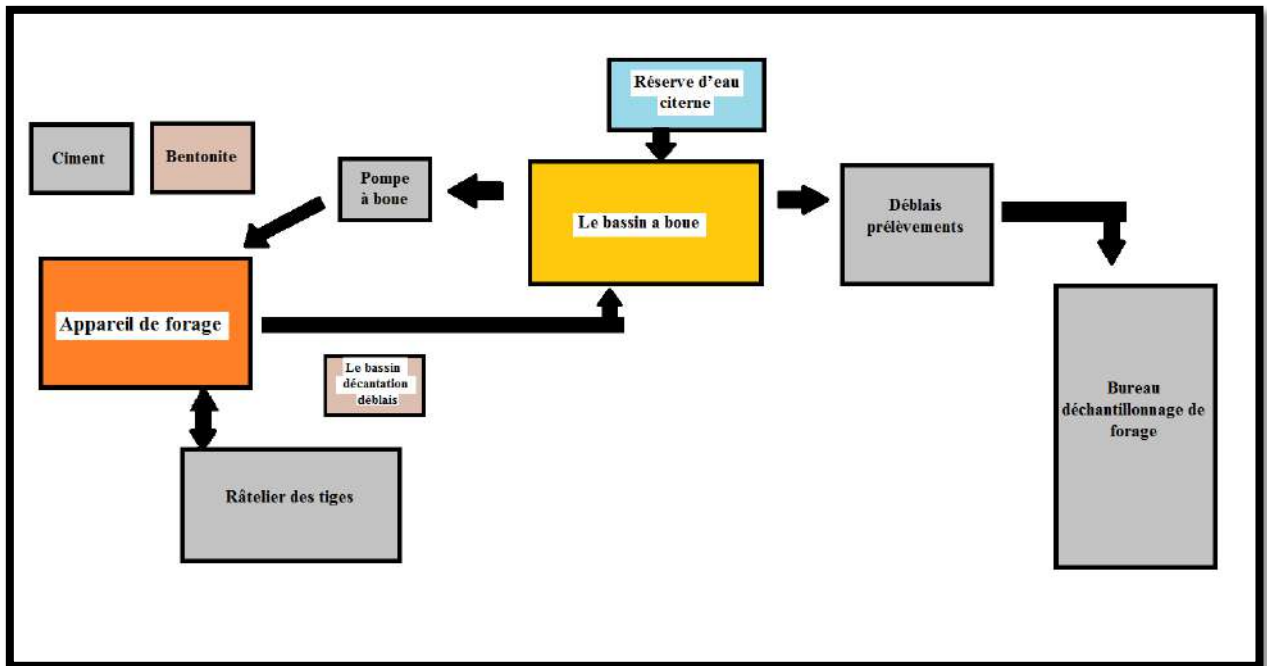


Figure N°05 : Schéma d'installation du chantier de forage Hassi Chetaa.

2 - Le bassin à boue :

Dans ce travail, il y a un bassin, qui prépare et maintient la boue de forage dans de bonnes conditions

Le dimensionnement des bassins utilisés est :

- Largeur (m) = 3 m.
- Longueur (m) = 10 m.
- Profondeur (m) = 1 m.
- Volume (m³) = 30 m³.



Photo N°15 : le bassin à boue de forage Hassi Chetaa

3 - Pompe à boue :

La pompe à boue, également connue sous le nom de pompe de circulation de boue, est un équipement essentiel utilisé dans les opérations de forage, en particulier dans l'industrie pétrolière et gazière. Son rôle principal est de transporter la boue de forage depuis le réservoir de boue jusqu'au fond de forage et de la ramener à la surface.



Photo N°16 : La pompe à boue de forage Hassi Chetaa

4 - Les équipements de forage utilisés :

Les équipements de forage désignent l'ensemble des outils, machines et dispositifs utilisés pour réaliser des opérations de forage dans le sol ou dans des formations géologiques. Ces équipements sont essentiels dans divers domaines tels que l'exploration pétrolière et gazière, la géologie, la géotechnique, la construction de forages d'eau, et d'autres secteurs nécessitant des trous ou des forages dans le sol.

4- 1 Le mât de forage :

Fabrication locale 18,6 mètres de longueur



Photo N°17 : le mât de forage Hassi Chetaa

4- 2 Les outils de forage

L'outil de forage est la pièce la plus importante pour réaliser un forage d'eau.

Les outils utilisés dans le forage est :

Tableau N°02 : les outils utilisés

Les outils	Diameter en pouce	Longueur (cm)	Les photos
1	24"	55 cm	Date : 20-12-2023

2	17" ^{1/2}	48 cm	Date : 23-03-2024 
3	12" ^{1/4}	43 cm	Date : 23-03-2024 

4-3 Les mass tiges de forage :

Les masses tiges sont des tiges mais avec un poids unitaire très élevé, elles sont utilisées pour atteindre le poids initialement prévu sur l'outil de forage.

Tableau N°03 : Mass tige utilisée

	Longueur (m)	Diamètre ext (pouce)	Diameter int (pouce)	Epaisseur (pouce)	Les photos
masses tiges	9,60	6"	4"	2"	Date : 20-12-2023 

4-4 Les tiges de forage :

Son rôle est la transmission du mouvement de rotation et la canalisation du fluide de forage jusqu'à ce dernier.

Tableau N°04 : Les tiges utilisées

	Longueur (m)	Diamètre ext (pouce)	Diameter int (pouce)	Epaisseur (pouce)	Les photos
					Date : 25-03-2023
Tiges	9,60	4"1/2	3"1/2	1"	

5- DESCRIPTION DES TRAVAUX :

Construction du forage

Le forage a été effectué chronologiquement suivant les phases ci-après exposées :

5-1 Le tube guide :

Le 22/10/2023, installation du chantier et démarrage des travaux du forage de Pavant forages en outil 24" de 0 m à 10m, comme prévu dans le programme prévisionnel.

A la cote de 10 mètres, les cuttings indiquent la présence d'une nappe superficielle, formée par des sables et des sables marneux, jusqu'à 18 mètres de profondeur, ainsi, pour des raisons de sécurité et éviter tout incident au cours de la reconnaissance (jusqu'à 200m), une modification à subit le programme prévisionnelle et de poser le sabot du tube guide Ø20"5/8 dans un terrain solide, ainsi, il a été décidé de continuer le forage à la cote de 25mètres .

On note que la mise en place du tube guide est effectuée le 01/11/2023

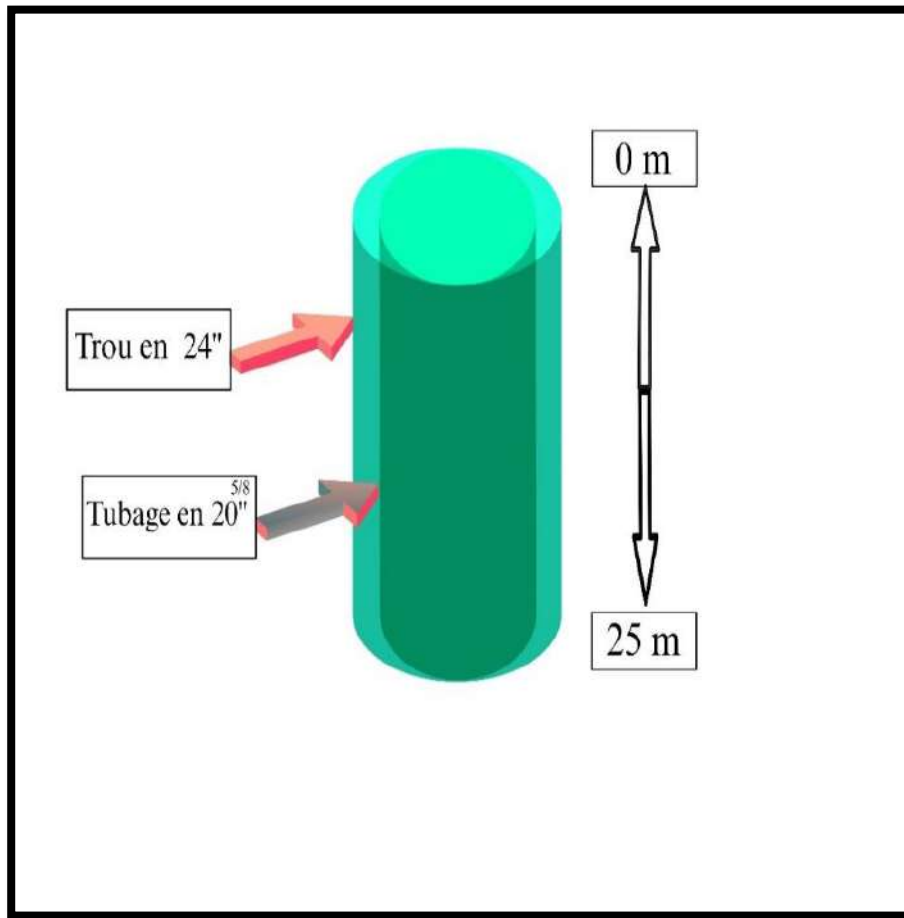


Figure N°06 : mise en place tubage.

5-2 L'opération de reconnaissance en $\varnothing 12''^{1/4}$ et la perte totale de la boue de forage :

Après la mise du tube guide et au cours de la reprise de la reconnaissance en outil $\varnothing 12''^{1/4}$, à partir du 28 m de profondeur, une perte totale de boue a été déclenchée, causée par la rencontre des grès calcaires très poreux.

Plusieurs tentatives sont déployées pour maîtriser la perte totale de boue, parmi ces derniers, on site :

- Injection des boules de bentonite malaxés avec la foin, et ce, à plusieurs reprises.
- Mise en place d'un volume de 10m^3 , constitué des fragments d'argiles gonflantes.
- La dernière tentative est l'injection de laitier du ciment malaxé avec la bentonite, et ce, à plusieurs reprises.
- La reprise de forage à l'eau claire a été réalisé pour essayer d'avancer mais vu les risques de - coincement l'opération a été annulée.

Enfin, la perte total a été maitrisé suite à l'injection d'une volume importante de laitier de ciment et bentonite très dense de 11m³ environ, composé de 190 sac de Bentonite et 55 sac de ciment, cette opération est suivi d'une élargissement du forages à partir de 25m jusqu'à 50m, 'sur un tronçon de 25m de profondeur, afin de bien colmater la couche de perte.

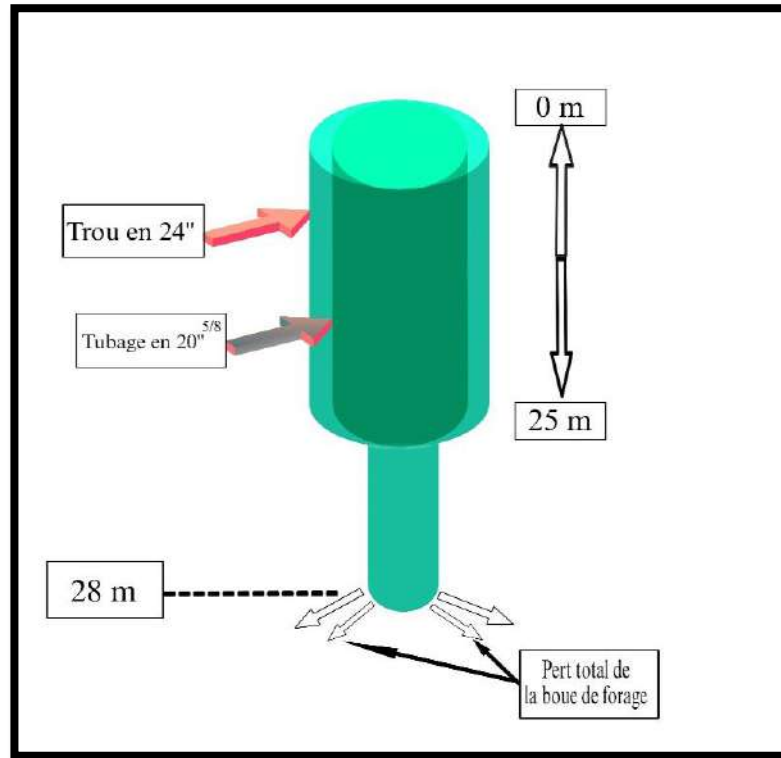


Figure N°07 : perte totale de boue de forage de Hassi Chetaa

Ce tableau montre le volume des matériaux utilisés afin d'arrêter la perte de liquide

Tableau N°05 : Les Matériaux injectés pour colmatage de la perte totale de la boue

Matériaux injectés	Quantité ou le volume
les boules de bentonite malaxée avec le foin	/
Argiles gonflantes	10 m ³
laitier du ciment malaxé avec la bentonite	11 m ³ (190 sacs de bentonite et 55 sacs de ciment)

Après colmater la perte totale de la boue, le forage a continué à une profondeur de 120 m.

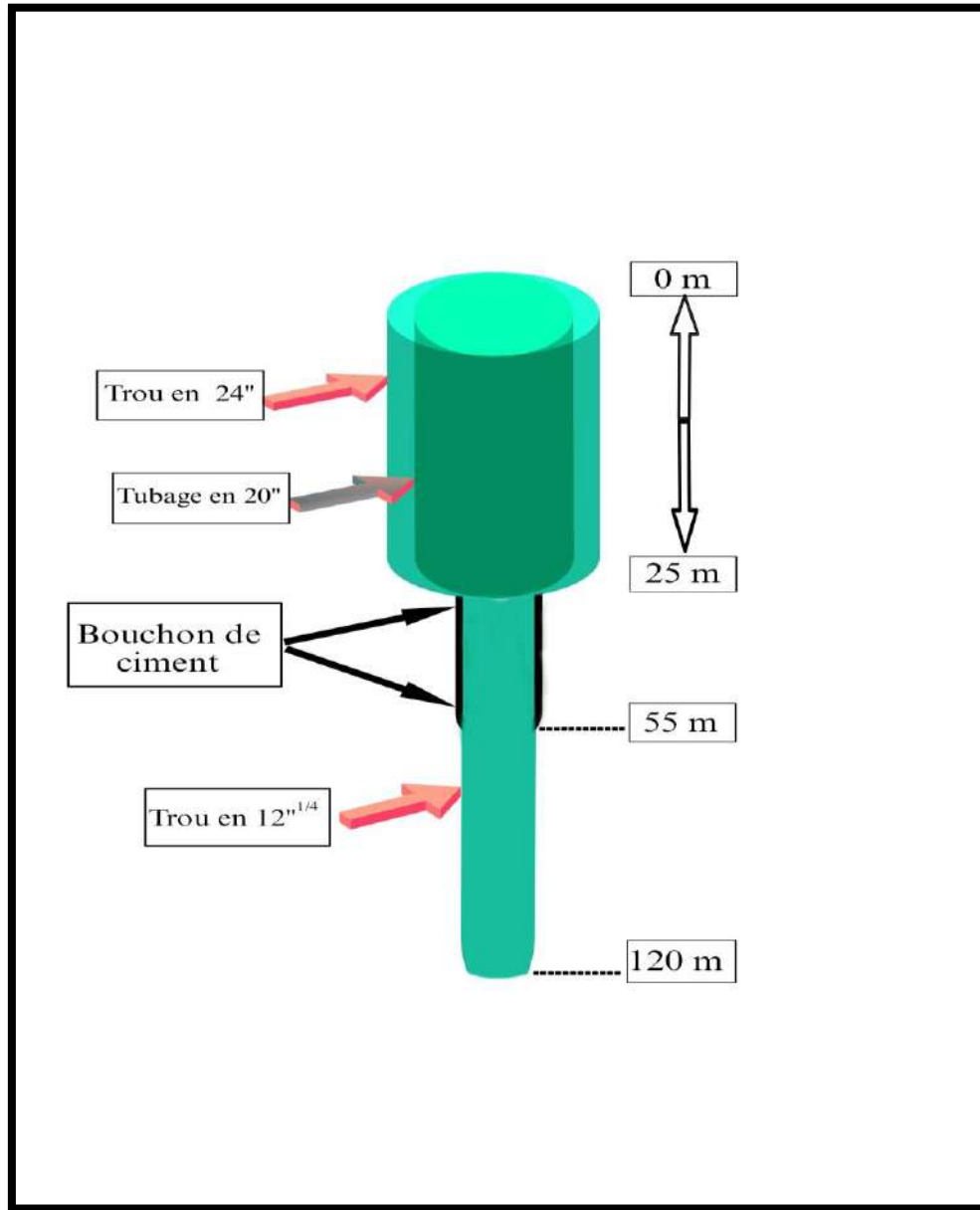


Figure N°08 : 1^{ère} opération de reconnaissance en Ø 12"^{1/4}

5-3 La phase de la colonne de la production API Ø 13^{3/8}

La longueur de la colonne de la production a subi une modification, et ce, suite à l'analyse des cuttings comparé aux enregistrements diagaphiques, ainsi, la nappe des calcaires (Sénonien Carbonaté) débute à partir de 125 mètres, pour cela, une modification a subi le programme du tubage API, ou l'élargissement en Ø 17"^{1/2} est 95,25 m au lieu de 120 m, la longueur du tubage Ø 13"^{3/8} est 120,5m au lieu de 130m.

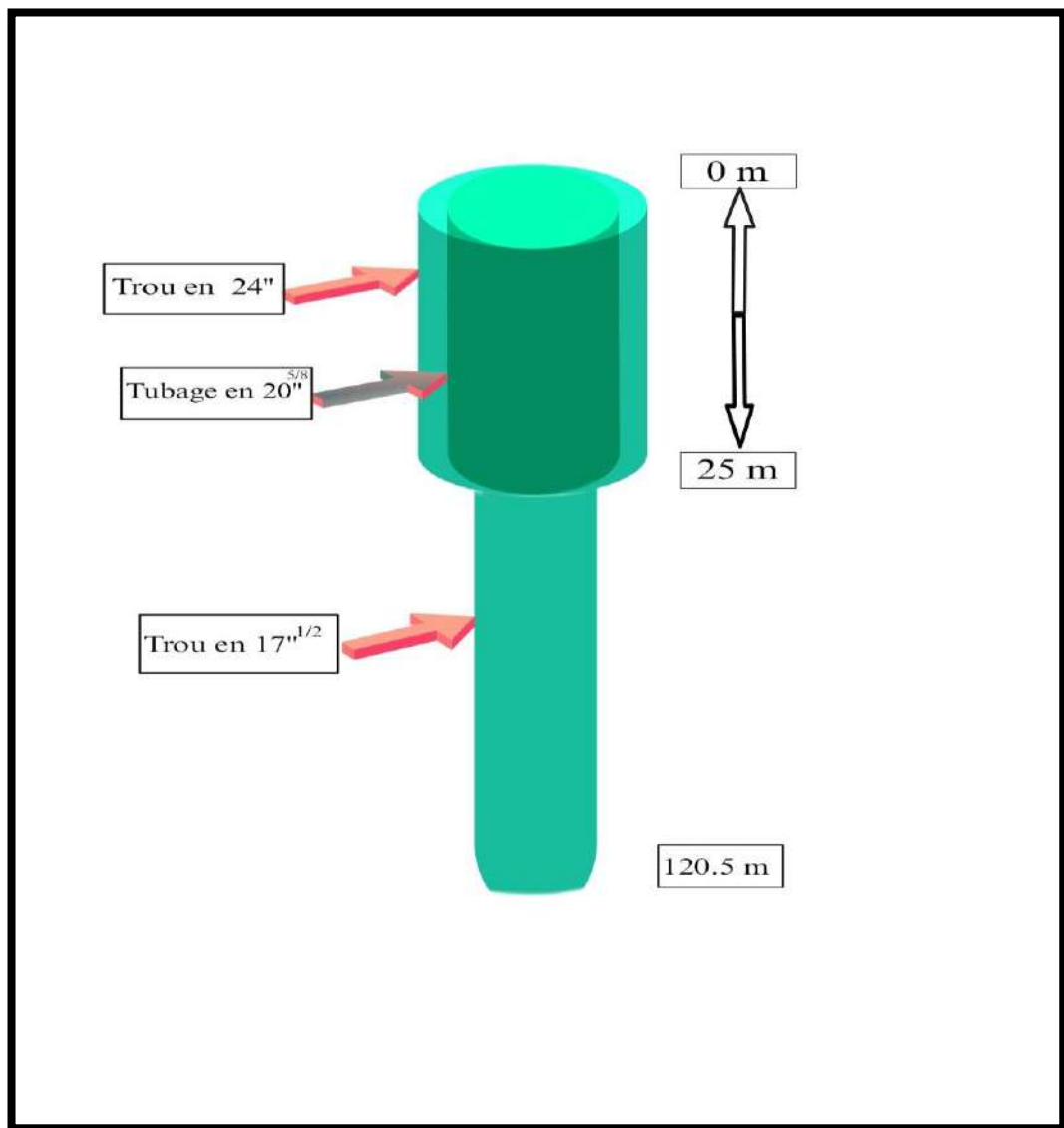


Figure N°09 : La phase de la colonne de la production API Ø 13^{3/8}

5-4 Pose et cimentation de la colonne de la production API Ø 13^{3/8} :

- Elargissement et alésage du trou en Ø17^{1/2} du 24,75 à 120 mètres.
 - Pose d'une colonne de production Ø 13^{3/8} de +0,50m à 120m Type Api grade d'acier H40.-
 - Cimentation par pression de la colonne de tubage API Ø 13^{3/8} sur toute la hauteur (120m) - de l'espace annulaire Ø 17" x Ø 13^{3/8}.
 - Densité de laitier de ciment entre 1,7 à 1,8 le volume de laitier du ciment est 9m³ la quantité de ciment sec est 10,21 tonnes, équivalent à 205 sacs de 50kg type HTS.
- Attente prise de ciment pendant 48 heures.

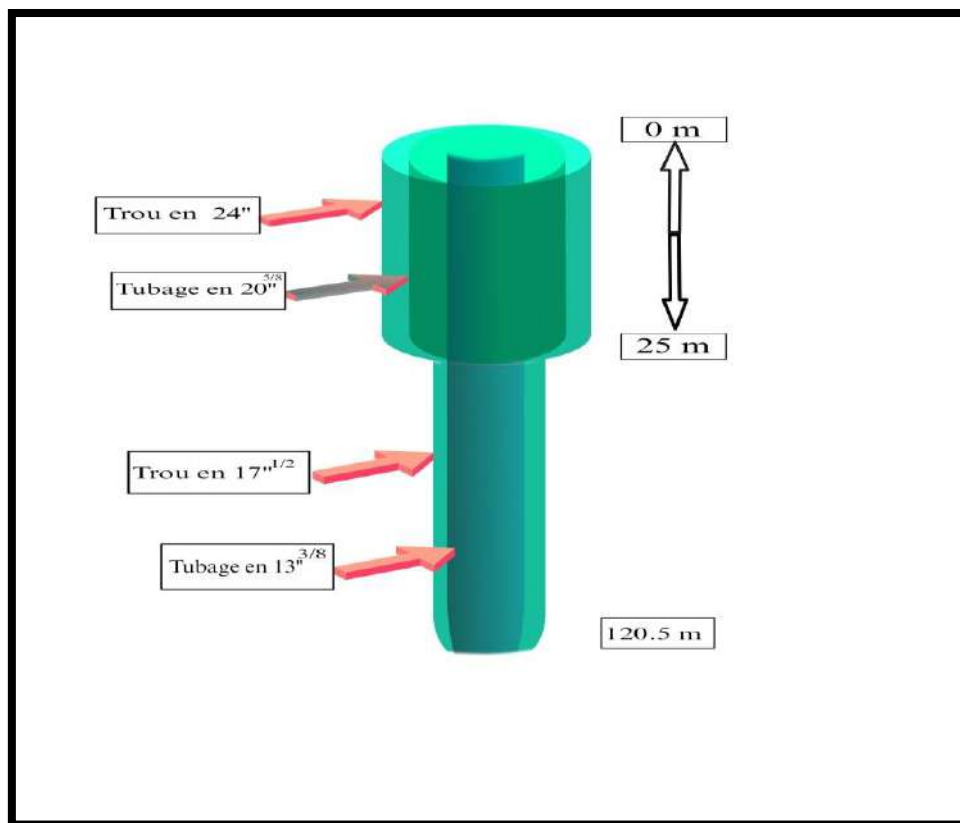


Figure N°10 : Pose et cimentation de la colonne de la production API Ø 13^{3/8}.

5-5 Le deuxième opération de la reconnaissance en Ø 12^{1/4} :

Après la première reconnaissance réalisée de 25m à 186m, dont l'analyse des cuttings et l'interprétation nous ont permis d'établir le programme du tubage API Ø 13^{3/8} (cité plus haut), suite au prolongement des formations calcaires poreux, qui caractérisent la nappe du Sénonien Carbonaté, il a été décidé de continuer la reconnaissance en Ø12^{1/4} jusqu'à le substratum imperméable, ce qui nous a poussé à dépasser les 200mètres (Profondeur du marché).

La reconnaissance en diamètre de Ø 12^{1/4} a été poursuivie jusqu'à la profondeur 231m, sans atteindre le mur de la nappe, ainsi, il a été décidé, d'effectuer un test de nappe pour estimer le débit et la qualité d'eau, afin d'arrêter la reconnaissance et équiper la zone aquifère, l'opération a été effectuée par une pompe immergée, pendant 06 heures, et ce, après une circulation à l'eau claire pour alléger la boue et nettoyer le forage, l'opération a été réalisée pendant (06) heures de marche, pour évaluer le débit et la qualité d'eau obtenue, la pompe utilisée est de 10 cv, les résultats comme suite :

Débit obtenu: 12 à 15 l/s-

Qualité d'eau : Douce

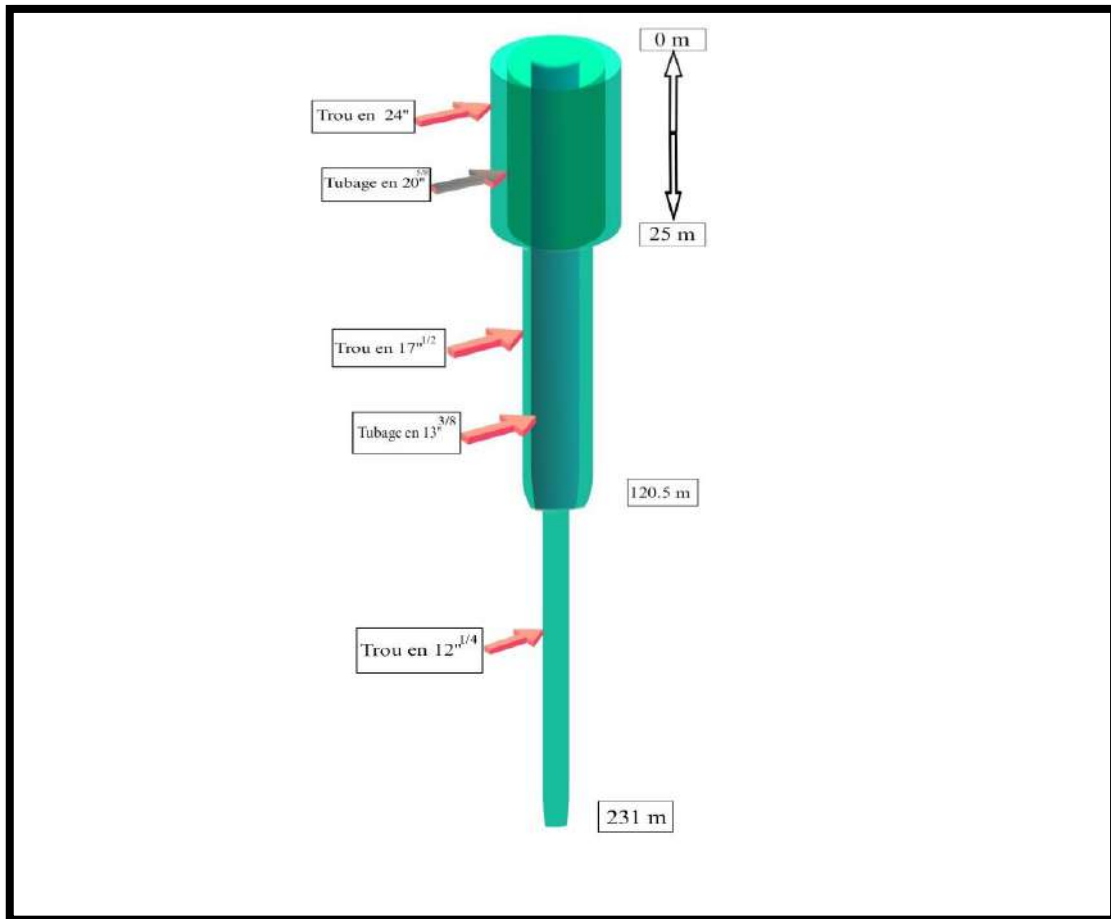


Figure N°11 : Le deuxième opération de la reconnaissance en Ø 12^{1/4}

6- Les cuttings :

Forage de reconnaissance en outil Ø12^{1/4} de 0 à 231 mètres.

Le profil Litho-stratigraphique a été mis en évidence suite à l'analyse des cuttings prélevés tous les mètres, lors du sondage.



Photo N°18 : les cuttings du forage de forage hassi chetaa

Tableau N°06 : Description lithologique des cuttings du forage. [2]

Profondeur (m)	Description Géologiques
Le Quaternaire	
01 – 10	Sables et grès
10 – 18	Sables marneux rougeâtres
18 – 20	Marnes
20 – 26	Grès friables avec présence de calcaire
Le Moi-pliocène	
26 – 40	Calcaires gréseux avec présence de silex blanc
40 – 47	Marnes jaunes avec présence de silex et calcaires
47 – 56	marnes rougeâtres avec présence de silex blanc et grès et argiles
56 – 73	Sables et gravier de couleur jaunâtres
73 – 79	Calcaires blanchâtres avec grès et gravier et peu de sables
79 – 84	Marnes blanchâtres
84 – 88	calcaires avec présence de sables
88 – 91	marnes et calcaires
91 – 94	silex blanc avec présence d'argiles et calcaires
94 – 99	marnes sableuse avec silex et calcaires
99 – 103	sables avec présence d'argiles et calcaires
103 – 107	sables siliceux
Le Sénonien Carbonaté	
107 – 110	Argiles marron avec présence de silex et peu de calcaires
110 – 126	Argiles rouge avec présence de calcaires et peu de silex blanc
126 – 131	Argiles rouge avec calcaires, silex et sables
131 – 142	Calcaires avec sables et argiles rouge et présence de silex
142 – 144	Sables fin siliceux avec calcaires blanchâtres
144 – 147	Calcaires blanchâtres avec peu de sables siliceux et trace de silex
147 – 163	Calcaires blanchâtres et sable siliceux avec peu d'argiles rouges

163 – 166	Sables avec grès et calcaires, argiles rouge et silex
166 – 169	Argiles sableuse avec grès et calcaires
169 – 178	Calcaires blanchâtres et sable avec peu d'argiles
178 – 181	Argiles sableuse avec calcaires
181 – 184	Marnes avec calcaires et peu de silex
184 – 187	Calcaires avec présence de silex
187 – 231	Calcaires blanchâtre avec présence de silex de couleur blanche avec présence peu de particules d'argile rouge

7- Les enregistrements diagraphiques :

Cette opération a été réalisée pour délimiter les horizons perméables des sables et des calcaires fissurés du Complexe Terminal (CT), ainsi que, les horizons imperméables ou argileux. La profondeur prospectée est de 0 à 186 mètres, les enregistrements diagraphiques réalisées sont :

- Gamma ray
- Résistivité la petite normale et la grande normale
- Polarisation spontanée et le SPR

La corrélation entre les résultats diagraphiques et les descriptions lithologiques des cuttings ont permet d'établir le programme d'équipement ci-dessous :

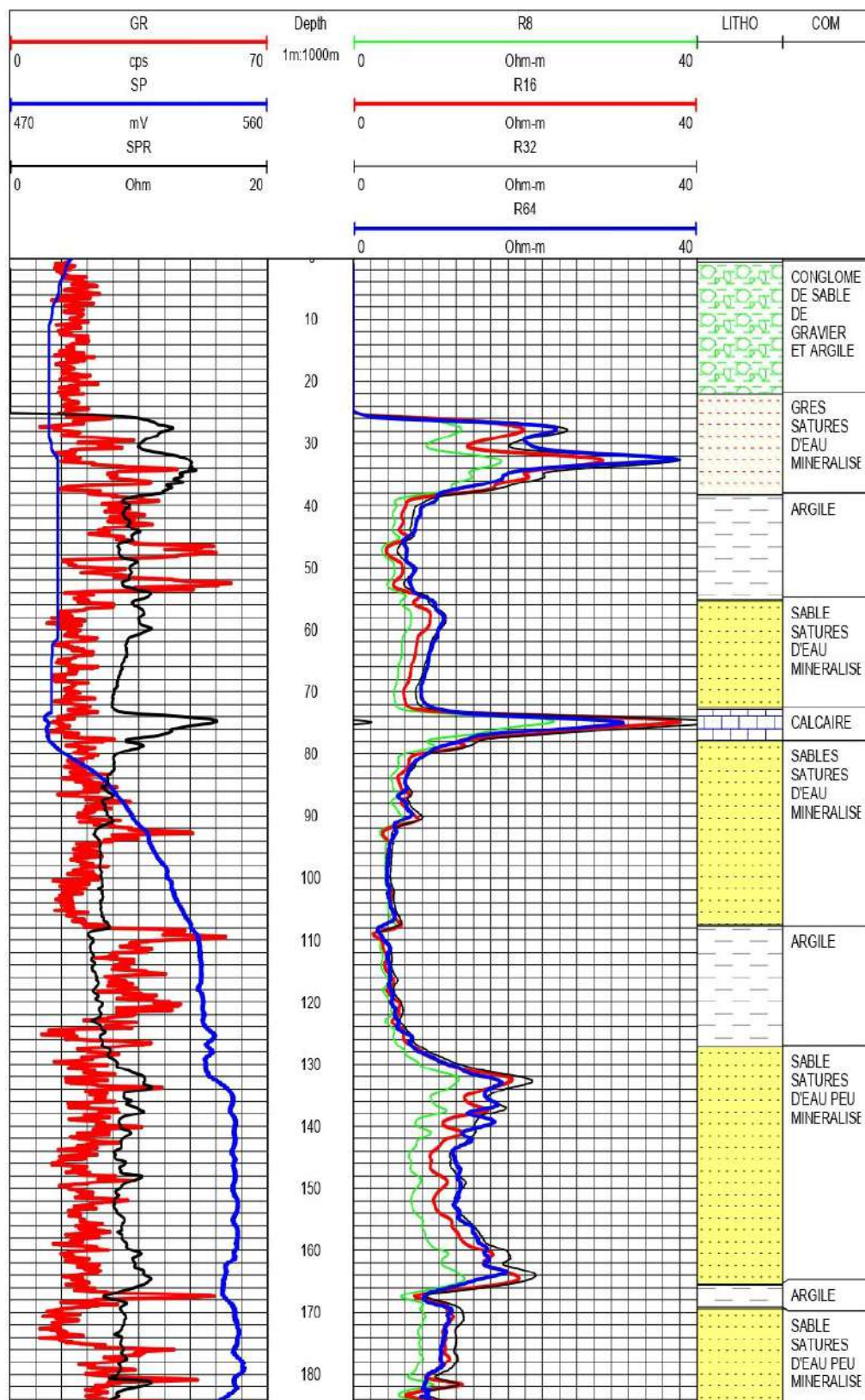


Figure N°12 : schéma de Diagraphie de forage Hassi Chetaa

Le but de ce processus est de connaître la caractéristique des couches géologiques de la Terre et d'obtenir un bon résultat et d'éviter les problèmes dans la colonne de captage

Ainsi, grâce à ce processus, nous avons déterminé quelles couches de l'argile causent des problèmes, et nous avons mis une colonne fermée pour couvrir ces couches.

Et nous mettons les tubes crépines dans le reste des couches pour obtenir la plus grande quantité d'eau.

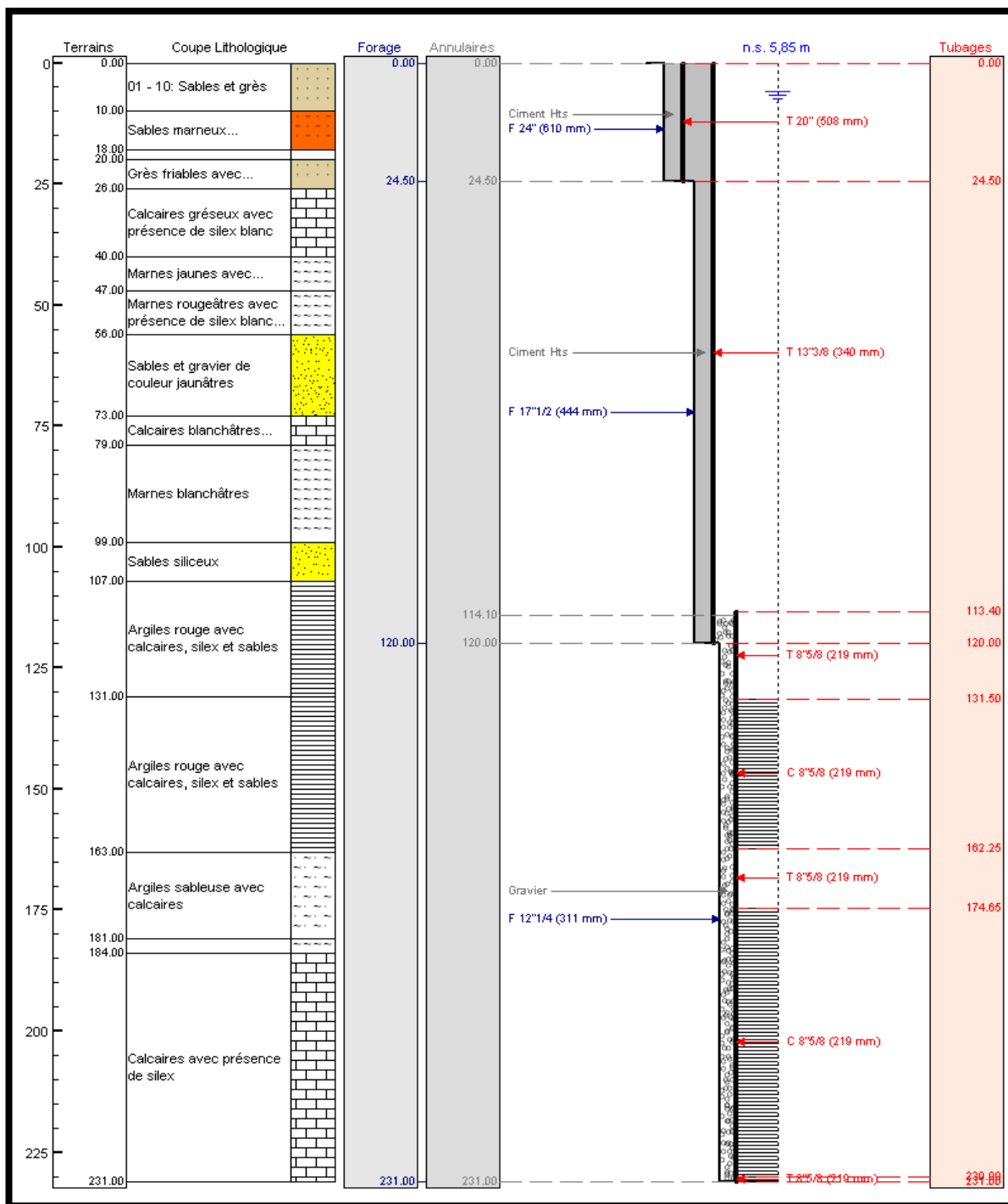
8- Fiche technique du forage d'eau HASSI ECHETTA :

Coupe technique du forage HASSI ECHETTA

Maitre D'ouvrage : DRE -N'GOUSSA, lieu-dit : HASSI ECHETTA, commune de N'GOUSSA

Suivi Tech ANRH-EPIC DRSE OUARGLA, Coordonnées géographiques X=5°16'16'' Y=31°58'36'' Z=173m

Date de réalisation : du 10/08/22 au 10/12/2023



Figurier N°13 : Coup technique de forage Hassi Chetaa

9- Pose de la colonne de captage Inox 8''^{5/8} :

Après le reforage et nettoyage du trou en outil Ø12''^{1/4} de 120 à 231m, il a été décidé de descendre une colonne du captage Inox de Ø 8''^{5/8} composé de :

Tableau N°07 : la Programme de colonne du captage de Ø 8''^{5/8} [2]

le Programme de colonne du captage de Ø 8''^{5/8}	
Colonne de captage en inox Ø 8''^{5/8}	Nombre et caractéristique des tubes
113,4m – 131,5m	Tubes plein (17,6m, soit 02 tubes plein + un tronçon de 5,2m)
131,5m – 162,25m	Tubes crépines (30,75m, soit 05 TC)
162,25m – 174,65m	Tubes plein (12,4m, soit 02 TP)
174,65m – 230m	Tubes crépines (55,35m, soit 09 TC)
230m – 231m	Sabot de décantation (01m, soit un tronçon de TP)
Tubes pleins : 31m (05 TP) Tubes crépines : 86,1m (14 TC) Longueur totale de la colonne : 117,1m (19 tubes)	
Horizon à gravillonné	Caractéristique
Annulaire 12'' ^{1/4} × 8'' ^{5/8} : de 114,1 à 231m	Graviers siliceux, lavés calibrés, de Ø entre 3 et 4 mm Volume totale du gravie réinjecter : 06m ³

Chapitre III :
Calcul de cimentation,
Développement et
Essai des pompages

1 - Définition de l'opération de cimentation :

L'opération de cimentation dans le forage consiste à injecter du ciment dans l'espace annulaire entre le tubage métallique et les parois du forage, ou entre les différentes sections de tubage, dans le but de renforcer et d'étanchéifier le forage. Cette opération est essentielle pour garantir l'intégrité structurelle du forage et pour prévenir les fuites de fluide entre les différentes zones géologiques traversées par le forage.

Voici les principales étapes de l'opération de cimentation dans un forage :

1 – 1 Préparation du laitier de ciment : Le ciment est mélangé avec de l'eau et éventuellement des additifs pour obtenir la bonne consistance et les propriétés nécessaires, telles que le temps de durcissement et la résistance à la pression.

1 – 2 Injection du laitier de ciment : Une fois le mélange de ciment prêt, il est injecté dans le forage à travers une colonne de tubage métallique à l'aide d'une unité de pompage spéciale. Le ciment est poussé vers le bas du forage par la pression exercée par le fluide de forage ou par une colonne de bouchons de ciment.

1 – 3 Placement du laitier de ciment : Le ciment est positionné stratégiquement pour remplir complètement l'espace annulaire entre le tubage et les parois du forage, ainsi que les zones de formation poreuses ou fracturées qui pourraient permettre des fuites de fluide.

1 – 4 Prise du laitier de ciment : Une fois injecté, le ciment commence à durcir et à se solidifier, formant ainsi une barrière étanche et solide autour du tubage et dans les zones ciblées.

1 – 5 Vérification de l'intégrité : Après le durcissement du ciment, des tests d'intégrité peuvent être effectués pour s'assurer que le scellement est complet et qu'il n'y a pas de fuites potentielles.

2 - Calcul de cimentation :

2-1 – Tube guide :

Tableau N°08 : Conversion d'unités

	(pouce)	(cm)	(m)
D_{tr} (Diamètre de trou)	24"	60.96	0.6096
D_{extub} (Diamètre extérieur de tubage)	20" ^{5/8}	52.38	0.5238
K₁ : 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. 1" = 2.54 cm			

2-1-1 Calcul du volume de laitier :

$$V_L = 0,785[(K_1 \times D_{tr}^2 - d_{extub}^2) \times H]$$

$$V_L = 0,785[(1.05 \times 0.6096^2 - 0.5238^2) \times 25]$$

$$V_L = 2.27 \text{ m}^3$$

2-1-2 Quantité de ciment pour 1 m³ de laitier :

$$q_c = \frac{\gamma_c \times \gamma_e}{\gamma_e + \omega \times \gamma_c}$$

q_c : Quantité de ciment

γ_e : Densité de gâchage d'eau 1

γ_c : Densité de ciment 3.15

ω : Rapport eau / ciment. $\omega = 46 \%$

Donc :

$$q_c = \frac{3.15 \times 1}{1 + 0.46 \times 3.15} = 1.28 \text{ T/m}^3$$

Poids totale de ciment :

$$Q_c = q_c \cdot V_L \cdot K_2$$

Q_c : Quantité totale de ciment

q_c : Quantité de ciment pour un 1 m^3 de laitier

V_L : Volume de laitier de ciment

K_2 : 1.05

$$Q_c = 1.28 \times 2.27 \times 1.05 = 3.05 \text{ T}$$

$$Q_C = 3.05 \times 1000 = 3050 \text{ Kg}$$

$$Q_c = 3050 / 50 = 61 \text{ sac}$$

Remarque :

1 sac de ciment = 50 kg

Nombre de sac utilise sur chantier **61 sac**

2-1-3 Volume d'eau :

$$V_e = \frac{\omega \cdot Q_C}{\gamma_C}$$

V_e = volume d'eau de gâchage

γ_C = densité de ciment.

Q_C = quantité total de ciment

ω = rapport eau/ciment.

$$V_e = \frac{0.46 \times 3.05}{3.15} = 0.44 \text{ t}$$

$$\begin{array}{l} 1\text{t} \text{ ----- } 1000 \text{ L} \\ 0.44\text{t} \text{ ----- } X \text{ L} \end{array}$$

$$X = \frac{1000 \times 0.44}{1} = 440 \text{ L} = 0.44 \text{ m}^3$$

Remarque :

Sur chantier le volume d'eau de gâchage 65 L d'eau pour 100 kg de ciment

$$V_{\text{eau}} = 440 \text{ L} = 0.44 \text{ m}^3$$

Tableau N°09 : Résultats de cimentation (tube guide)

Profondeur	$V_L \text{ (m}^3\text{)}$	$Q_c \text{ (sac)}$	$V_{\text{eau}} \text{ (m}^3\text{)}$	γ_c
0 m à 25 m	2.27	61	0.44	1.7

2-2 Colonne de production :

Tableau N°10 : Conversion d'unités

	(pouce)	(cm)	(m)
D_{tr1} (Diamètre de trou)	19" ^{5/8}	49.84	0.4984
D_{extub} (Diamètre extérieur de tubage)	13" ^{3/8}	33.97	0.3397
D_{tr2} (Diamètre de trou)	17" ^{1/2}	44.45	0.4445
K₁ : 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. h₀ = hauteur de sécurité qui est de : 10 à 20m. 1" = 2.54 cm			

2-2-1 Calcul du volume de laitier :

$$V_L = 0,785[(K_1 \times D_{\text{tr1}}^2 - d_{\text{extTub}}^2) \times H + (K_1 \times D_{\text{tr2}}^2 - d_{\text{extTub}}^2) \times H + d_{\text{intub}}^2 \times h_0]$$

$$V_L = 0,785[(1 \times (19"^{5/8})^2 - (13"^{3/8})^2) \times 25 + (1.05 \times (17"^{1/2})^2 - (13"^{3/8})^2) \times 95 + (12"^{3/8})^2 \times 10]$$

$$V_L = 0,785[(1 \times (0.4984)^2 - (0.3397)^2) \times 25 + (1.05 \times (0.4445)^2 - (0.3397)^2) \times 95 + (0.3143)^2 \times 10]$$

$$V_L = 0,785[3.3275 + 8.18 + 0.987]$$

$$V_L = 9.78 \text{ m}^3$$

2-2-2 Quantité de ciment :

$$q_c = \frac{\gamma_c \times \gamma_e}{\gamma_e + \omega \times \gamma_c}$$

q_c : Quantité de ciment

γ_e : Densité de gâchage d'eau 1

γ_c : Densité de ciment 3.15

ω : Rapport eau / ciment. $\omega = 46 \%$

Donc :

$$q_c = \frac{3.15 \times 1}{1 + 0.46 \times 3.15} = 1.28 \text{ T/m}^3$$

Poids totale de ciment :

$$Q_c = q_c \cdot V_L \cdot K_2$$

Q_c : Quantité totale de ciment

q_c : Quantité de ciment pour un 1 m³ de laitier

V_L : Volume de laitier de ciment

K_2 : 1.05

$$Q_c = 1.28 \times 9.78 \times 1.05 = 13.14 \text{ T}$$

$$Q_C = 13.14 \times 1000 = 13140 \text{ Kg}$$

$$Q_c = 13140 / 50 = 262 \text{ sac}$$

Remarque :

1 sac de ciment = 50 kg

Nombre de sac utilise sur chantier 262 sac

2-2-3 Volume d'eau :

$$V_e = \frac{\omega \cdot Q_c}{\gamma_c}$$

V_e = volume d'eau de gâchage

γ_c = densité de ciment.

Q_c = quantité total de ciment

ω = rapport eau/ciment.

$$V_e = \frac{0.46 \times 13.14}{3.15} = 1.91 \text{ t}$$

$$\begin{array}{l} 1 \text{ t} \text{ ----- } 1000 \text{ L} \\ 1.91 \text{ t} \text{ ----- } X \text{ L} \end{array}$$

$$X = \frac{1000 \times 0.44}{1} = 1910 \text{ L} = 1.91 \text{ m}^3$$

Remarque :

Sur chantier le volume d'eau de gâchage 65 L d'eau pour 100 kg de ciment

$$V_{\text{eau}} = 1910 \text{ L} = 1.91 \text{ m}^3$$

Tableau N°11 : Résultats de cimentation (colonne de production)

Profondeur	V _L (m ³)	Q _c (sac)	V _{eau} (m ³)	D _c
0 m à 120 m	1.91	262	6.53	1.7

2-3 Calcul du volume de massif filtrant :

$$V_{gv} = 0,785 [((12^{1/4})^2 - (8^{5/8})^2) \times H]$$

$$V_{gv} = 0,785 [((0.3111)^2 - (0.2190)^2) \times 111]$$

$$V_{gv} = 0,785 [(0.0967 - 0.0479) \times 111]$$

$$V_{gv} = 4.25 \text{ m}^3$$

$$V_{gr} = 0,785 [((13^{3/8})^2 - (8^{5/8})^2) \times H]$$

$$V_{gr} = 0,785 [((0.3397)^2 - (0.2190)^2) \times 6]$$

$$0,785 [(0.1153 - 0.0479) \times 6]$$

$$V_{gr} = 0.31 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume}_{\text{gravier totale}} = V_{gv} + V_{gr}$$

$$\text{Volume}_{\text{gravier totale}} = 4.25 + 0.31$$

$$\text{Volume}_{\text{gravier totale}} = 4.56 \text{ m}^3$$

Tableau N°12 : Résultat de massif filtrant

Profondeur (m)	Diamètre des grains de gravier (mm)	Volume totale (m ³)
114 à 231	3 à 4	4.56

3- Le développement d'un forage

3-1 Introduction :

Le développement d'un forage consiste, à améliorer la perméabilité et la formation aquifère située autour de la crépine et stabiliser cette formation. Il est une étape clé ce qui fait d'éliminer la plupart des déchets et les particules fines du terrain et du gravier filtre.

Une fois le forage est développé, un essai par palier sera effectué. Il a pour objectifs ;

- La détermination de débit exploitation et le rabattement à partir de la courbe caractéristique ;
- La détermination du débit spécifique, ainsi que le débit critique, le débit maximum admissible et leurs rabattements correspondants ;
- La détermination des pertes de charges linéaires (B), provoquées par le gravier additionnel et la formation avoisinants, et quadratique (C)

3-2 Développement :

Après la mise en place de la colonne de captage et du massif filtrant, il a été procédé au développement de l'ouvrage au compresseur jusqu'à l'obtention d'une eau claire dépourvue de Particules en suspension.

- compresseur de 17 bars de puissance.
- pression de service de 15 bars un durée de 36 heures.

3-3 Principe :

Développement de forage à « l'air lift ». On note que le développement a été continu par pompage (par pompage immergée) pendant 72 heures. A la fin de l'opération l'eau obtenue est claire, dépourvue de toutes particules en suspension.

4 - Essai de pompage :

4 - 1 Essai de blanc :

Un essai à blanc a été effectué pendant trois heures, le niveau statique obtenu est 30 mètres. Une pompe de 40cv, calée à la cote de 70 mètres, on remarque que le régime Permanent a été atteint rapidement lors de cet essai avec un niveau dynamique définitif de 42.38m, Ainsi les résultats de l'essai à blanc sont :

- Débit max : 28l/s, niveau dynamique : 42.38m, rabattement : 36.53m.
- Débit spécifique : 0.7l/s/m.
- Le niveau statique est stabilisé à 5.85 mètres.

4 - 2 Essais par paliers :

Tableau N°13 : Les données essai par trois paliers

a) Essai par palier				Lieu-dit: HASSI ECETTA									
Niveau pose de la pompe=70m						Réalisé le 04/2023				Enterprise SARL FORCE SUD			
NS/Tubage= 5.85m						T/sol=0.5m							
Pas du Temps= 1.5 h				Pas du Temps= 1.5 h				Pas du Temps= 1.5 h					
Palier N°1 Q= 07 l/s				Palier N°2 Q=14 l/s				Palier N°3 Q= 21l/s					
DESCENTE		REMONTÉE		DESCENTE		REMONTÉE		DESCENTE		REMONTÉE			
T (mn)	ND (m)	T (mn)	ND (m)	T (mn)	ND (m)	T (mn)	ND (m)	T (mn)	ND (m)	T (mn)	ND (m)		
1	7.10		33.31	1	8.90			1	10.20	1			
2	11.30		30.10	2	13.75			2	16.15	2			
3	12.20		28.22	3	19.77			3	21.70	3			
4	12.93		26.11	4	25.20			4	28.40	4			
5	13.35		24.11	5	27.9			5	30.28	5			
7	15.11		22.14	7	29.8			7	33.10	7			
9	17.46		18	9	31.70			9	36.42	9			
11	19.16		15.27	11	33.77			11	36.70	11			
13	21.23		13.40	13	34.20			13	39.1	13			
15	23.40		11.60	15	34.90			15	40.70	15			
20	27		9	20	36.20			20	41.15	20			
25	29.91		7.35	25	36.48			25	41.33	25			
30	32.12		7	30	36.58			30	41.94	30			
40	32.55		6.40	40	36.80			40	42	40			
50	32.78		6	50	36.92			50	42	50			
60	32.92		6	60	37.10			60	42	60			
75	33.20			75	37.35			75	42	75			
90	33.31			90	37.80			90	42	90			
120				120				120		120			
150				150				150		150			
180				180				180		180			
210				210				210		210			
240				240				240		240			

Temps réel = 1.5h							
Palier N° Constant Q max = 28 l/s							
DESCENTE					REMONTÉE		
T (mn)	ND (m)	Débit	T(m)	ND(m)	Débit	Temps (mn)	ND (m)
0	5.85		1560			0	42.38
1	13		1680			1	40.10
2	19.10		1800			2	38.30
3	26.31		1920			3	33.11
4	29.70		2040			4	30
5	32.80		2160			5	27.25
7	36.20		2280			7	24.70
9	38.42		2400			9	20.10
11	40.20		2520			11	17.26
13	40.65		2640			13	15.18
15	40.85		2760			15	12.31
20	41.14		2880			20	8.9
25	41.36					25	6.85
30	41.66					30	6.60
40	41.98					40	6.10
50	42.10					50	5.9
60	42.26					60	
75	42.37					75	
90	42.38					90	
120						120	
150						150	
180						180	
210						210	
240						240	
300						300	
360						360	
420						420	
480						480	
540						540	
600						600	
660						660	
720						720	
780						780	
840						840	
900						900	
960						960	
1020						1020	
1080						1080	
1140						1140	
1200						1200	
1260						1260	
1320						1320	
1380						1380	
1440						1440	

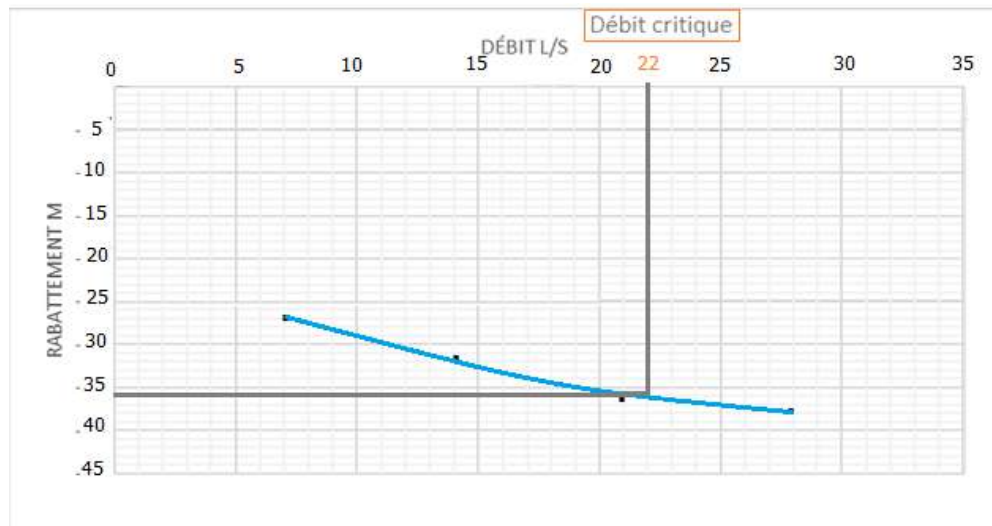
Les résultats des essais par palier sont exposés dans ce qui suit :

Tableau N°14 : Résultat des essais par paliers (courtes durées)

paliers	Durée (min)	Débit (l/s)	N.D(m)	Rabatement s(m)
1 ^{er}	90	7	33.1	27.25
2 ^{ème}	90	14	37.80	31.95
3 ^{ème}	90	21	42.00	36.15

Après terminer l'opération de l'essai de pompage de trois paliers, On a dessiné une courbe pour déterminer le débit critique.

Cette courbe représenté le rabattement en fonction de débit



Figuiier N°14 : Courbe caractéristique de l'essai de débits par paliers.

L'interprétation des essais par palier se fait graphiquement, en traçant la courbe représentant le rabattement à la fin de chaque palier en fonction du débit.

La courbe caractéristique dont nous avons déduit le débit critique (22 L/s), le débit d'exploitation (20 L/s) et débit max = 28 l/s, Rab critique = 36 m

Conclusions et recommandations :

D'après les essais de pompage, on peut conclure ce qui suit :

- Le débit maximum est 28 l/s.
- Le rabattement maximum est 36.53 mètres (ND=42.38Metres).
- Le débit d'exploitation recommande est 20 l/s.
- Le rabattement est 36.15 mètres (ND=42.00).
- La cote de calage de la pompe immergée sera entre 60 à 65 mètres.

Conclusion général

El-Bour, situé dans la commune d'ngoussa, à 23 kilomètres au nord d'Ouargla

Dans notre travail, nous avons suivi et étudié le forage d'un forages d'eau potable avec la technologie de forage par rotation, en raison de la rareté de l'eau dans la région.

On peut résumer les travaux comme suite :

- Démarrage des travaux du forage de Pavant forages en outil Ø 24" de 0 m à 25m.
- Le forage du forages s'est poursuivi, en commençant de 25 à 120 m avec un outil de 12"^{1/4}, après l'alésage du forages d'un outil de Ø 17"^{1/2} a été réalisée le long du trou.
- Décence de la colonne de production en API 13"^{3/8} du 0 à 120 m.
- Cimentation du tubage Ø 13"^{3/8} sur 0m à 120 m
- La 2^{ieme} phase de la reconnaissance en Ø 12"^{1/4} de 120 à 231m.
- Les enregistrements diagraphiques.

Décence de la colonne de captage les crépines type Johnson et tubes pleins en diamètre 8"^{5/8} de 120 m à 231 m. (Tubes pleins : 31m (05 TP), Tubes crépines 86,1m (14 TC)
Longueur totale de la colonne : 117,1m (19 tubes)

- Mise en place massif filtrant sur de 114,1 à 231m.
- Développement et des essais de pompage par palier.
- Fermer le forages avec une plaque de fer.

Références

Textes

- [1] [https://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/athamena_ali/files/chapitre ii techniques de forage compressed.pdf?fbclid=IwAR2KLKx53qm3Al6HvLcrE2yvHdliCsXhzUfL1VnxVWq74lwKW8UXnDN4pmw](https://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/athamena_ali/files/chapitre_ii_techniques_de_forage_compressed.pdf?fbclid=IwAR2KLKx53qm3Al6HvLcrE2yvHdliCsXhzUfL1VnxVWq74lwKW8UXnDN4pmw)
- [2] **Seddiki Brahim - Anichel Imad Eddine** : Etude de conception d'un forage d'albien (cas de la nouvelle ville Ain Beida Ouargla) 2019-2020.
- [3] **Redouane Bendali Hassine** : Suivi Technique de la Réalisation d'un forage Hydraulique au sénonien – Carbonaté avec L'établissement de la carte d'égale transmissivité (Zone Hassi Messaoud). 2006/2007.
- [4] http://dspace.univ-tiaret.dz/bitstream/123456789/11987/4/3.chapitre%20I%20Description%20g%C3%A9n%C3%A9rale%20de%20forage.pdf?fbclid=IwAR2JqpqAjslqfjbwn62Ck22B6mrgnoTE7H9Z_Qlmg_p3zt-b8eQWlybFF8Y
- [5] **Bentarfa Yousef** : Réalisation et suivi de forage garret echouf commenue Rouissat Ouargla 2022/2003

Figures et Photos

- [1] https://www.researchgate.net/figure/Schema-simplifie-dune-installation-de-forage-rotary_fig15_333172998
- [2] https://www.researchgate.net/figure/Onshore-rotary-drilling-rig-Taken-from-Weebly_fig2_338845684
- [3] <http://dspace.univ-tiaret.dz/bitstream/123456789/11980/4/CHAPITRE%20I.pdf>
- [4] **BOUCHELIG AMOR** : ETUDE SUR LA MAINTENANCE DES SYSTEMES MECANIQUE D'UNE MACHINE DE FORAGE 2016 /2017.
- [5] <https://www.forage-matfor.fr/produits/masse-tiges>

Tableaux

- [1] **DRE** : Direction des ressources en eau
- [2] **ANRH** : Agence national des ressources hydraulique

