

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

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



**Faculté des Sciences Appliquées
Département de génie civil et d'hydraulique
Mémoire fin d'études**

**MASTER PROFESSIONNEL
Domaine : Sciences et Technologies.
Filière : Hydraulique
Spécialité : Forage d'eau**

Présenté par :

**DIAB Ali
GHERBI Abdellah**

Thème :

**Réalisation et suivi de forage d'AEP à HAI 08 MAI 1945
AFRANE N'GOUSSA**

Soutenu publiquement le : 03 /06 /2024

Devant le jury composé de :

Dr. BOUZIANE Lamia	MCB (UKM Ouargla)	Président
Dr. ELFERGOUGUI Mariam	MCA (UKM Ouargla)	Examineur
Dr. MANSOURI Zina	MCB (UKM Ouargla)	Promoteur

Année Universitaire : 2023/2024

Dédicace

À MES CHERS PARENTS Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consentie pour mon instruction et mon bien être. Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez Depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez. Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

A MES CHERS ET ADORABLE FRERES ET SOEUR S En témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse et reconnaissance, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protégé et vous garde. A MA GRAND MERE Qui m'a accompagné par ses prières, sa douceur, puisse Dieu lui prêter longue vie et bcp de santé et de bonheur dans les deux vies. À MES AMIS DE TOUJOURS

En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.

Remercîments

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma gratitude et mes sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce mémoire.

Je remercie, en premier lieu ALLAH qui m'a donné la bonne santé, la volonté et la patience tout au long de mes études.

Je tiens à remercier avec gratitude mon encadreur Mansouri z, de m'avoir guidé et suivi tout au long de ce travail, de m'avoir conseillé, encouragé et aussi, prodigué de précieux conseils. Ses critiques fructueuses ont été, pour moi, une source d'enrichissement. Son aide et sa disponibilité m'on permit d'avancer dans le travail et de finaliser cette étude.

Nous adressons notre remerciement à nos enseignants de département de l'hydraulique pour leurs aides et orientations durant notre cursus universitaire
Tout d'abord, je tiens à remercier toute l'équipe Département de Gène Civil et Hydraulique UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA Faculté des sciences appliquées et les intervenants professionnels responsables de l'intervention, pour leur partie théorique et pratique. Je remercie BEKKOUCHE ABOUBAKEUR et l'équipe d'ANRH pour l'aide et les conseils abondants concernant les informations mentionnées dans ce mémorandum, qu'elle m'a fournis au cours des différents processus de suivi.

Je tiens à remercier tout particulièrement et à lui exprimer ma gratitude.

Résumé :

Dans les opérations de forage d'eau, plusieurs méthodes peuvent être utilisées, parmi lesquelles le forage rotatif. installés dans le district du 8 mai 1945, le forage a été réalisé à l'aide de la technologie rotative.

Le forage peut être réalisé selon plusieurs techniques HAI 08 MAI 1945 Le forage a été réalisé selon la technique rotative. Le forage rotatif nécessite des moyens et des équipements, et la procédure de forage hydraulique par plusieurs étapes, en fonction de la profondeur et de la pression du niveau de la nappe phréatique. Pour un forage profond (200 m), le procédé consiste à installer le tube guide avec du ciment, puis à installer la colonne de tubage avec du ciment, puis à installer la colonne de production avec du ciment, et enfin à installer la colonne collectrice constituée d'un filtre de type Johnson le tube filtrant à la base et un tube de rechange en haut. Le processus de forage se terminera par l'assèchement, l'aménagement de puits pour éliminer les particules fines et la mise en œuvre d'essais de pompage pour déterminer le débit opérationnel. Ce travail nous a permis de bien concevoir les phases de mise en œuvre des forages hydrauliques.

Mots clés : Le forage-200 m – tubage- colonne de production- filtre- d'essais de pompage

ملخص:

في عمليات الحفر المائي يمكن إستعمال عدة طرق ومن بين هذه الطرق الحفر الدوار ، بضبط في حي 08 مايو 1945 تم إجراء الحفر باستخدام التقنية الدوارة. ويتطلب الحفر الدوار وسائل ومعدات، ويتم إجراء الحفر الهيدروليكي على عدة مراحل، حسب عمق وضغط منسوب المياه الجوفية. بالنسبة للحفر العميق (200 م)، تتضمن العملية تركيب أنبوب التوجيه بالأسمنت، ثم تثبيت سلسلة التغليف بالأسمنت، ثم تثبيت سلسلة الإنتاج بالأسمنت، وأخيراً تركيب سلسلة المجمع المكونة من فلتر من نوع جونسون أنبوب الفلتر عند القاعدة وأنبوب احتياطي في الأعلى. وستنتهي عملية الحفر بنزح المياه وتطوير الآبار للتخلص من الجزيئات الدقيقة وتنفيذ اختبارات الضخ لتحديد التدفق التشغيلي. سمح لنا هذا العمل بتصميم مراحل التنفيذ بشكل صحيح. أعمال الحفر الهيدروليكي.

الكلمات الدالة: حفر -200 م -الغلاف-عمود الإنتاج -الفلتر-اختبارات الضخ.

Summary:

Drilling can be carried out using several techniques HAI MAY 08, 1945 Drilling was carried out using the rotary technique. Rotary drilling requires means and equipment, and the hydraulic drilling procedure in several stages, depending on the depth and pressure of the groundwater level. For deep drilling (200 m), the process involves installing the guide tube with cement, then installing the casing string with cement, then installing the production string with cement, and finally installing the collector string consisting of a Johnson type filter the filter tube at the base and a spare tube at the top. The drilling process will end with dewatering, the development of wells to eliminate fine particles and the implementation of

pumping tests to determine the operational flow. This work allowed us to properly design the implementation phases. Work of hydraulic drilling.

Key words: Drilling-200 m – casing- production column- filter- pumping tests

Table de matières :

Résumé

Table de matières

Liste de Tableau

Liste de Figure

INTRODUCTION GÉNÉRALE

CHAPITRE-I Généralité Sur Les Techniques De Forage Hydraulique

I.1	Introduction	14
I.2	Les différents types de forage	14
I.3	Forage des puits	14
I.3.1	Forage primitif	15
I.3.2	Forage manuel	15
I.3.3	Innovations mécaniques	15
I.3.4	Forage pétrolier	15
I.3.5	Forage offshore et en eaux profondes	15
I.3.6	Forage géothermique et scientifique	15
I.4	Techniques de forage et les équipements	16
I.4.1	Introduction	16
I.4.2	Forage rotary	16
I.4.3	Forage directionnel	21
I.4.4	Forage de secours ou de déviation	22
I.4.5	Forage à circulation directe (RC)	22
I.4.6	Forage au marteau fond de trou (DTH)	23
I.4.7	Forage au jet d'eau (hydroforage)	23
I.4.8	Forage à percussion	23

I.5	fluide de forage	24
I.5.1	Définition	24
I.5.2	Principe les fonctions des boues de forage	24
I.5.3	Propriétés d'un fluide de forage	25
I.5.4	Classification des fluides de forage	25
I.6	Les rôles de la crépine	26
I.7	Cimentation	27
I.7.1	Définition	27
I.7.2	Le rôle de cimentation	27
I.8	Processus de pompage	28
I.8.1	Introduction	28
I.8.2	Test de pompage en débit constant	28
I.8.3	Test de pompage en débit variable	28
I.8.4	Test de rétablissement ou de récupération	29
I.8.5	Test de double pompage	29
I.8.6	Test d'injection d'eau	29
I.8.7	Test d'essai de transmissivité	29
I.9	Conclusion	30
CHAPITRE-II Réalisation d'un forage Hai 08 Mai 1945		
II.1	Introduction	32
II.2	Caractéristique de la zone d'étude	32
II.2.1	Introduction et objectif du projet	32
II.2.2	Situation géographique et localisation	33
II.3	Déroulement des travaux de réalisation du forage et calcul de cément	33

II.3.1	Installation du chantier de forage	33
II.3.2	Les équipements de surface	34
II.3.3	Phase I : Construction de l'avant puit	36
II.3.4	Phase II : Colonne de production	39
II.3.5	Phase III : Colonne de captage	47
II.3.6	Fiche Technique du forage Hai 45 Mai 1945 Frane Siège N'Goussa	50
II.4	Conclusion	52
CHAPITRE-III Développement et Les essais par pompage		
III.1	Introduction	54
III.2	Développement du forage Hai 45 mai 1645 Frane siège N'Gouça et Principe	55
III.3	Les essais par pompage	55
III.3.1	Essai à blanc	56
III.3.2	Essai de pompage par paliers	56
III.3.3	Essai de pompage de longue durée	57
III.3.4	La courbe caractéristique.....	60
III.4	Évaluations des pertes de charges linéaires et quadratiques C et B.....	61
III.5	Conclusion	62

Conclusion générale

Références bibliographique

**CHAPITRE-I Généralité Sur Les Techniques De Forage
Hydraulique**

Tableau I.1 : Les équipements de forage rotary 18
Tableau I.2 : Avantages et inconvénients de forage rotary 20

CHAPITRE-II:Réalisation d'un forage Hai 08 Mai 1945

**Tableau II.1:Les coordonnées géographiques du forage.....Erreur !
Signet non défini.**

**Tableau II.2: Diamètre extérieur de tubage& Diamètre de
trou..... 38**

Tableau II.3 : Calcul de cimentation de tube guide 39

Tableau II.3 :Résultats de cimentation (tube guide) 39

Tableau II.4 : Diamètre la colonne de production..... 45

Tableau II.5 : Calcul de cimentation la colonne de production...46

**Tableau II.6 : Résultats de cimentation la colonne de
production.....47**

Tableau II.7: Colonne de captage..... 47

Tableau II.8 :Calcul Diamètre et Volume Totale de Gravier..... 49

Tableau II.9 : Diamètre et Volume totale de gravier 50

Tableau II.10 : Fiche Technique..... 50

Tableau II.11 : Travaux de forage 51

CHAPITRE-III:Développement et Les essais par pompage

Tableau III.1 : Essai de pompage de longue durée..... 59

Tableau III.2 :Les résultats des essais par palier	59
Tableau III.2: courbe caracteristique	60

CHAPITRE -I : Généralité Sur Les Techniques De Forage

Hydraulique 13

Figure I.1 : Les Différents Types De Forages	14
Figure I.2 : Forage rotary	17
Figure I.3 : Dispositif schématique d'un atelier de forage rotary	18
Figure I.4 :Le Fonctionnement D'un Forage	21
Figure I.5 : forage battag.....	22
Figure I.6 :Dispositif De Cimentation.....	27
Figure I.7 : Le rôle de cimentation.....	28

CHAPITRE-II:Réalisation d'un forage Hai 08 Mai 1945

Figure II.1 : Géographique De Forage Hai 08 Mai 1945 A Frane N'goussa la nappe du Sénonien-Carbonaté.....	32
Figure II.2 : localisation de forage D'AEP HAI 08 MAI 1945 A FRANE NGOUSSA.....	33
Figure II.3 : Le Mat	35
Figure II.4 : Les Tiges Et Les Mass Tiges	35
Figure II.5 :Mise en place de tube guide Ø : 205/8'.....	37
Figure II.6 : Cimentation De Tube Guide	38
Figure II.7 : Le profil stratigraphique.....	41
Figure II.8 : la machine diagraphiques.....	42
Figure II.8 : Diagraphie.....	43
Figure II.9 : Mise en place du Tube Plein casing API Ø : 13"3/8	44

Figure II.10 : tubage en acier 133/8'	44
Figure II.11 : Cimentation de la colonne de production.....	45
Figure II.12 : Tube pleins et Crépines	47
Figure II.13 : Mise En Place du Tube Plein et Crepines.....	48

CHAPITER-III : Développement et Les essais par pompage

Figure III.1 : Complexe aquifère/ouvrage de captage. Équipement technique des puits et sondages. Signification des pertes de charge.

56

Figure III.2 : courbe caractéristique..... 60

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le forage est un ensemble d'opérations qui permet de creuser un trou de diamètre centimétrique à décimétrique, généralement vertical et utilisé à des fins scientifiques ou économiques. Le forage d'eau est un ouvrage réalisé par des professionnels pour la mise en valeur des eaux profondes. Les puits traditionnels ne permettent pas d'assurer une alimentation durable des populations dans un contexte de changement climatique, caractérisé par un déficit pluviométrique et une diminution corrélative de la recharge des nappes superficielles. Le forage qui permet de capter les eaux profondes inaccessibles à partir des moyens traditionnels, apparaît comme une alternative, donc une stratégie d'adaptation au contexte actuel de changement climatique.

Une politique de mise en valeur des eaux de profondeur à travers la construction de forages doit figurer en bonne place dans les stratégies d'adaptation au changement climatique, s'effectue au moyen de machines semi-automatiques ou foreuses qui permettent aux nappes profondes.

Le forage est équipé d'un tube plein pour stabiliser les parois et d'une crépine en face des venues d'eau pour assurer le captage de l'aquifère.

Pour pouvoir arriver à ces grandes profondeurs, le puits est réalisé en étages, forme une structure télescopique renversée, lie le réservoir à la surface à l'aide des conduites bien cimentées

Dans ce document qui constitue mon mémoire de fin d'études, on met en étude

L'opération du forage d'AEP à Hai 08 Mai 1945

Pour cela on suggère le plan de travail suivant

Chapitre I : Généralité Sur Les Techniques De Forage Hydraulique

Chapitre II: Réalisation d'un forage Hai 08 Mai 1945

Chapitre III: Développement et Les essais par pompage

Le développement technologique et la nécessité d'exploration et d'exploitation des richesses naturelles des sous-sol sont à l'origine du perfectionnement de ces techniques de forage.

CHAPITRE -I :Généralité Sur Les Techniques De Forage Hydraulique

I.1 Introduction :

L'histoire du forage des puits remonte à des millénaires.

Dès l'Antiquité, les civilisations ont cherché des moyens d'extraire l'eau des profondeurs de la terre pour satisfaire leurs besoins en irrigation, en consommation et même en rituels religieux.

I.2 Les différents types de forage :

Si les résultats obtenus lors de la campagne d'acquisition géophysique sont concluants, un forage est réalisé afin de confirmer la présence de pétrole dans le gisement et valider la mise en production d'un puits :

✓ Le forage vertical:

permet de forer le puits à l'aplomb vertical de la zone du gisement où le pétrole est susceptible d'être présent dans le sous-sol

✓ Le forage horizontal :

permet l'atteinte de plusieurs cibles dans le sous-sol depuis un même site et de maximiser la surface d'échange avec le réservoir, réduisant ainsi le nombre de forages nécessaires.

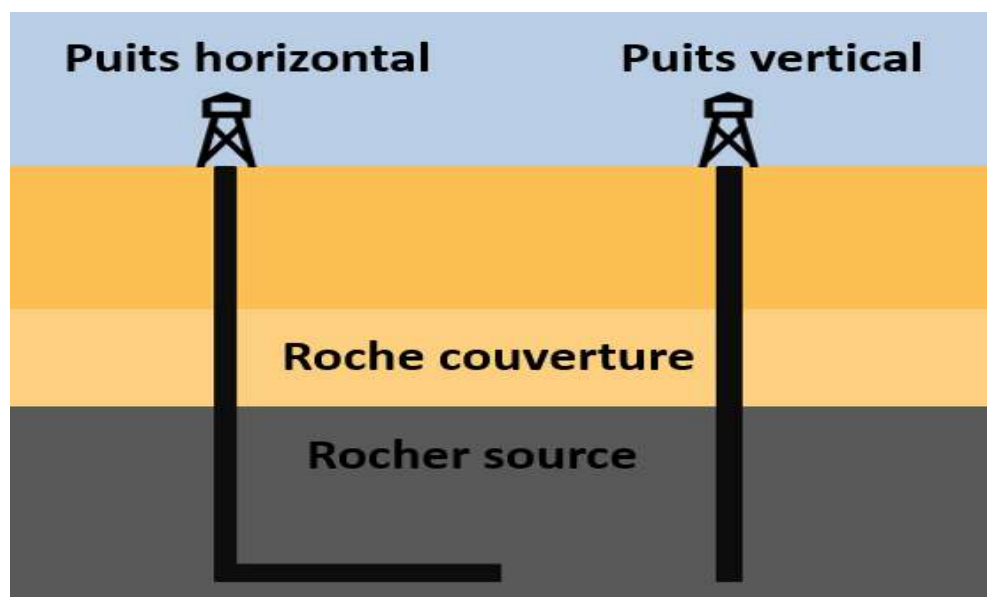


Figure I.1 : Les Différents Types De Forages

I.3 Forage des puits :

Voici un aperçu de l'évolution de cette pratique à travers les âges :

I.3.1 Forage primitif :

Les premières formes de forage consistaient en des méthodes rudimentaires, telles que creuser des trous avec des outils simples comme des pioches, des pelles, voire des os ou des bois taillés. Ces puits étaient souvent peu profonds et dépendaient des nappes phréatiques proches.

I.3.2 Forage manuel :

Avec le temps, les humains ont perfectionné les techniques de forage manuel en utilisant des forets de bois ou de métal. Les puits pouvaient être creusés à des profondeurs plus importantes, mais cela restait un travail laborieux et limité en profondeur.

I.3.3 Innovations mécaniques :

Au cours de la révolution industrielle, des avancées significatives ont été réalisées dans le domaine du forage. L'invention de la machine à vapeur a permis le développement de foreuses mécaniques, capables de creuser des puits plus profonds et plus rapidement. Ces machines étaient initialement alimentées par la vapeur, puis plus tard par l'électricité et les moteurs à combustion interne.

I.3.4 Forage pétrolier :

Le forage de puits pour l'extraction du pétrole et du gaz naturel a été un moteur majeur de l'innovation dans le domaine. Au début du 20^e siècle, des techniques telles que le forage rotatif ont été développées pour atteindre des réservoirs d'hydrocarbures situés à des kilomètres sous la surface de la terre. Ces avancées ont conduit à la création de l'industrie pétrolière moderne.

I.3.5 Forage offshore et en eaux profondes :

Avec l'épuisement des réserves terrestres et la demande croissante en énergie, l'industrie pétrolière s'est tournée vers le forage en mer. Les technologies de forage ont été adaptées pour travailler dans des environnements marins difficiles, y compris à des profondeurs d'eau extrêmes.

I.3.6 Forage géothermique et scientifique :

En dehors de l'exploitation des ressources naturelles, le forage est également utilisé à des fins scientifiques et environnementales. Les puits géothermiques sont creusés pour exploiter la chaleur de la terre à des fins de chauffage et de production d'électricité,

tandis que les puits scientifiques sont utilisés pour étudier la structure de la croûte terrestre et des phénomènes géologiques.

Aujourd'hui, le forage des puits est une industrie complexe et hautement spécialisée, utilisant des technologies de pointe telles que les foreuses rotatives, les outils de forage directionnel, les techniques de fracturation hydraulique, et bien plus encore. Il continue de jouer un rôle crucial dans la satisfaction des besoins mondiaux en énergie, en eau et dans de nombreux autres domaines.

I.4 Techniques de forage etles équipements :

I.4.1 Introduction :

Il existe plusieurs techniques de forage adaptées à différents types de terrains, de profondeurs et de besoins spécifiques. Pour chaque technique de forage, il existe une variété d'outils et de fournitures nécessaires pour mener à bien l'opération. Voici quelques-unes des techniques de forage les plus couramment utilisées :^[1]

I.4.2 Forage rotary :

Cette technique utilise une foreuse rotative qui tourne et descend progressivement dans le sol. Elle est largement utilisée dans l'exploration pétrolière et gazière ainsi que dans le forage de puits d'eau. Le forage rotatif peut être utilisé pour des puits verticaux ou horizontaux.

Appareil de forage rotary. Pendant que l'on creuse le trou, on y injecte en permanence de la boue de forage soigneusement élaborée. Il s'agit souvent d'un mélange d'eau (ou de l'huile) et de particules argileuses solides, densifié, homogénéisé et stabilisé grâce à différents produits chimiques. Sa composition peut varier en fonction des roches traversées et de la pression dans les réservoirs traversés :

- ✓ Foreuse rotative
- ✓ Tiges de forage
- ✓ Tricones (mèches de forage rotatives)
- ✓ BOP (blowoutpreventer) pour la sécurité lors du forage
- ✓ Boue de forage (fluides de forage, additifs et équipement associé)
- ✓ Découpeurs de roche et de coupeurs de tricône

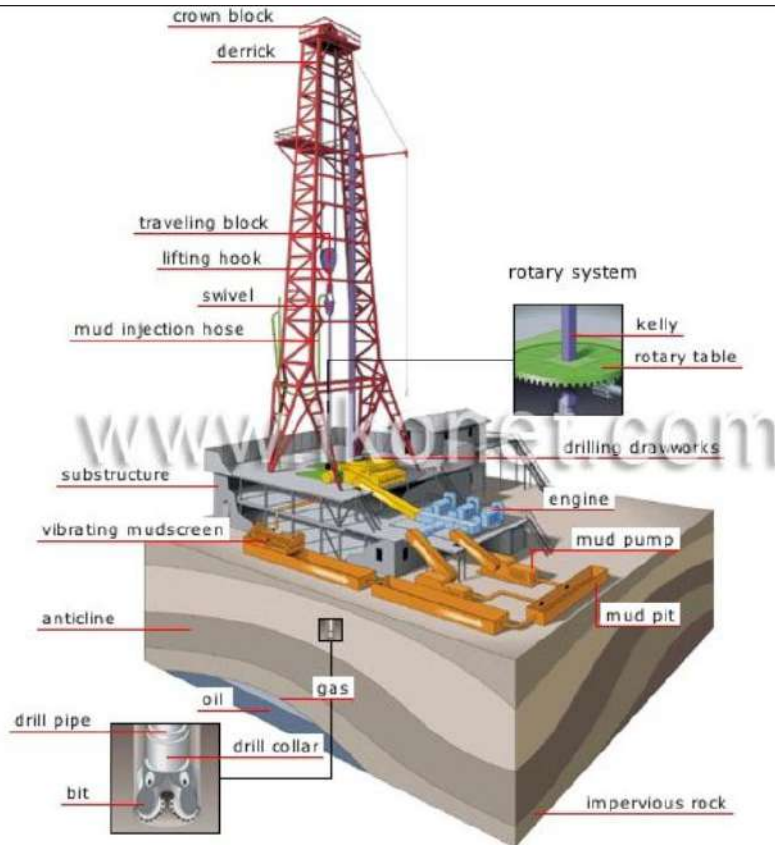


Figure I.2 :Forage rotary

Les équipements de forage rotary :

Fonction levage	Fonction levage	Fonction pompage
<ul style="list-style-type: none"> - Le mât de forage - Le system mouflage - Le moufle mobile - Le moufle fixe - Le crochet - Le câble de forage - Le treuil 	<ul style="list-style-type: none"> - La tige d'entraînement - Table de rotation - Les tiges - Les mass tiges - L'outils - Le top drive 	<ul style="list-style-type: none"> - La boue de forage - La pompe à boue - Le circuit de la boue - La tête d'injection - Les tamisvibrants - Bac à boue

Tableau I.1 : Les équipements de forage rotary .

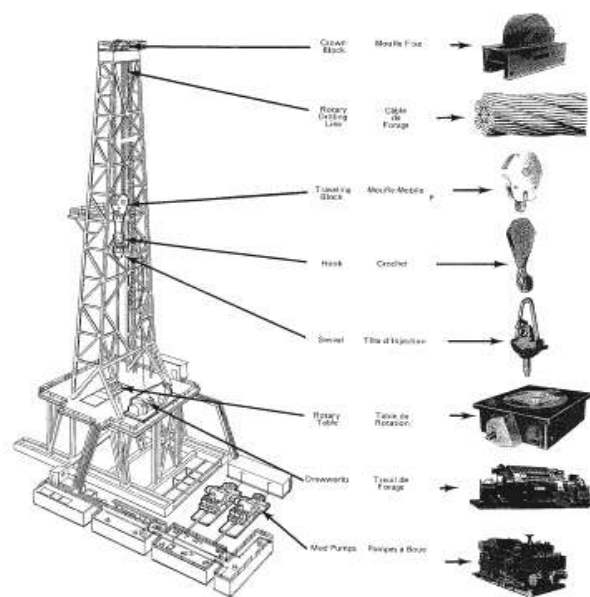
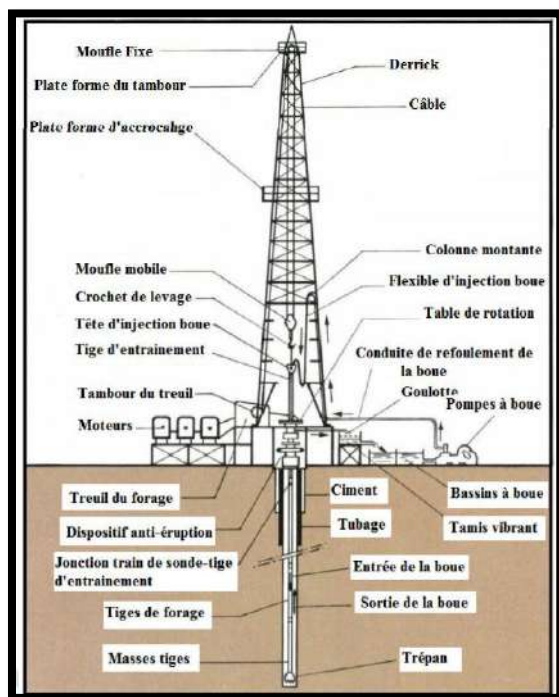


Fig. I.3 Description d'un appareil de forage (Source : National Oil Well).

Figure I.3 : Dispositif schématique d'un atelier de forage rotary

I.4.2.1 Paramètres des forage :

Pour avoir le meilleur rendement d'un atelier de forage rotary, il convient d'être très vigilant sur les trois paramètres suivants

- Le poids sur l'outil :

l'avancement s'accroîtra en fonction du poids sur l'outil (qui s'augmente en s'avançant par le montage au fur et à mesure de tiges), mais on est limité dans cette voie par l'usure rapide des lames et des dents et surtout par détérioration rapide des roulements des outils à molettes. Le contrôle du poids sur l'outil s'opère par le dynamomètre qui mesure la tension du brin (file) mort du câble, il donne le poids de tout ce qui est suspendu au crochet.

- La vitesse de rotation :

la plus part des appareils rotary sont munis d'un indicateur donnant la vitesse de rotation de la table (table de rotation). Dans les terrains durs, la vitesse de rotation sera faible ; elle sera plus élevée lorsque les terrains seront tendres. Cette vitesse qui se calcule en fonction de la vitesse des moteurs et le rapport des transmissions, devra être vérifiée par un appareil de contrôle.

- Le débit des pompes :

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.

I.4.2.2 Avantages et inconvénients de forage rotary :

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Grande profondeur de forage quelque soit la nature du terrain (peu stables ou plastiques), à condition d'utiliser un fluide de forage adapté ; ✓ Les parois en terrains meubles sont consolidées par dépôt d'un cake ; ✓ Maîtrise de la rectitude du trou ; ✓ Rapidité et économie d'exécution de trou de grands diamètres ; ✓ Absence de tubage pendant l'opération de forage ; 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Difficulté d'observation directe de la qualité des eaux des formations traversées à cause de l'utilisation d'un fluide de forage ; ✓ L'utilisation de certaines boues (bentonite) peut provoquer le colmatage des formations aquifères ; ✓ Demande un grand volume d'eau ; ✓ Investissement couteux (matériel très importants) ; ✓ Pas commode aux sites non accessibles et terrains accidentés.

Tableau I.2 : Avantages et inconvénients de forage rotary .

I.4.2.3 Le fonctionnement d'un forage :

Il nécessite un site de surface (ou plateforme) permettant d'installer l'appareil de forage, ses outils et ses équipements. Ceux-ci permettent de creuser profondément dans le sous-sol, de traverser plusieurs couches géologiques comme des sables, des calcaires ou des argiles, Cela fonctionne en quelques sortes comme une perceuse géante !

Un des éléments indispensables pendant le forage est la boue. Ce mélange d'eau et d'argile permet de refroidir l'outil de forage, de l'aider à creuser et de faire remonter les déblais de roche en surface. A la manière d'un circuit fermé, la boue déjà utilisée est tamisée en surface et recyclée constamment.

Il existe 3 sections de forage, chaque fois plus profondes. A chacune de ces étapes, on descend un tube en acier qui permet d'assurer l'étanchéité horizontale du puits et consolider le trou foré vis-à-vis des terrains traversés. On cimente ensuite l'espace entre le tube et la roche afin d'assurer l'étanchéité verticale du puits. Cette opération est essentielle pour préserver la qualité des eaux souterraines et garantir la solidité et la longévité de l'ouvrage.

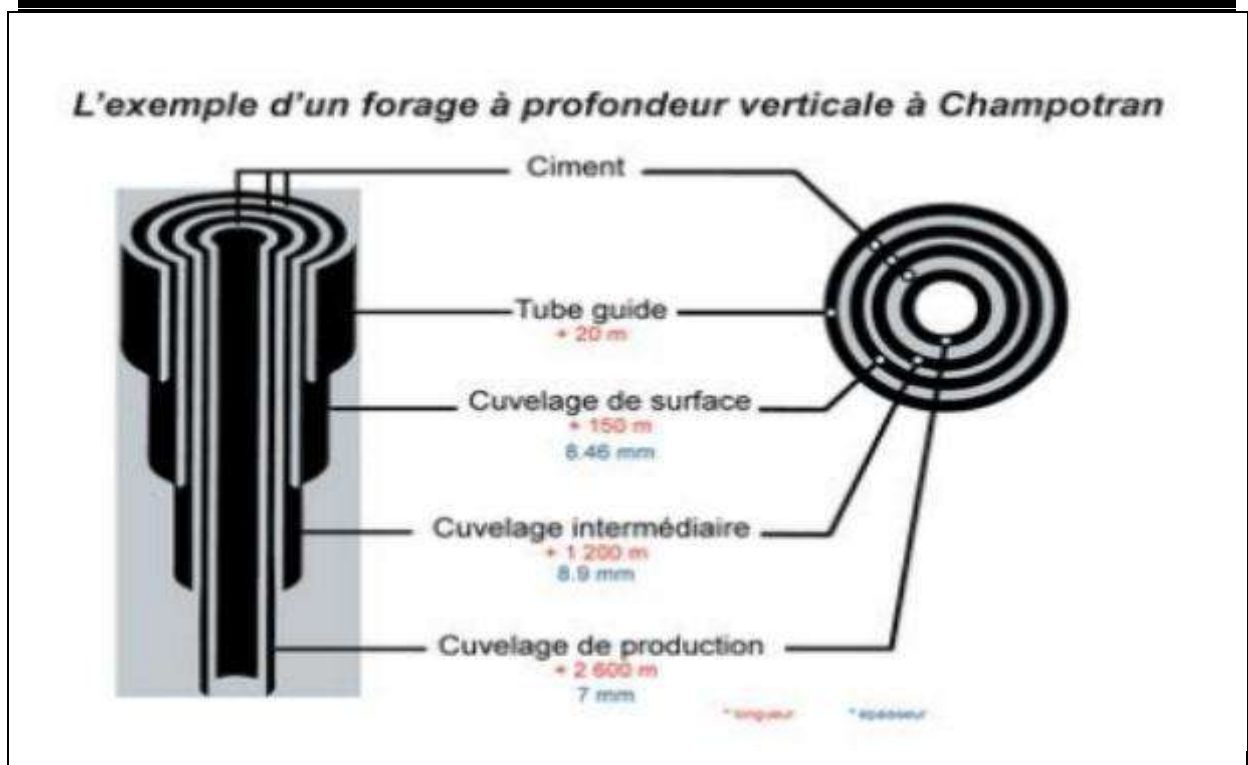


Figure I.4 :Le Fonctionnement D'un Forage

Forage directionnel :

Cette méthode permet de forer des puits non verticaux, c'est-à-dire des puits inclinés ou horizontaux. Elle est utilisée lorsque les conditions géologiques nécessitent de contourner des obstacles ou de maximiser la récupération de pétrole ou de gaz dans un gisement.

- ✓ Outils de navigation directionnelle (gyroscopes, MWD - Measurement While Drilling, LWD - Logging While Drilling)
- ✓ Moteurs de fond pour la propulsion dans la direction souhaitée
- ✓ Collars de forage directionnel pour stabiliser la trajectoire du forage .

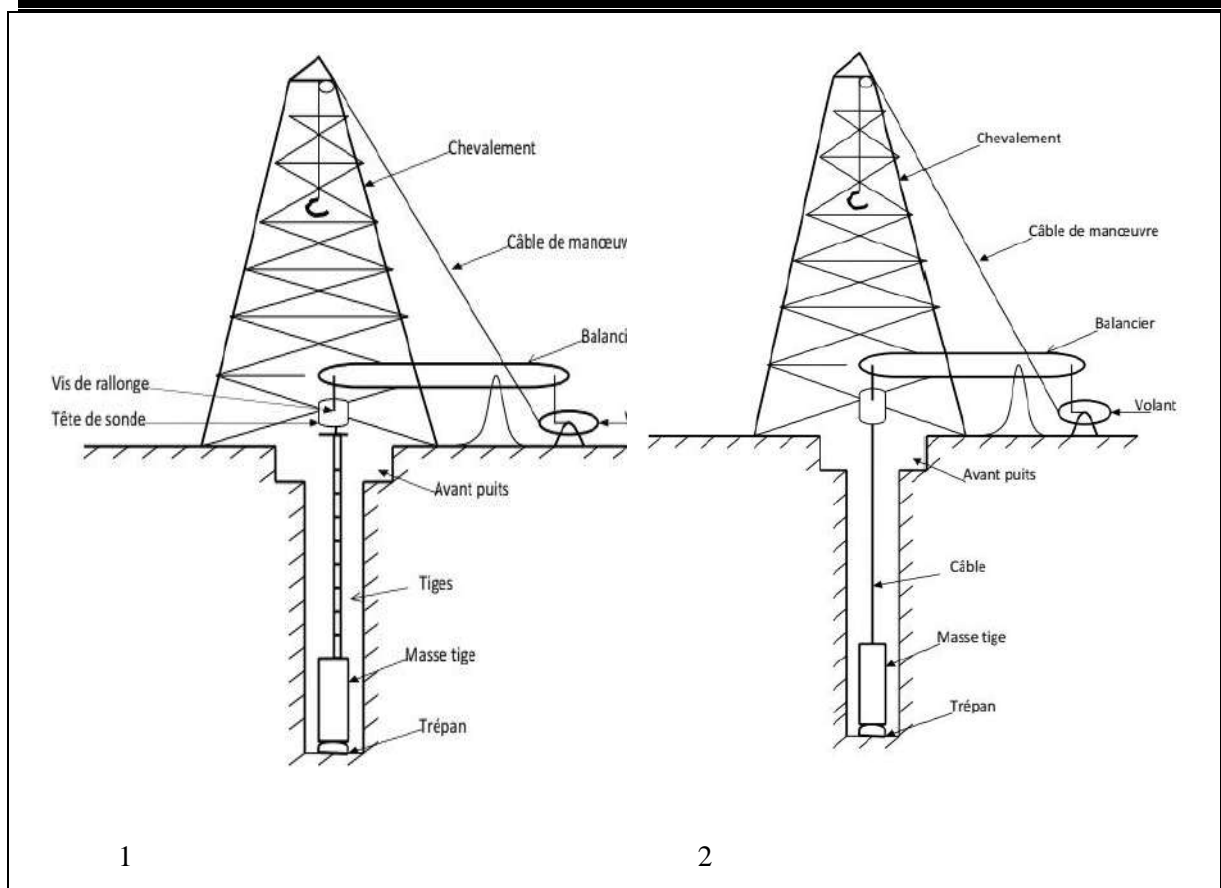


Figure I.5: forage battag

I.4.3 Forage de secours ou de déviation :

Cette technique est utilisée pour récupérer des outils ou des équipements perdus dans un puits ou pour contourner des obstacles imprévus, tels que des puits de forage obstrués ou des zones de perte de circulation.

- ✓ Outils de pêche pour récupérer les outils ou l'équipement perdus.
- ✓ Mèches spéciales pour percer à travers les obstacles.
- ✓ Équipement de forage spécifique pour le forage en oblique ou le forage de déviation .

I.4.4 Forage à circulation directe (RC) :

Cette méthode utilise un fluide de forage qui est injecté dans le trou de forage pour évacuer les débris de roche et de terre à la surface. Le forage à circulation directe est couramment utilisé dans l'exploration minière et dans le forage de puits d'eau peu profonds.

- ✓ Marteaux RC et bits (marteau fond de trou) .

- ✓ Tubes de forage RC et équipement associé .
- ✓ Cyclones pour récupérer les échantillons de roche à la surface .
- ✓ Décanteurs pour séparer les échantillons de roche du fluide de forage .

I.4.5 Forage au marteau fond de trou (DTH) :

Dans cette technique, un marteau pneumatique est fixé à l'extrémité de la tige de forage et est utilisé pour fracasser la roche sous la foreuse. Les débris sont ensuite évacués à la surface par le biais d'un fluide de forage.

- ✓ Marteaux DTH et bits .
- ✓ Tiges de forage spéciales pour le forage DTH.
- ✓ Équipement de forage pour le levage et la manipulation des outils DTH.

I.4.6 Forage au jet d'eau (hydroforage) :

Cette méthode utilise un jet d'eau haute pression pour fragmenter la roche et créer un trou de forage. Le fluide de forage est généralement de l'eau ou un mélange d'eau et de boue. Le forage au jet d'eau est souvent utilisé dans les formations meubles ou friables.

- ✓ Têtes de forage hydroforage .
- ✓ Tubes de forage et équipement associé pour le transport du fluide de forage à haute pression.
- ✓ Buses de forage pour diriger le jet d'eau.

I.4.7 Forage à percussion :

Cette technique utilise une action de percussion pour fracturer la roche sous la foreuse. Elle est généralement utilisée dans des formations rocheuses plus dures telles que le granite ou le basalte.

- ✓ Marteaux de forage à percussion.
- ✓ Bits à percussion .
- ✓ Tiges de forage et équipement associé pour transmettre la force de percussion à la roche .

I.5 fluide de forage :

I.5.1 Définition:

Le fluide de forage est connu comme le fluide qui aide l'équipement à forer des puits et a été utilisé à cette fin pendant une longue période, avant même la découverte de l'industrie pétrolière .

Les fluides de forage sont la clé du succès des puits d'eau de forage, du pétrole et du gaz, de sorte que la qualité et les propriétés du fluide de forage doivent être assorties à des conditions de forage pour obtenir les meilleures performances, de sorte que les progrès et l'efficacité des opérations de forage dépendent en grande partie de l'utilisation du fluide de forage approprié pour le sol et les couches qui A déterrés.

Le fluide de forage est appelé tout liquide utilisé dans le forage par rotation et est pompé par ses propres pompes et traverse les tuyaux de forage au fond du puits, les fluides de forage comprennent les gaz, le pétrole et les liquides. C'est parfois ce qu'on appelle la boue de forage.

Après des progrès significatifs dans la technologie de forage, les fluides de forage ne sont plus constitués d'argile et d'eau. Seulement un mélange de liquides, de solides et de produits chimiques pour effectuer des fonctions et des conditions de forage variables. ^[3]

I.5.2 Principeles fonctions des boues de forage :

- ✓ Nettoyage du puits.
- ✓ Maintien des déblais en suspension.
- ✓ Sédimentation des déblais fins en surface.
- ✓ Refroidissement et lubrification de l'outil et du train sonde.
- ✓ 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.
- ✓ Contamination des formations productrice.
- ✓ Apport de renseignements de sondage.
- ✓ Diminution du poids apparent du matériel de sondage.
- ✓ Entraînement de l'outil. ^[4]

I.5.3 Propriétés d'un fluide de forage :

(Caractéristiques rhéologique) Les caractéristiques idéales d'une boue sont :

- ✓ Viscosité = 40 à 45 secondes mesurée par le viscosimètre (entonnoir) de MARSCH
- ✓ Densité de 0.9 à 2.4 ;
- ✓ Filtra = 8 cm³ ;
- ✓ pH de 7 à 9 ;
- ✓ Teneur en sable = 0,5%.

I.5.4 Classification des fluides de forage :

On appelle boue un mélange plus ou moins complexe d'un liquide de base eau ou huile avec des produits divers (argile et produits chimiques). On distingue plusieurs types de boue de forage :

- Boue naturelle
- Boues bentonitiques ordinaires
- Boue bentonitique
- Boue amidonnée
- Boue calcique à l'amidon
- Boue salées
- Boue à l'huile
- Boues à émulsion
- Boue à polymère
- Air comprimé

L'emploi de l'air comprimé comme fluide de forage procure les avantages suivants :

- ✓ Plus grande vitesse de pénétration dans la roche dure et consolidée. Réduction du poids sur l'outil.
- ✓ Grande capacité de dégagement des cuttings.
- ✓ Facilite le forage dans les formations gonflantes.
- ✓ Faibles besoins d'eau.
- ✓ Mousse

I.6 Les rôles de la crépine:

Sa longueur, son type, sa nature sont directement fonction de l'épaisseur de la formation à capter, du niveau de rabattement maximal, et de la nature de l'aquifère (on verra cela en détail prochainement). La crépine constituée l'élément principal de l'équipement d'un ouvrage d'exploitation d'eau. Elle est placée à la suite du tubage plein, face à une partie ou à la totalité de la formation aquifère. La crépine doit répondre aux critères suivants :

- ✓ permettre la production maximale d'eau claire sans sable.
- ✓ Rester inerte vis-à-vis du fluide à capter (interaction de matériaux et turbulence).
- ✓ Résister à la pression d'écrasement exercée par la formation aquifère en cours d'exploitation.
- ✓ Ne pas risquer un vieillissement prématuré.
- ✓ Induire des pertes de charge minimales.
- ✓ résister à la corrosion due à des eaux agressives.

Massif filtrant (gravier additionnel, massif de gravier) :

Le rôle du gravier additionnel est d'augmenter les débits d'exploitation, de diminuer les vitesses d'écoulement, et d'éviter le risque d'érosion en évitant l'entrée des sables fins. Dans la pratique, le gravier additionnel est défini par la granulométrie de la formation et par l'ouverture de la crépine. Il doit être uniforme, propre, calibré et siliceux de préférence. Le gravier descend dans l'espace annulaire le long du tubage. Une remontée de boue par le tube de forage indique une descente correcte du gravier. Lorsque le niveau du gravier atteint le haut des crépines, la boue ne remonte pas par le tube mais par l'espace annulaire : le massif de gravier doit alors dépasser le haut des crépines sur quelques mètres.

Le volume nécessaire du gravier peut être défini théoriquement (volume du trou moins volume de tubage) ou de la manière empirique suivante selon E.Drouart.^[2]

I.7 Cimentation :

I.7.1 Définition:

L'installation d'un bac dans un forage est une opération capitale pour préserver la qualité des pluies du sud et la longévité de l'installation. Lors de l'utilisation de différents types de formations isolantes ou de l'utilisation d'un simple protecteur de forage pour contrôler les ventilateurs et la pollution en surface, il doit être installé dans l'espace annulaire sur un protecteur d'écran pour plus de zones dans la zone.^[7]

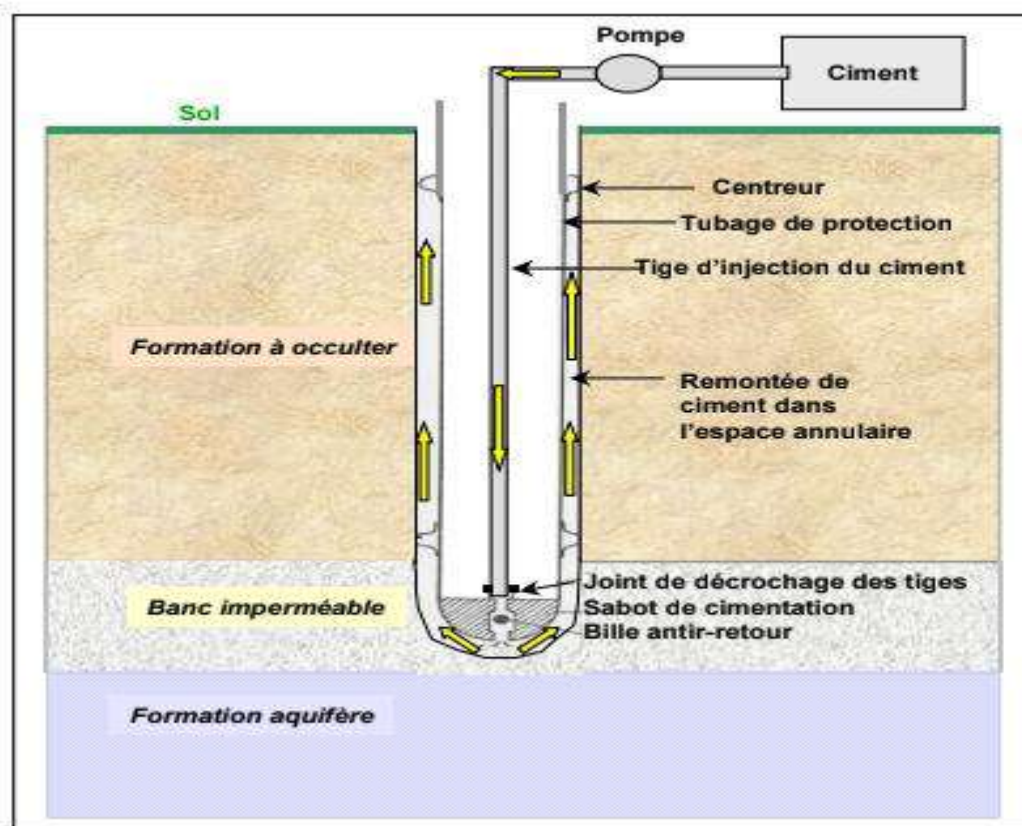


Figure I.6 :Dispositif De Cimentation

I.7.2 Le rôle de cimentation :

Le rôle de cimentation est de protéger le forage contre les pollutions extérieures. Elle peut être réalisée avec de l'argile ou avec un mélange bentonite- ciment. Dans ce cas, un bouchant d'argile doit être placé entre le massif du gravier et le ciment pour éviter que le laitier de ciment ne colmate pas le massif. L'opération consiste à remplir avec un mélange d'eau et de ciment (laitier de ciment) l'espace annulaire au dessus du massif filtrant jusqu'à la surface de sol. La cimentation doit

être réalisée avant les essais de pompage. Le dosage de laitier de ciment est d'environ 50 l d'eau pour 100 kg de ciment.

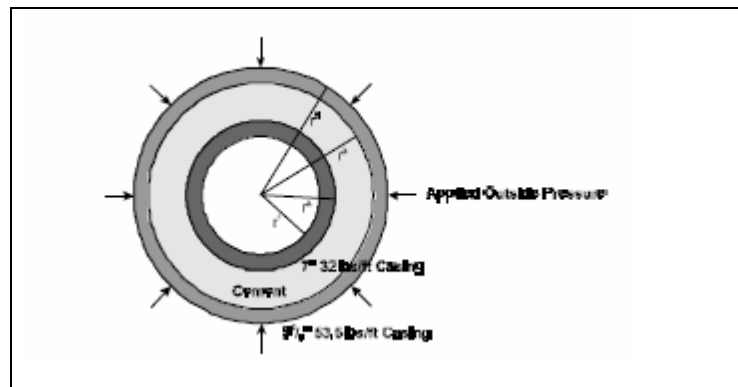


Figure I.7 : Le rôle de cimentation

I.8 Processus de pompage:

I.8.1 Introduction :

Les expériences de pompage, également connues sous le nom de tests de pompage ou de tests d'essai de puits, sont des méthodes utilisées pour évaluer les caractéristiques hydrauliques d'un puits, telles que le rendement, la capacité de production et la perméabilité des formations géologiques environnantes. Voici quelques-unes des expériences de pompage les plus couramment réalisées :

I.8.2 Test de pompage en débit constant :

- Dans cette expérience, un puits est pompé à un débit constant pendant une période de temps définie.
- Les mesures de la pression de l'eau dans le puits et les taux de débit d'eau sont enregistrées pendant toute la durée du test.
- Ces données sont utilisées pour tracer des courbes de rabattement de la nappe phréatique et pour estimer la capacité de production du puits.

I.8.3 Test de pompage en débit variable :

- Ce test implique de varier le débit de pompage à des intervalles prédéfinis pendant la durée du test.
- Les variations de pression et de débit d'eau sont enregistrées et utilisées pour évaluer la réponse hydraulique du puits et des formations aquifères environnantes à différents débits de pompage.

I.8.4 Test de rétablissement ou de récupération :

- Après l'arrêt du pompage, cette expérience consiste à surveiller la remontée de la nappe phréatique dans le puits au fil du temps.
- Les données de récupération sont utilisées pour évaluer la capacité de recharge de l'aquifère et estimer le temps nécessaire pour que le niveau d'eau se rétablisse après le pompage.

I.8.5 Test de double pompage :

- Ce test implique le pompage simultané de deux puits à des débits constants ou variables.
- Il est utilisé pour évaluer l'interférence entre les puits adjacents et pour estimer les paramètres hydrologiques du système aquifère interconnecté.

I.8.6 Test d'injection d'eau :

- Dans cette expérience, de l'eau est injectée dans un puits à un débit constant pendant une période définie.
- Les variations de pression et de débit d'eau sont enregistrées dans le puits et les puits adjacents, ce qui permet d'évaluer la capacité de transmission hydraulique des formations géologiques entre les puits.

I.8.7 Test d'essai de transmissivité :

- Ce test implique le pompage d'un puits de test à un débit constant, tandis que des puits de surveillance sont utilisés pour mesurer les variations de pression à différentes distances du puits de pompage.
- Les données sont utilisées pour estimer la transmissivité et la conductivité hydraulique des formations aquifères environnantes.

Ces expériences de pompage sont essentielles pour caractériser les propriétés hydrauliques des puits et des aquifères, ce qui aide à prendre des décisions éclairées en matière de gestion des ressources en eau et de conception des systèmes de pompage.

[5]

I.9 Conclusion :

Le forage constitue la méthode d'approche directe des caractéristiques d'un gisement que ce soit pour l'acquisition de données, où il s'agit alors de parfaire la connaissance d'un site ou que ce soit pour l'exploitation d'un niveau identifié, quand il s'agit de préciser des conditions de production.

Le forage peut réaliser avec plusieurs techniques citées dans ce chapitre, La technique du forage rotary consiste à utiliser un outil qui détruit la roche sous l'effet du poids et de la rotation. Le poids est assuré par un ensemble de tiges lourdes et creuses, assemblées en un train qui achemine sous pression les boues de forage. Celles-ci refroidissent l'outil et assure le déblaiement du trou. Le forage rotary à la boue est également utilisé pour éviter les éruptions dues à des aquifères et artésien. La foration rotary à la boue pourra être privilégiée dans les cas où le risque d'éruption est grand. Cette technique permet en effet, par augmentation de densité de la boue, de contenir les effets de pressions.

CHAPITRE – II :Réalisation d'un forage Hai 08 Mai 1945

II.1 Introduction:

On appelle "Forage Hydraulique" l'ensemble des opérations permettant d'atteindre les roches poreuses et perméables du sous-sol, susceptibles de contenir l'eau.

L'implantation d'un forage d'eau in 'API de N'GOUSSA, wilaya d'Ouargla

Ces études permettent de se faire une idée de la constitution du sous-sol et des possibilités de la présence des gisements. [6]

II.2 Caractéristique de la zone d'étude :

II.2.1 Introduction et objectif du projet :

Dans le cadre de la réalisation d'un forage destiné à l'AEP, au profit de l'API de N'GOUSSA, wilaya d'Ouargla, l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques à Ouargla a été sollicitée par le maître d'ouvrage en l'occurrence l'APC de N'Gouda afin d'assurer le suivi technique des travaux de réalisation de ce forage, captant la nappe du Complexe terminal soit [7].



**Figure II.1 : Géographique De Forage Hai 08 Mai 1945 A Frane N'goussala
nappe du Sénonien-Carbonaté.**

COMMUNE : N'GOUSSA \ DAIRA : N'GOUSSA \ WILAYA : Ouargla

II.2.2 Situation géographique et localisation:

Le nouveau forage D'AEP HAI 08 MAI 1945 A FRANE NGOUSSA dans les coordonnées géographiques sont les suivantes^[7] :

Longitude	5° 18' 00''
Latitud	32°13'48''
Z	128m

Tableau II.1 : Les coordonnées géographiques du forage

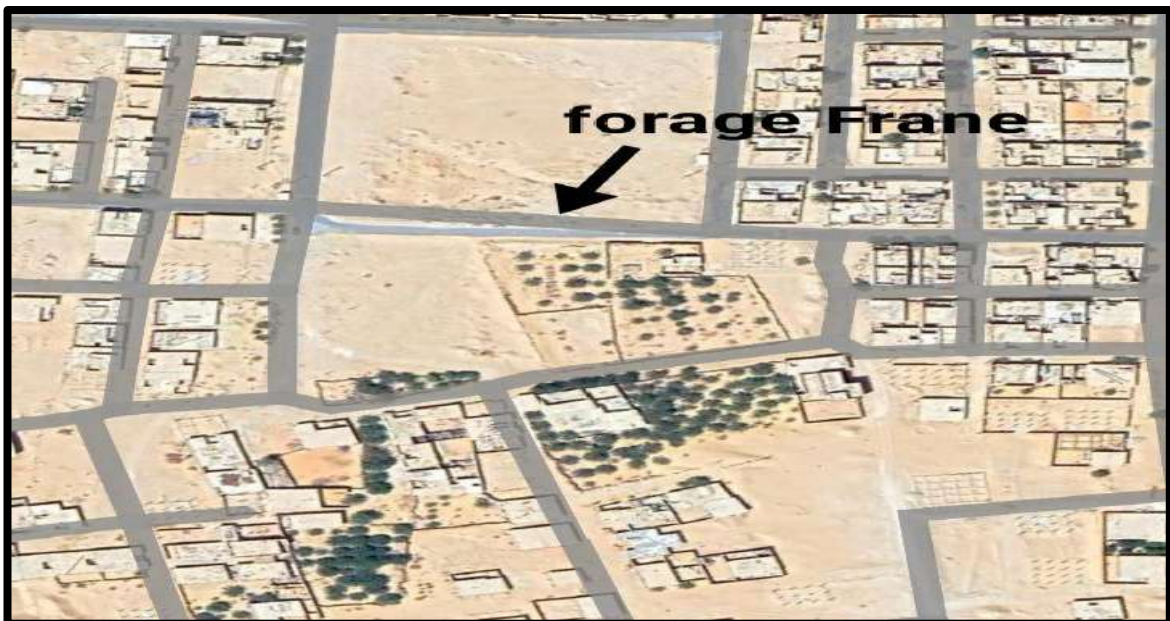


Figure II.2 : localisation de forage D'AEP HAI 08 MAI 1945 A FRANE NGOUSSA

II.3 Déroulement des travaux de réalisation du forage et calcul de ciment :**II.3.1 Installation du chantier de forage :**

D'une façon générale, un projet de forage d'eau ne peut être bien conçu et bien réalisé que s'il s'appuie sur une bonne connaissance du milieu. Les considérations économiques ne doivent pas occulter la phase de collecte et d'analyse de l'information pour connaître^[7]:

- ✓ **Le milieu physique depuis la surface jusqu'à l'objectif en profondeur:** état du site du forage, sol superficiel et remblais éventuels, couches géologiques, niveaux aquifères ;
- ✓ **Les zones à risques :** zones inondables, zones d'instabilité du sous-sol (mouvements de terrain, carrières souterraines, dissolution et corrosion de la roche), zones de pollutions du sol... ;
- ✓ **Les contraintes environnementales :** périmètres de protection des captages pour l'eau potable, nappes surexploitées, périmètre du SAGE où les prélèvements de l'ensemble de la nappe sont limités, contrat de rivière, zones de sauvegarde de la ressource pour l'approvisionnement en eau potable, sauvegarde des milieux aquatiques dont les zones humides...
 - , confectionplateforme, bassins et rigoles.
 - **Techniques de sondage :**Machine de forage au rotary avec une boue Béntonitique.

II.3.2 Les équipements de surface :

Cette catégorie est répartie en plusieurs groupes mettant en oeuvre l'outil de forage et assurent la sécurité du puits :

- pied du mat Train de sonde.	- Moteurs (groupe de force)
- Élévateur	- Transmission de force (sortie des moteurs)
- Moufle mobile	- Transmission des pompes de forage
- Passerelle d'accrochage, Câble de forage	- Pompes de forage
- Plate-forme	- Cache des du groupe de force
- Moufle fixe	- Constructions d'habitation
- Plancher de gerbage	- Bacs à boue de forage
- Table de rotation	- Plancher du groupe de force et de la table de rotation
- Treuil auxiliaire (cabestan)	- Bloc de décantation de la boue
- Treuil principal, Boite de vitesse	- Tréteaux pour tiges de forage, Pont

- Le mat :

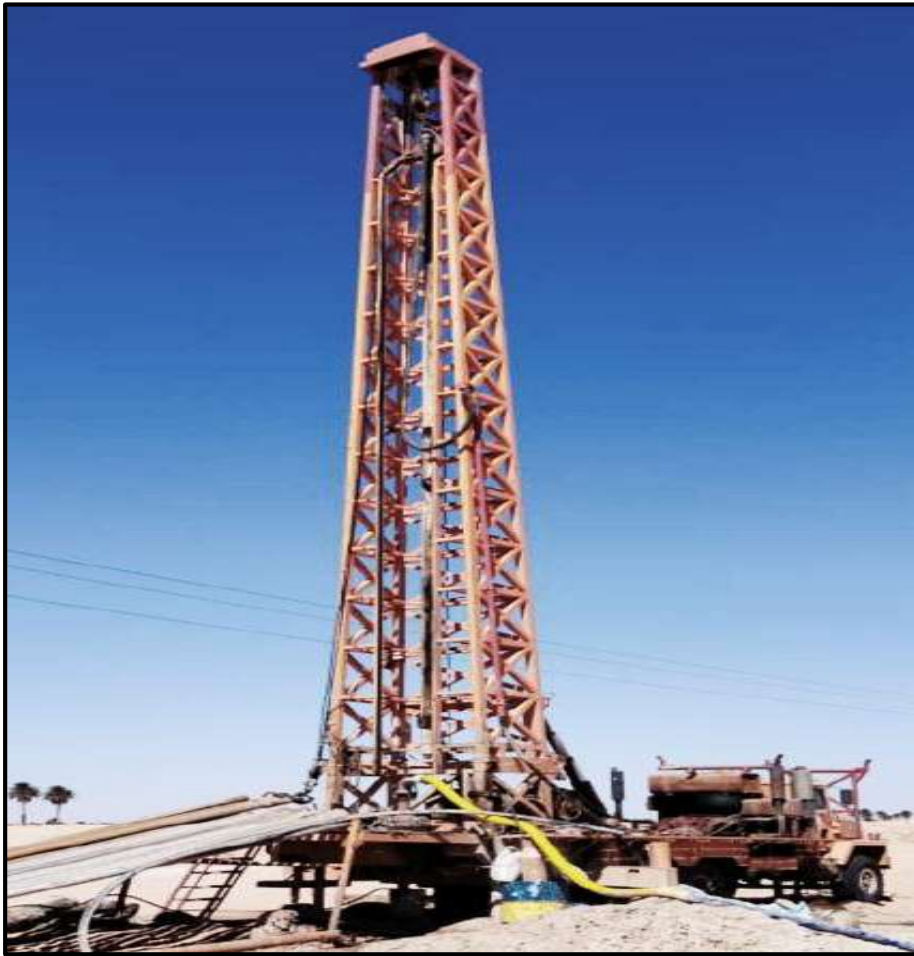





Figure II.3 : Le Mat

- Les tiges et les mass tiges :



Figure II.4: Les Tiges Et Les Mass Tiges

Les outils :

Les outils	Diamètre en pouce et cm	Les photos
1	55cm=24"	
2	48 cm = 17 ^{1/2} "	
3	43 cm = 12 ^{1/4} "	

II.3.3 Phase I : Construction de l'avant puit :

Installation du chantier et démarrage des travaux du forage de Pavant puits en outil 24" de Om à 15 m, comme prévu dans le programme prévisionnel.

- A la cote de 15 mètres, les cuttings indiquent la présence d'une nappe superficielle, formée par(calcaires dur rosâtre avec présence de grés et calcaires dur rosâtre avec présence peu de sable), jusqu'à 15 mètres de profondeur, ainsi, , une modification à subit le programme prévisionnelle et de poser le sabot du tube guide Ø20^{5/8} dans un terrain solide .

II.3.3.1 Forage en outil \varnothing : 24'' de (0 - 15) m :

a- Diamètre de la colonne de production

Ce paramètre (diamètre de la colonne de production) dépend de ce qui suit :

Les dimensions de la chambre de pompage et le débit potentiel d'exploitation ; La structure géologique du système aquifère et l'épaisseur de la nappe.

b- Le type d'ouvrage et sa destination

On doit vérifier s'il s'agit d'un forage d'exploitation, d'exploration....

Pour notre cas, il est question d'un forage d'exploitation pour l'AEP.

II.3.3.2 Mise en place de tube guide \varnothing : 20^{5/8}'' de (0 - 10) m :

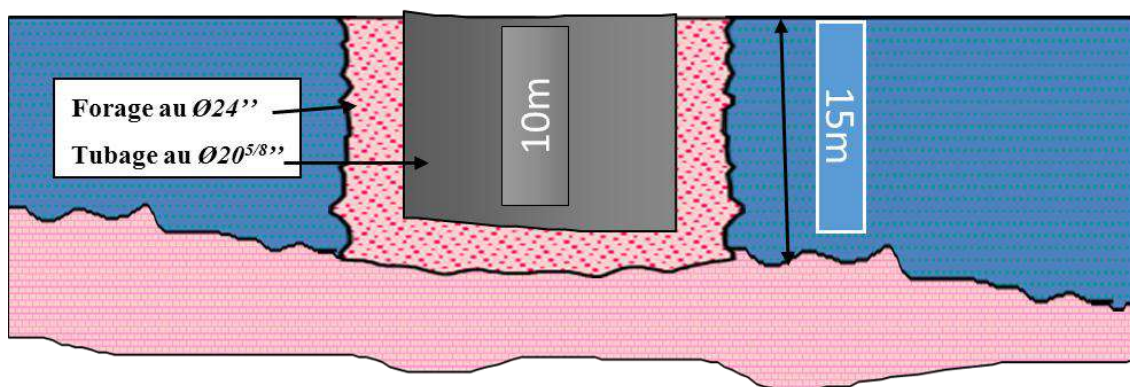


Figure II.5 : Mise en place de tube guide \varnothing : 20^{5/8}''

II.3.3.3 Cimentation :

Le rôle de cimentation est de protéger le forage contre les pollutions extérieures. Elle peut être réalisée avec de l'argile ou avec un mélange bentonite- ciment. Dans ce cas, un bouchant d'argile doit être placé entre le massif du gravier et le ciment pour éviter que le laitier de ciment ne colmate pas le massif. L'opération consiste à remplir avec un mélange d'eau et de ciment (laitier de ciment) l'espace annulaire au-dessus du massif filtrant jusqu'à la surface de sol. La cimentation doit être réalisée avant les essais de pompage. Le dosage de laitier de ciment est d'environ 50 l d'eau pour 100 kg de ciment.

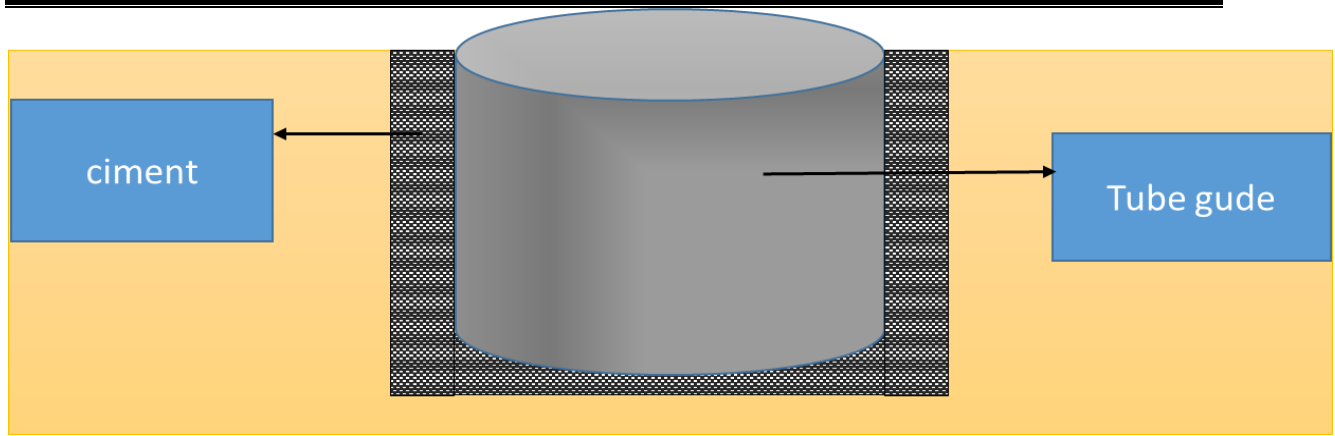


Figure II.6 : Cimentation De Tube Guide

II.3.3.3.1 Tube guide :

Equipements de la colonne cimentation

- ✓ les sabots
- ✓ les anneaux de retenue pour les bouchons
- ✓ les racleurs de parois
- ✓ les bouchons (Bouchon inférieur & supérieur)
- ✓ les centreurs de tubage

Tableau II.2:Diamètre extérieur de tubage& Diamètre de trou

	(pousse)	(cm)	(m)
Dtr (Diamètre detrou)	24"	60.96	0.6096
Dextub (Diamètre extérieur de tubage)	20"5/8	52.38	0.5238

II.3.3.3.2 Calcul de cimentation de tube guide^[7]

Tableau II.3 :Calcul de cimentation de tube guide

		Résultats
Le volume nécessaire de laitier de ciment (VL)	$V_L =$ volume de laitier de ciment nécessaire ; $K_1 =$ coefficient dépendant de la nature du terrain ($K_1 = 1,05$ à 2) ; $H =$ hauteur à cimenter dans l'espace annulaire ($H = 10m$) $D_r =$ Diamètre de trou ($24'' = 0.6096m$) $D_{tub} =$ Diamètre extérieur de tubage ($20'' 5/8 = 0.5238m$) $V_L = 0,785[(K_1 \times D_r^2 - D_{tub}^2) \times H]$ $V_L = 0.785[(1.05 \times (0.6096^2 - 0.5238^2) \times 10]$	V_L $= 1.145m^3$ $= 1145 L$
Quantité de ciment (Qc)	$Q_c =$ quantité total de ciment ; $100Kg \text{ ----- } 99.5 L$ $Q_c \text{ kg ----- } 1145L$ $Q_c = 1145 \times 100 / 99.5 L$ $N \text{ sac} = Q_c(kg)/50$	Q_c $= 1150.82Kg$ $= 1.15T$ Donc $N \text{ sac} = 23sac$
Volume d'eau de gâchage (V_{eau})	$100 kg \text{ ----- } 66.5 L$ $Q_c \text{ kg ----- } V_{eau} L$ $V_{eau} = 1150.82 \times 66.5 / 100$	V_{eau} $= 765.295L$ $= 0.765m^3$

Résultats de cimentation (tube guide) :

Profondeur(m)	VL(m ³)	Qc(sac)	V _{eau} (m ³)
0 m à 10 m	1.145m ³	23	0.765

Tableau II.3: Résultats de cimentation (tube guide)

II.3.4 Phase II : Colonne de production :

II.3.4.1 Forage de reconnaissance Ø : 12''^{1/4} de (00 – 200) m :

la reprise de la reconnaissance en outil 12''^{1/4}, à partir du 15 m de profondeur,

II.3.4.2 Le profil stratigraphique :

Analyse des cuttings :

Le profil stratigraphique a été mis en évidence suite après analyse et prélèvements des cuttings effectués à chaque mètre lors du sondage ;

Le Quaternaire(01m-65m) :

- Du 01 à 10m : calcaires dur rosâtre avec présence de grés .
- Du 10 à 11m : calcaires dur rosâtre avec présence peu de sable.
- Du 12 à 45m : calcaires dur rosâtre et des grés durs.
- Du 45 à 65m : Sables fin et grés avec calcaires .

Le Miopliocène (65m-110m) :

- Du 65 à 68m : Calcaires avec des gypses et des silex.
- Du 68 à 70m : marnes .
- Du 70 à 74m : Calcaires et gypse avec particule de silex.
- Du 74 à 78m : Marnes.
- Du 78 à 85m : calcaires blanchâtre avec des grés.
- Du 85 à 94m : calcaires friables blanchâtres.
- Du 94 à 110m : calcaires et sables avec silex.

Le Sénonien carbonaté (110m-200m) :

- Du 110 à 120m : sables et calcaires avec silex.
- Du 120 à 125m : grés calcaireux et silex avec peu de sables.
- Du 125 à 130m : sables argileux et calcaires avec grés rougeâtre.
- Du 130 à 144m : sables fin siliceux et grés rougeâtre avec calcaires et silex.
- Du 144 à 152m : sables siliceux et silex avec grés et calcaires .
- Du 152 à 160m : silex blanchâtre avec présences de sables avec calcaires .
- Du 160 à 164m : marnes de couleur marron.
- Du 164 à 166m : grés à ciment calcaire.
- Du 166 à 185m : marnes marron avec présences des grés et particule de silex.
- Du 185 à 199m : Sables grossier siliceux jaunâtre et grés avec gravier et particule de silex.
- Du 199 à 200 : sables et calcaire friables avec grés. ^[7]

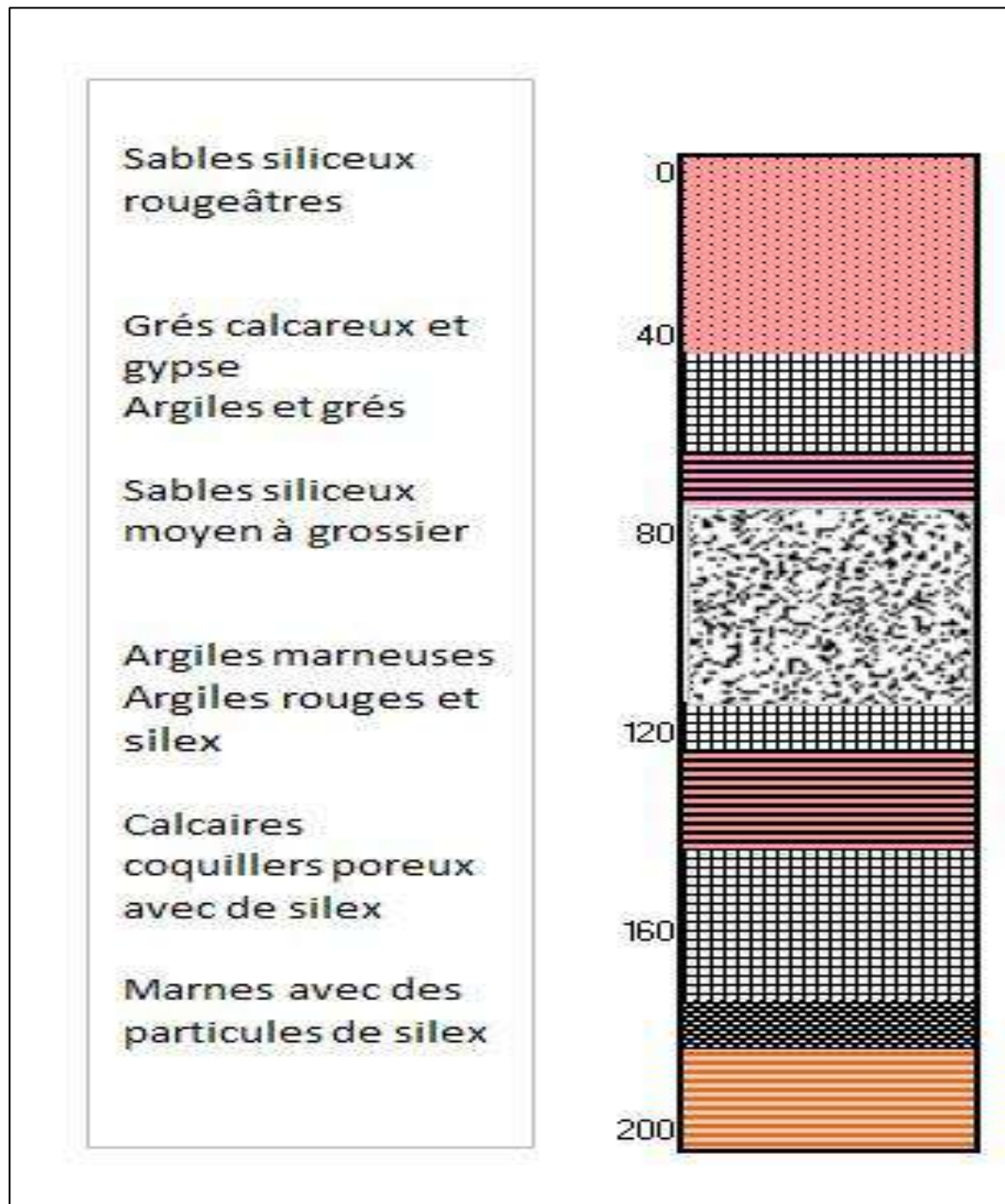


Figure II.7: Le profil stratigraphique

II.3.4.3 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 200 mètres, les enregistrements diagraphiques réalisées sont :

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

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



Figure II.8 : la machine diagraphiques

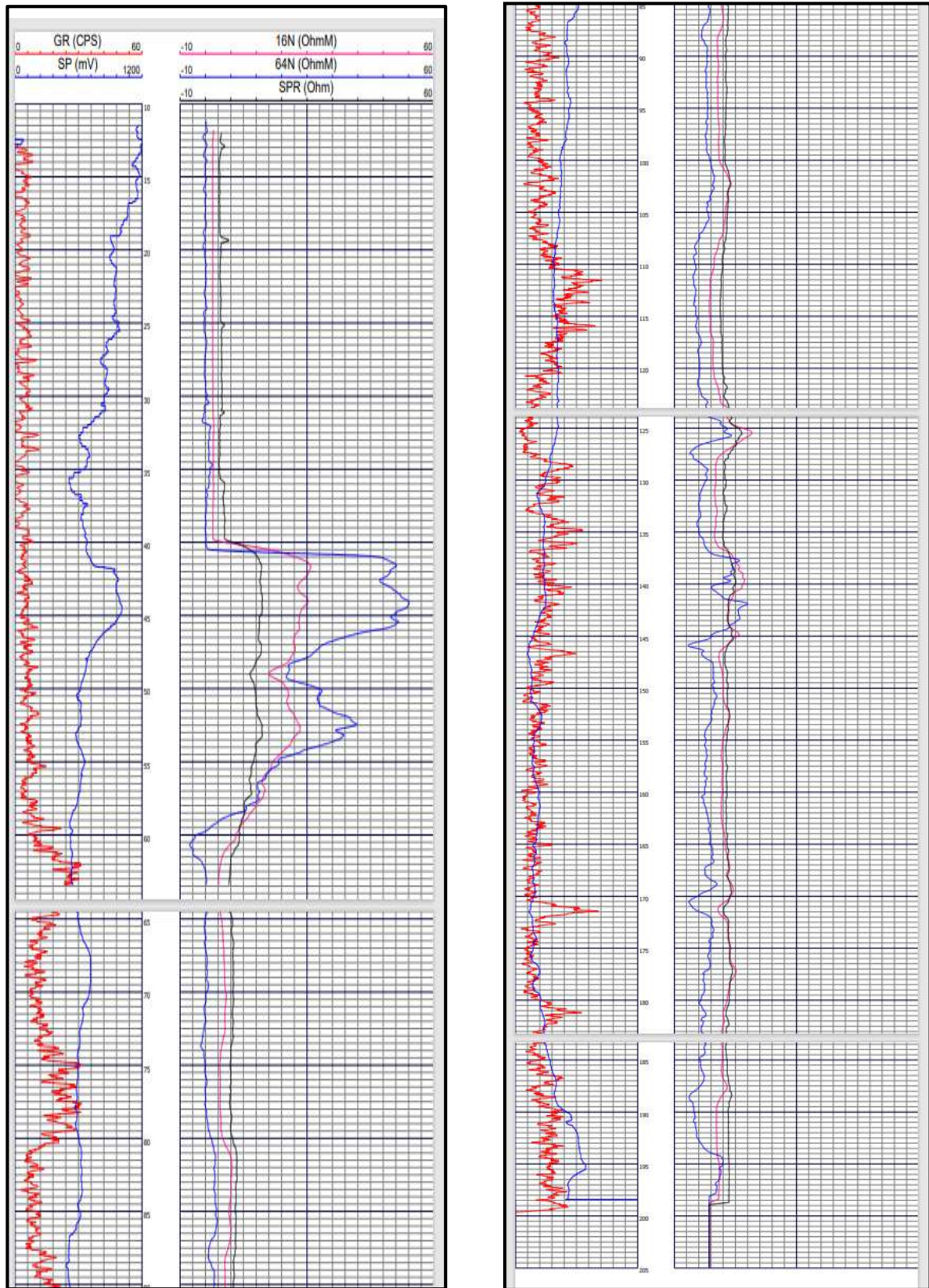


Figure II.8 : Diagraphie

II.3.4.4 Elargissement et alésage en Ø : 17''^{1/2} de (10 – 103.62) m :

La longueur de la colonne de la production à subit une , et ce, suite à l'analyse des cuttings comparé aux enregistrements diagraphiques .

ainsi, débute à partir de 103.62 mètres, pour cela, une modification à subit le programme du tubage API, l'élargissement en Ø 17''^{1/2} est 95,25 m au lieu de 120 m, la longueur du tubage 13''^{3/8} est 93.62mètres .

II.3.4.5 Mise en place du Tube Plein casing API Ø : 13''^{3/8}

Le rôle du tubage en acier 13''^{3/8} (330.2mm) 3/8. Est le soutènement de talus cylindrique du trou de Forage contre la poussée de terre, l'éboulement et pour éviter les risques d'effondrement dans le trou du forage (qui sont de plus en plus importants si la profondeur du forage devient importante), on recommande de placer le tubage le plus rapidement possibl

Les tubagesde (+0.5 –103.62) m ,, API grade d'acier K55 .

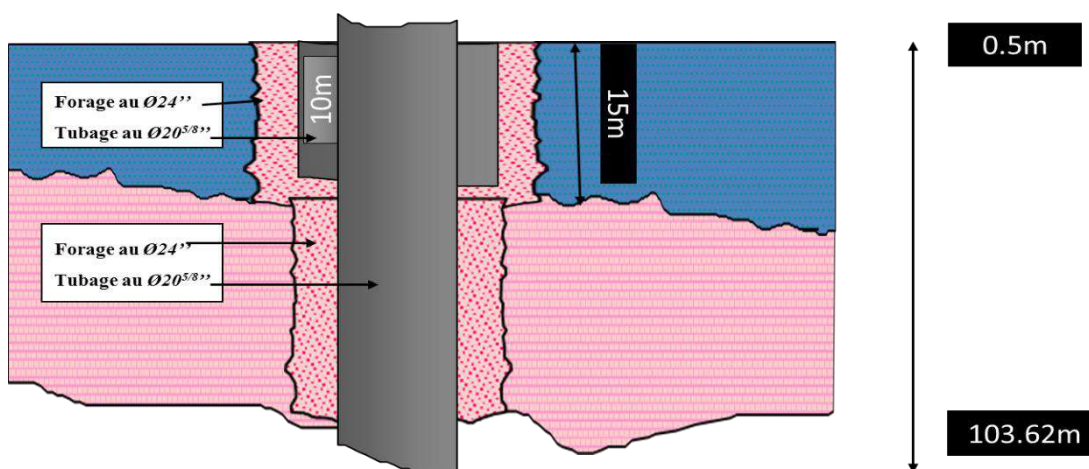


Figure II.9 : Mise en place du Tube Plein casing API Ø : 13''3/8



Figure II.10 : tubage en acier 133/8'

II.3.4.6 Cimentation de la colonne de production :

L'opération de cimentation est dans ce cas très importante car le ciment doit non seulement ancrer la colonne, mais aussi réaliser une étanchéité .

Pose d'une colonne de production Ø 13"3/8 de +0,50m à 103.62m, API grade d'acier K55

	(pousse)	(cm)	(m)
D_{tr1} (Diamètre de trou)	20" ⁵ / ₈	52.38	0.5238
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

Tableau II.4 : Diamètre la colonne de production

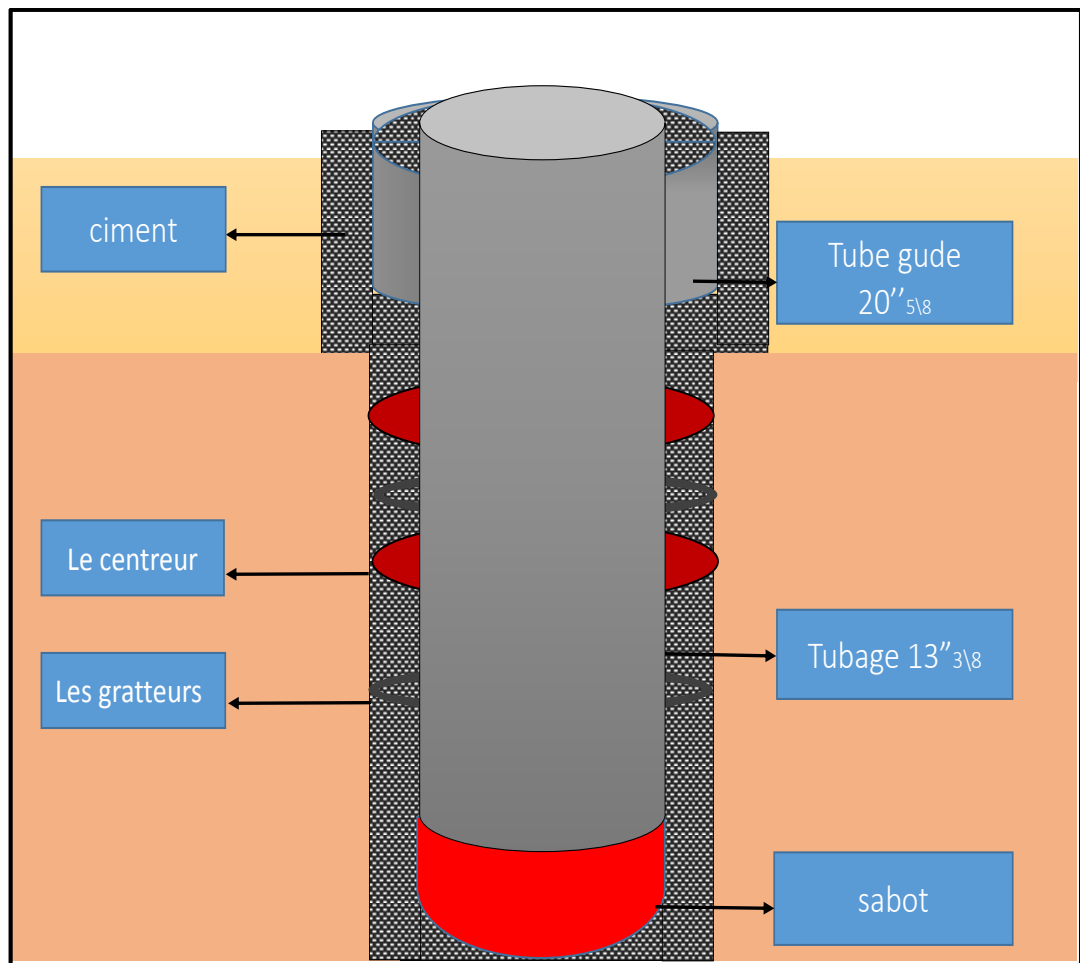


Figure II.11 : Cimentation de la colonne de production

II.3.4.7 Calcul de cimentation la Colonne de production :

		Résultats
Le volume nécessaire de laitier de ciment (V _L)	<p>V_L = volume de laitier de ciment nécessaire ;</p> <p>K₁ = coefficient dependant de la nature du terrain (présence de cavernes, fissures) (K₁ = 1,05 à 2) ;</p> <p>H = hauteur à cimenter dans l'espace annulaire (H= 103.62m)</p> <p>h₀ = hauteur de sécurité qui est de 10 à 20m.</p> <p>$V_L = 0,785[(K_1 \times D_{tr1}^2 - d_{exTub}^2) \times H + (K_1 \times D_{tr2}^2 - d_{exTub}^2) \times H + d_{intub}^2 \times h_0]$</p>	<p>V_L = 7 m³</p> <p>= 7000 L</p>
Quantité de ciment (Q _C)	<p>Q_C = quantité total de ciment ;</p> <p>100Kg _____ 99.5 L</p> <p>Q_C kg _____ 7000 L</p> <p>Q_C = 7000 × 100 / 99.5</p> <p>N sac = Q_C/50</p>	<p>Q_C=7035.17Kg=7.035 T</p> <p>N sac= 140 sac</p>
Volume d'eau de gâchage (V _{eau})	<p>100 kg _____ 66.5 L</p> <p>Q_C kg _____ V_{eau} L</p> <p>V_{eau} = 7035.17 × 66.5 / 100</p>	<p>V_{eau} = 4678.39 L</p> <p>V_{eau} = 4.678m³</p>

Tableau II.5 : Calcul de cimentation la Colonne de production

Résultats de cimentation la Colonne de production

Profondeur	V _L (m ³)	Q _c (sac)	V _{eau} (m ³)	d
0m à 103.62m	7	140	4.678	1.7 ou à 1.8

Tableau II.6 : Résultats de cimentation la Colonne de production

Remarqué : Attente prise de ciment pendant 48 heures

II.3.5 Phase III : Colonne de captage

- ✓ -**Tube plein de réserve**, de 81.25m à 87.1 (soit 5.85) 01 soit T.P-
Cimentation de la colonne de tubage Casing API Ø 13 3/8'' de la surface à 103.62m sur tout son espace annulaire(17''½ x 13''3/8) (par pression) densité de laitier de ciment est 1,7 le volume est 7m³, la quantité de ciment sec est 7t équivalent à 140sacs de 50kg type HRS ;
- ✓ -**Tube pleins** de 95.2m à 101.4m (soit 6.2) soit 01 T.P
- ✓ -**Crépines Johnson** slot 20, de 101.4m à 119.1m (soit 17.7m) soit 03 T.C
- ✓ -**Tube pleins** de 119.1 m à 143.9m (soit 24.8 m) soit 04 T.P
- ✓ -**Crépines Johnson** slot 20, de 143.9 m à 197 (soit 53.10) soit 09 T.C
- ✓ -**Sabot** de décantation (soit 3 m) un tronçon de T.P



Figure II.12 : Tube pleins et Crépines

Profondeur (m)	caractéristique des tubes	QUANTITES
95.2m à 101.4m	Tube pleins	1
101.4m à 119.1m	Crépines Johnson	20
119.1 m à 143.9m	Tube pleins	4
143.9 m à 197m	Crépines Johnson	20
197m à 200m	Sabot	1

Tableau II.7 : Colonne de captage

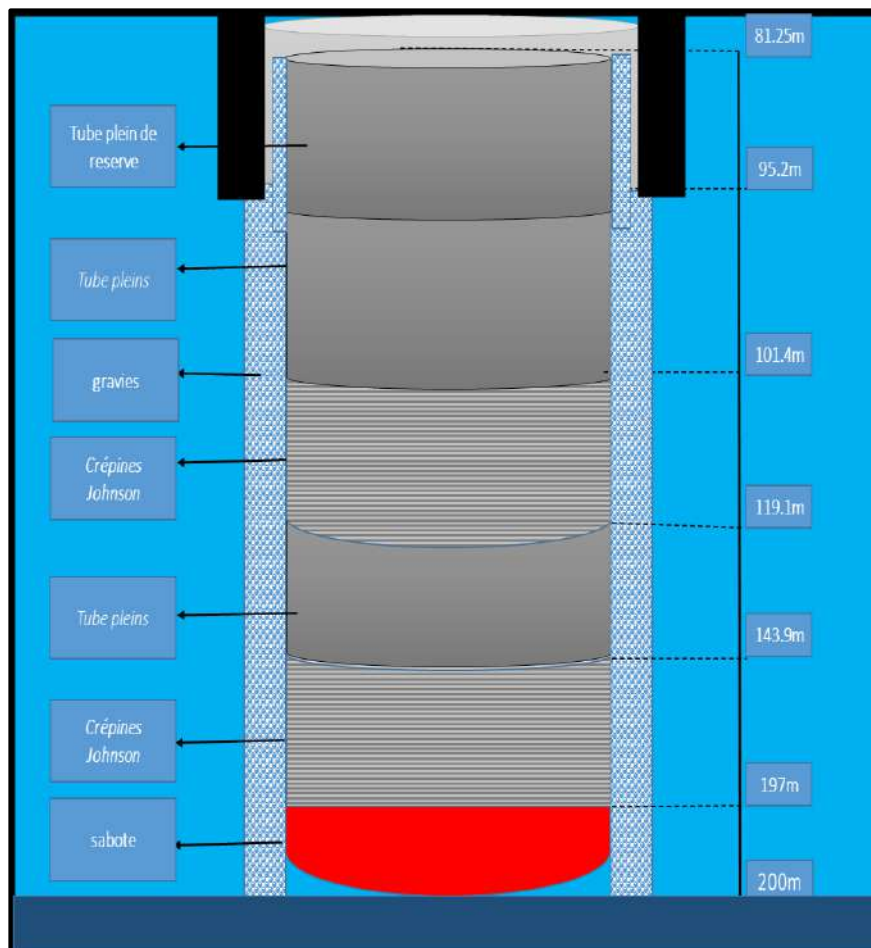


Figure II.13 : Mise En Place du Tube Plein et Crepines

II.3.5.1 Gravillonnage et mise en place de massif filtrant :

Le massif du gravier additionnel (massif filtrant ou MGA) :

Le massif filtrant doit être non seulement calculé mais aussi bien choisi pour ne pas épuiser trop d'énergie surtout durant l'exploitation. Pour répondre aux exigences des différents traitements en cours de développement ou ultérieurs du forage, cet élément doit bénéficier d'une attention durant le choix est surtout lors de sa mise en place.

Un gravier roulé, siliceux, évidemment lavé et criblé est le plus imposé et préféré, autrement les performances diminuent hors de ce choix. La teneur en matériaux calcaire ne dépassant pas les 5 %, celui concassé non plus, de même pour les particules d'anhydride ou de gypse, tout cela peut nuire à la longévité et à la capacité du forage, vu l'inconvenance de ce matériaux avec les différents traitements chimiques qui peuvent être utilisés dans ce dernier.

Une épaisseur tendant vers les huit pouces pour assurer et la filtration et le support. Pour notre cas il peut s'agir d'un support et d'un filtre (nappe de sable grossier). Ce massif est mis en place de deux méthodes différencies soit par circulation ou par gravitation. Le choix est donc en fonction de la disponibilité des moyens sur les lieux.

II.3.5.2 Calcul Diamètre et volume totale de gravier :

Mise en place d'un volume de 04m³ de massif filtrant constitué de graviers siliceux roulés, diamètre de 4 à 7mm, de 95.2 à 200 mètres.

<p>Calcul du volume de massif filtrant</p>	<p>$V_{gv} = 0,785 [((12^{1/4})^2 - (8^{5/8})^2) \times H]$ $V_{gv} = 0,785 [((0.3111)^2 - (0.2190)^2) \times 9.52]$ $V_{gv} = 0,785 [(0.0967 - 0.0479) \times 95.2]$ $V_{gr} = 3.645 \text{ m}^3$ $V_{gr} = 0,785 [((13^{3/8})^2 - (8^{5/8})^2) \times H]$ $V_{gr} = 0,785 [((0.3397)^2 - (0.2190)^2) \times 8.42]$ $0,785 [(0.1153 - 0.0479) \times 8.42]$ $V_{gr} = 0.445 \text{ m}^3$</p>
<p>Calcul du volume de massif filtrante</p>	<p>Volume gravie totale = $V_{gv} + V_{gr}$ Volume gravie totale = $3.645 + 0.445$ Volume gravie totale = 4m^3</p>

Tableau II. 8: Calcul Diamètre et Volume Totale de Gravier

Diamètre et Volume totale de gravier :

Profondeur (m)	Diamètre de gravier (mm)	Volume totale (m ³)
95.2 à 200	4 à 7	4

Tableau II.9 : Diamètre et Volume totale de gravier

II.3.6 Fiche Technique du forage Hai 45 Mai 1945 Frane Siège N'Goussa :

Forage Hai 45 mai 1645 Frane siège N'Goussa

Lieu : Siège Hai 45 Mai 1945 Frane /Commune : N'Goussa / Coordonnées géo. :

X=05°18'00'' Y=32°13'48'' Z=128m

Maitre d'ouvrage : APC de N'Goussa Suivi technique : ANRH-EPIC DRSE /Ouargla

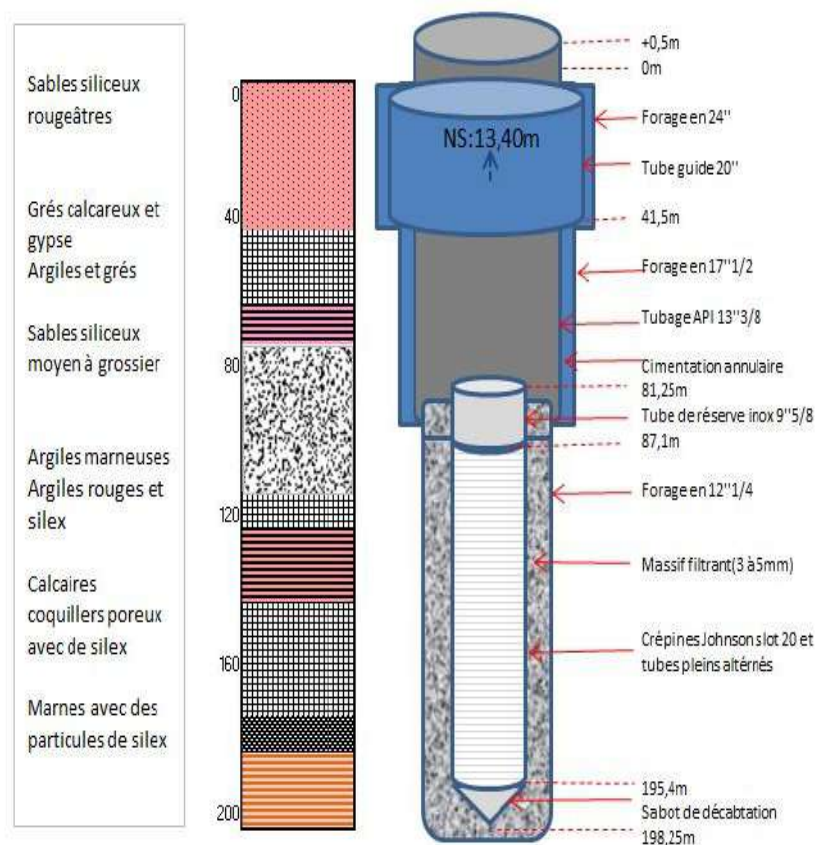


Tableau II.10: Fiche Technique

DESIGNATION	UNITE	QUANTITES
Installation et repli du chantier	1	1
Tube guide Ø20 ^{5/8} API	Mètres	15
Forage de reconnaissance en outil Ø12 ^{1/4}	Mètres	200
Enregistrements diagraphiques :	Mètres	de 0 à 200
Elargissement et alésage du trou en Ø17 ^{1/2}	Mètres	103.6
Pose d'une colonne de production API 13 ^{3/8}	Mètres	103.6
Pose d'une colonne de captage en inox 8 ^{5/8} d'une longueur totale de : Longueur total des crépines Johnson Slot 20 Longueur total des tubes pleins inox 8 ^{5/8}	Mètres	104.8 (20tubes) 70.8(12TC) 34(05TP+3m)
Cimentation de l'espace annulaire Ø17 ^{1/2} 13 ^{3/8} : Volume du laitier de ciment injecté, d=1,7 à 1,8 Quantité de ciment sec type HRS	Mètre m ³ Tonne	103.6 07 7.2
-Gravillonnage : Mise en place d'un volume de massif filtrant, diamètre de 3 à 7mm de 95.2à 200 mètres	m ³	4

Tableau II.11: Travaux de forage

II.4 Conclusion

Le rotary est une méthode de rotation et broyage. La machine rotary se compose de 3 systèmes majeurs, le système de rotation, système de circulation, et le système de levage. Avant tout travail de terrain, les travaux de laboratoire sont nécessaires telle que la prospection géologique et structurale qui sont indispensables pour l'implantation du forage.

Le forage Forage Hai 45 mai 1645 Frane siège N'Gouça selon la méthode de rotary. Après l'installation du tube guide de $\text{Ø}20^{5/8}$ API de diamètre sur une profondeur de 15 m, l'entreprise a commencé le forage de reconnaissance à l'aide d'un trépan en outil $\text{Ø}12^{1/4}$ sur une profondeur de 200 m avec un échantillonnage effectué chaque 1 mètre, suivie d'une prospection diagraphique pour identifier les niveaux aquifères.

Par la suite, le forage a été élargi à l'aide d'un outil de $\text{Ø}17^{1/2}$ de diamètre, la phase d'élargissement de l'ouvrage a été suivie par la mise en place du tubage et du massif filtrant. Les tubes crépinés ont été déposés.

CHAPITRE -III : Développement et Les essais par pompage

III.1 Introduction :

Le développement peut réparer les dommages que le processus de forage a causés à l'aquifère adjacent, développer l'aquifère (accroître la transmissivité) et améliorer le rendement du forage. Le développement se fait à l'aide d'un dispersants (hexamétaphosphate), de l'acide, d'un nettoyage mécanique et d'un compresseur par air lift.

Le développement d'un forage comprend toutes l'opération qui tendent à retire de la formation les éléments les plus fins et ainsi à nettoyer. Développement : en élargissant ou en ouvrant les passages d'eau afin de la faire pénétrer plus librement dans l'ouvrage. Le développement est une opération réservée aux forages dans les roches meubles pour lesquels il procure les capacités maximums et il en découle trois (03 heureux) résultants :

- ✓ Il corrige toute perturbation ou colmatage qui auraient pu être provoqués dans la formation durant le forage.
- ✓ Il augmente la porosité et la perméabilité de la formation au voisinage du forage donc (augmente le débit de l'ouvrage).
- ✓ Il stabilise la formation sableuse autour de la crépine de telle sorte que le forage débite une eau limpide (exemple de matière en suspension).

Pour diminuer le pourcentage des particules fines, on met en place du gravier filtre calibré. De cette manière, on enveloppe la crépine d'une gaine filtrante naturelle, dont la finesse des constituants augmente régulièrement vers la périphérie.

Les grains de sable sont en effet d'autant plus difficiles à déplacer qu'ils se trouvent plus éloignés de sa paroi, il se produit une diminution centrifuge (des crépines vers le terrain) du diamètre des grains qui crée un excellent filtre à sable, les grains les plus fins étant maintenus éloignés des grands pores existant entre les éléments grossiers.

Il en résultant un accroissement régulier du diamètre des canicules depuis le terrain naturel jusqu'aux orifices de la crépine, qui diminue les pertes de charge, permet une accélération progressive des filets d'eau et s'avère en définitif très favorable au drainage

Même des terrains peu perméables à granulométrie fine. Pour opérer un bon développement trois choses sont nécessaires :

Les ouvertures de la crépine doivent être en forme de {V} (crépine Johnson), pour faciliter le passage des éléments fins sans qu'ils s'agglutinent.

Un mouvement d'agitation capable d'entraîner dans la crépine les éléments fins.

Ces éléments ainsi introduits dans le forage doivent être extraits par cuillère ou tout autre procédé convenable.

III.2 Développement du forage Hai 45 mai 1645 Frane siège N'Gouça et 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.

Développement du forage à "l'air lift" en utilisant un compresseur de 17 bars de puissance et une pression de service de 15 bars pendant une durée de 36 heures.

On note que le développement à été continu par pompage (par pompe immerger) pendant 72 heure. A la fin de l'opération l'eau obtenue est claire, dépourvue de toutes particules en suspension.

III.3 Les essais par pompage :

Les essais de pompage L'essai de pompage consiste à abaisser par pompage la surface piézométrique de la nappe et à mesurer, en fonction du temps, les variations du niveau de cette surface ainsi que le débit pompé. L'essai de pompage par palier permet de déterminer les caractéristiques de l'ouvrage (débit d'exploitation), cependant, l'essai de longue durée est réalisé pour estimer les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe captée par l'ouvrage d'essai (transmissivité et coefficient d'emménagement). La réalisation de cette opération nécessite une pompe électrique immergée, un débitmètre pour contrôler le débit de pompage, tuyauterie pour évacuer l'eau loin du forage. On a procédé en deux étapes à un essai de pompage par paliers et un essai de pompage de longue durée.

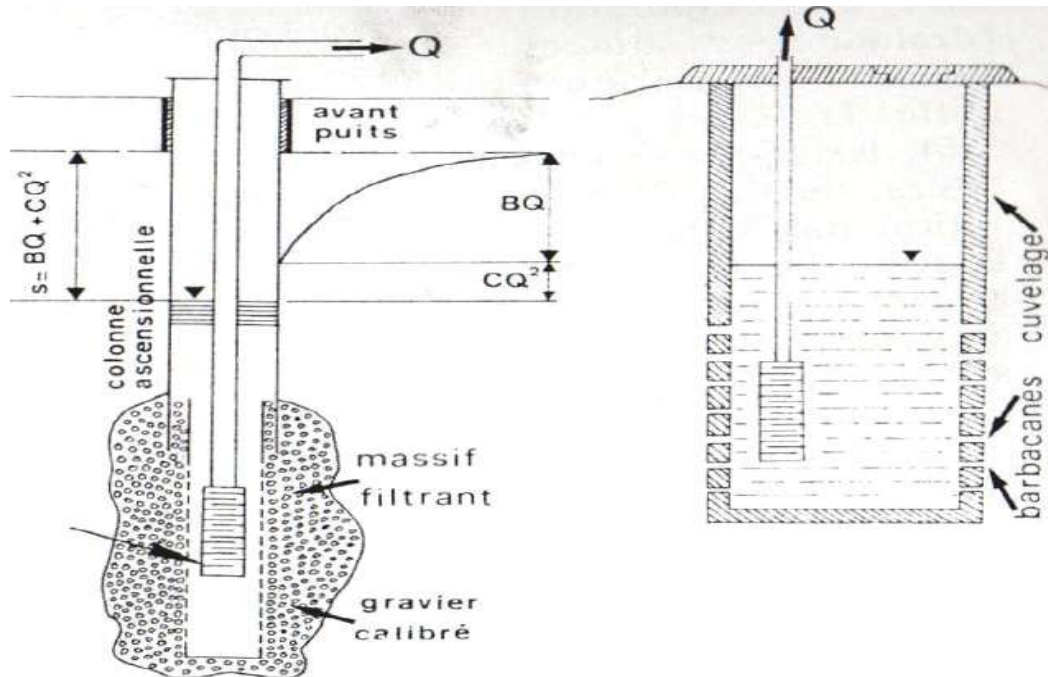


Figure III.1: Complexe aquifère/ouvrage de captage. Équipement technique des puits et sondages. Signification des pertes de charge.

III.3.1 Essai à blanc :

Un essai à blanc a été effectué pendant trois heures, le niveau statique obtenu est 30 mètres. Une pompe de 30 ch., calée à la cote de 78 mètres

On remarque que le régime permanent a été atteint rapidement lors de cet essai avec un niveau dynamique définitif 61.20 m.

Les résultats de l'essai à blanc sont comme suite:

✓ Débit max : 28 l/s, Niveau dynamique : 61.20 m, Rabattement : 31.2m

-Débit spécifique : 0.9 l/s/m

-Le niveau statique est stabilisé à 30 mètres

III.3.2 Essai de pompage par paliers :

Il s'effectue en réalisant des paliers de débit constant pendant une courte durée. On mesure le rabattement de chaque palier ainsi que le débit.

Chaque palier est suivi par un arrêt d'une durée égale celle du pompage, permettant la remontée du niveau d'eau. Les tableaux ci-dessous récapitulent les résultats de l'essai de pompage par paliers du forage ($N_s = 30m$).

TABEAU 1 :ESSAI DE POMPAGE PAR PALIERS

III.3.3 Essai de pompage de longue durée :

Essai Par Palier								Date : 26/01/2023			
N° Forage : forage Frane								Réalisé le: 26/01/2023			
Niveau pose de la pompe = 78 m								NS/Tubage = 30 m			
Débit de pompage = 28 l/s								T/Sol = 29.7 m			
ND/Tubage = 61.20 m								Temps réel =			
Temps réel= 4h				Temps réel =4h				Temps réel =4h			
Palier N°01 Q = 8 l/s				Palier N°02 Q = 16 l/s				Palier N°03 Q = 24 l/s			
DESCENTE		REMONTEE		DESCENTE		REMONTEE		DESCENTE		REMONTEE	
T (mn)	ND (m)	T (mn)	ND(m)	T (mn)	ND (m)	T (mn)	ND (m)	T (mn)	ND (m)	Temps (mn)	ND (m)
0	30	0		0	30	0		0	30	0	
1	50	1		1	50	1		1	50	1	
2	54	2		2	55	2		2	56	2	
3	56.1	3		3	58	3		3	57.75	3	
4	58	4		4	58.1	4		4	58.81	4	
5	58.6	5		5	58.55	5		5	59	5	
7	58.9	7		7	58.75	7		7	59.33	7	
9	59.1	9		9	59	9		9	59.58	9	
11	59.2	11		11	59.3	11		11	59.78	11	
13	59.21	13		13	59.33	13		13	59.81	13	
15	59.3	15		15	59.49	15		15	59.92	15	
20	59.44	20		20	59.58	20		20	60.04	20	
25	59.5	25		25	59.59	25		25	60.39	25	
30	59.54	30		30	59.78	30		30	60.58	30	
40	59.7	40		40	59.83	40		40	60.61	40	
50	59.71	50		50	59.86	50		50	60.64	50	
60	59.73	60		60	59.92	60		60	60.69	60	
75	59.78			75	60			75	60.75		
90	59.79			90	60.14			90	60.79		
120	59.81			120	60.19			120	60.83		
150	59.86			150	60.26			150	60.88		
180	60			180	60.31			180	60.98		
210	60.1			210	60.35			210	61		
240	60.19			240	60.48			240	61.16		

Ce type d'essais est exécuté à un seul palier de débit constant ($Q = 28 \text{ m}^3/\text{h}$, $N_s = 30 \text{ m}$) pendant 48 heures. La remonté du niveau d'eau doit être observée pendant une durée égale, les tableaux suivants montrent les résultats de l'essai de pompage de longue durée.

Temps réel = 48h						
Palier N° Constant Q max = 28 l/s						
DESCENTE				REMONTÉE		
T (mn)	ND (m)	Débit	T(m)	ND(m)	Temps (mn)	ND (m)
0	30		1560		0	61.2
1	50		1680		1	34.1
2	55		1800		2	34
3	58.04		1920		3	32.4
4	58.63		2040		4	31.9
5	58.68		2160		5	31.6
7	59.36		2280		7	31.6
9	59.59		2400		9	31.55
11	59.68		2520		11	31.5
13	59.73		2640		13	31.45
15	59.79		2760		15	31.39
20	59.86		2880		20	31.2
25	59.94				25	30.59
30	60				30	30
40	60.03				40	30
50	60.41				50	30
60	60.41				60	30
75	60.52				75	30
90	60.54				90	30
120	60.61				120	30
150	60.62				150	30
180	60.85				180	30
210	61.07				210	30
240	61.15				240	30
300	61.2				300	30

360	61.2				360	30
420	61.2				420	30
480	61.2				480	30
540	61.2				540	30
600	61.2				600	30
660	61.2				660	30
720	61.2				720	30
780	61.2				780	
840	61.2				840	
900	61.2				900	
960	61.2				960	
1020	61.2				1020	
1080	61.2				1080	
1140	61.2				1140	
1200	61.2				1200	
1260	61.2				1260	
1320	61.2				1320	
1380	61.2				1380	
1440	61.2				1440	

Tableau III.1 : Essai de pompage de longue durée.

Les résultats des essais par palier :

Paliers	Durée(h)	Débit (l/s)	N.D (m)	Rabattement s(m)
1 ^{er}	4	8	60.19	30.19
2 ^{eme}	4	16	60.48	30.48
3 ^{eme}	4	24	61.16	31.16
Longue durée	48	28	61.20	31.20

Tableau III.2 : Les résultats des essais par palier

III.3.4 La courbe caractéristique

Débit (l/s)	8	16	24	28
Rabatement s(m)	30.19	30.48	31.16	31.20
Rabatement spécifiques s/Q (m ² /S)	3773.5	1905	1298.33	1114.29

Tableau III.2: courbe caractéristique

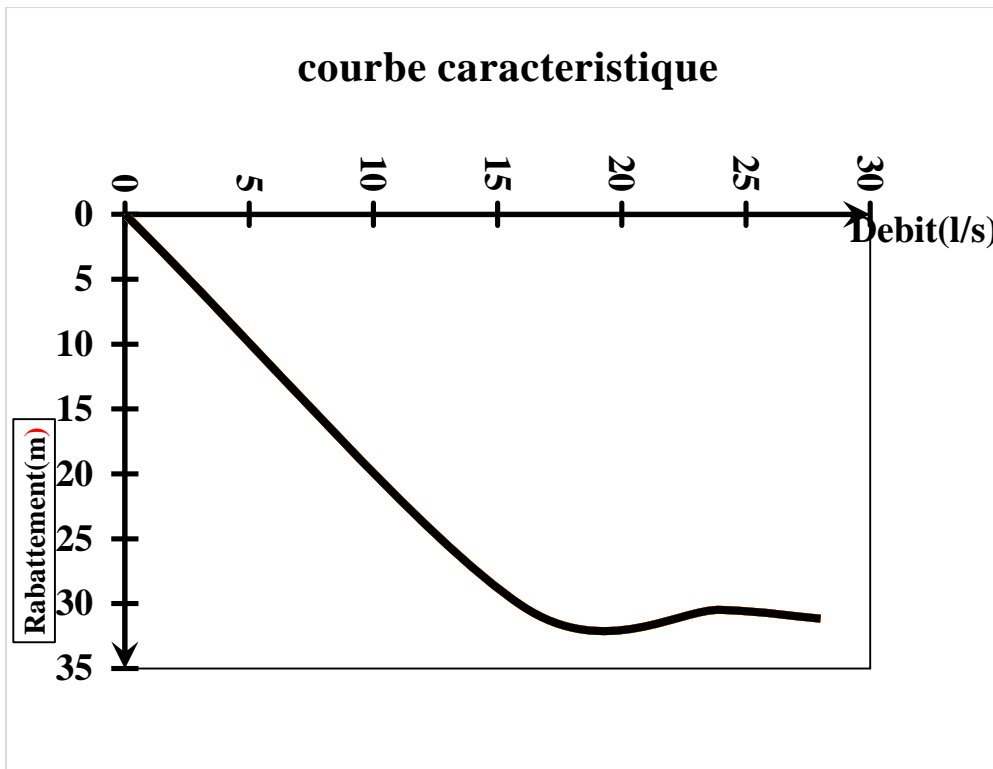


Figure III.2 :courbe caractéristique

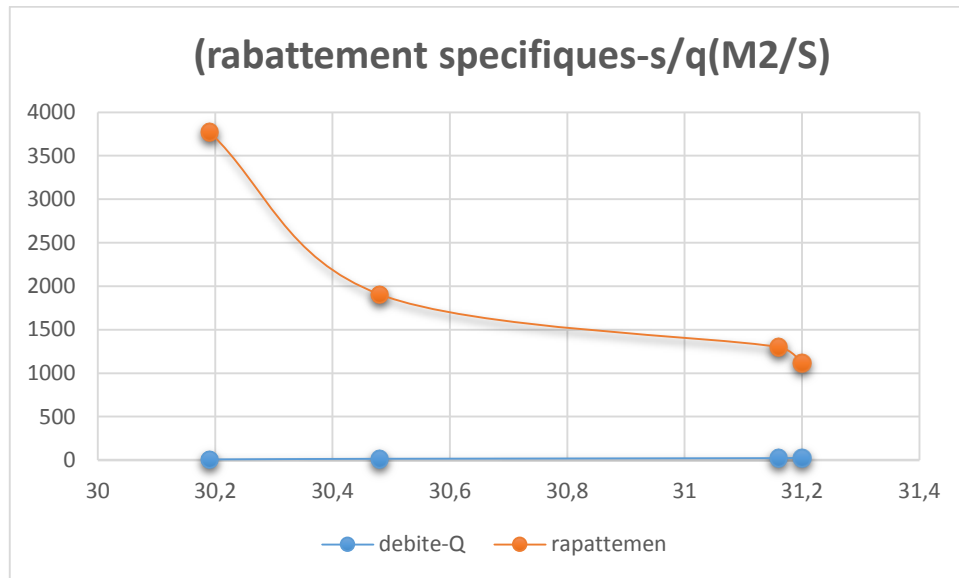


Figure III.3 : courbe de rabattement spécifiques-s/q(M2/S)

III.4 Évaluations des pertes de charges linéaires et quadratiques C et B :

L'expression de Jacob représente l'équation de la courbe caractéristique et permet de calculer les pertes de charges de l'ouvrage.

Le droit débit / rabattement spécifique permet de déterminer à partir du graphique les coefficients B et C de l'équation

$$s = BQ + CQ^2$$

La valeur de « B » pour $x=0$ et « C » à partir de la pente de la droite $C = x/y$. La valeur de **B=0,301** qui représente les pertes de charges linéaires provoquées par l'écoulement laminaire dans l'aquifère au voisinage du puits (la nappe, massif filtrant et la zone avoisinant), la valeur de

C= 1,86 x 10⁻³ représente les pertes de charges quadratiques, provoquées par l'écoulement turbulent dans l'ouvrage, les crépines et le tubage.

Donc $B > C$ ce qui indique que les pertes de charges linéaires sont dominants.

Après ces résultats l'expression de Jacob, s'exprimerait sous la forme :

$$s = 0,301x Q + 1,86.10^{-3} x Q^2$$

III.5 Conclusion :

Une étape de développement était nécessaire pour nettoyer le forage et procéder aux essais de pompage.

L'essai de pompage par palier a permis de calculer un débit critique égale à m^3/h . par ailleurs, la transmissivité de la nappe a été estimée à m^2/d selon l'interprétation de l'essai de longue durée.

Un essai à blanc à été effectué pendant trois heures, le niveau statique obtenu est 30 mètres. Une pompe de 30 ch., calée à la cote de 78 mètres

On remarque que le régime permanent a été atteint rapidement lors de cet essai avec un niveau dynamique définitif 61.20 m.

Les résultats de l'essai à blanc sont comme suite :

- ✓ Débit max : 28 l/s, Niveau dynamique : 61.20 m, Rabattement : 31.2m
- ✓ Débit spécifique : 0.9 l/s/m
- ✓ -Le niveau statique est stabilisé à 30 mètres
- ✓ Un échantillon d'eau prise juste avant l'arrêt des essais de pompages a fait objet d'une analyse partielle dont les valeurs sont :

Conclusion générale

Conclusion générale

La gestion rationnelle des ressources en eau est l'une des conditions dont dépend l'avenir d'une civilisation en pleine croissance technologique et démographique.

En particulier, l'application des techniques de forage d'eau contribue à exploiter les ressources hydrogéologiques en fonction de réalités économiques et écologiques devenues prioritaires. Cet ouvrage réunit l'ensemble des données requises pour la compréhension et l'exploitation de ce rapport. À vocation essentiellement pratique, il met l'accent sur les applications et expérimentations sur le terrain. À la lumière de notre travail ou au moment de la recherche bibliographique, nous avons conclu que les forages sont des ouvrages hydrotechniques réalisés par des professionnels pour la mise en valeur des eaux profondes. Le forage qui permet de capter les eaux profondes inaccessibles à partir des moyens traditionnels, apparaît comme une alternative, donc une stratégie d'adaptation au contexte actuel de changement climatique.

Le forage Hai 45 mai 1945 selon la méthode de rotary. Après l'installation du tube guide de 020"5/8 API de diamètre sur une profondeur de 15 m, l'entreprise a commencé le forage de reconnaissance à l'aide d'un trépan en outil 01214" sur une profondeur de 200 m avec un échantillonnage effectué chaque 1 mètre, suivie d'une prospection diagraphique pour identifier les niveaux aquifères.

Par la suite, le forage a été élargi à l'aide d'un outil de 01712 de diamètre, la phase d'élargissement de l'ouvrage a été suivie par la mise en place du tubage et du massif filtrant. Les tubes crépines ont été déposés.

Les résultats de l'essai à blanc sont comme suite.

- Débit max: 28 l/s, Niveau dynamique : 61.20 m, Rabattement: 31.2m
- Débit spécifique : 0.9 l/s/m
- Le niveau statique est stabilisé à 30 mètres

Un échantillon d'eau prise juste avant l'arrêt des essais de pompages a fait objet d'une analyse partielle dont les valeurs sont:

CHIMIE

{ pH 6.85 \ Conductivité électrique : 3.57 ms/cm Résidu sec: 2690 mg/l }

Conclusion générale

{Résultats de cimentation (tube guide): (Le volume nécessaire de laitier de ciment 1.145m^3
Quantité de ciment=23sac Volume d'eau de gâchage= 0.765m^3). }

{en profondeur 103.62m, résultats de cimentation la Colonne de production : (le volume
nécessaire de laitier de ciment 7m^3 , Quantité de ciment=140sac Volume d'eau
de gâchage= 4.678m^3 ,d=1.7). }

Références bibliographique

Références bibliographique

Références bibliographique

1. Guide d'application de l'arrêté interministériel du 11/9/2003 relatif à la rubrique 1.1.0 de la nomenclature eau : sondage, forage, puits, ouvrage souterrain non domestique 27 Fiche 6 b – Conditions techniques de réalisation d'un forage.
2. Bernhard, J.P. (1955). "Cours de forage tome I : historique et principe du forage - standard A.P.I."
3. Ciments et laitiers (2006). Copyright ENSPM Formation Industrie – IFP Training.
4. Full equipement, document EMEC.
5. Lauga, R. (1990). "Pratique du forage d'eau". Edition Sésame.
6. Mabillot, A. (1988). "Le forage d'eau". Edition Johnson Filtration System.
7. ANRH : Rapport de fin des travaux forage d'AEP HAI 08 mai 1945 AFrane, commune de N'Goussa.