



République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA

Faculté des sciences appliquées

Département de Génie Civil et Hydraulique

Domaine : Science et Technologie

Filière : HYDRAULIQUE

Spécialité : Forage D'eau

Présenté par :

Telli Kaouther

-THÈME-

**Elaboration d'étude de suivi technique de la
réalisation d'un forage d'eau (Cas : Hay Sidi
Boughoufala – W – Ouargla).**

Soutenu publiquement le : 06/06 /2026

Devant le jury :

DJEBARI HACENE	MAA	UKM Ouargla	Présidente
MANSOURI ZINA	MCA	UKM Ouargla	Examinatrice
MAHI RACHID	MAA	UKM Ouargla	Encadreur

Promotion : 2025-2026

Résumé : La rareté de l'eau potable à la surface de la Terre oblige les humains à satisfaire leurs besoins en exploitant des sources de forage souterraines qui assurent les besoins en eau des secteurs résidentiels et industriels.

Ce travail de mémoire de fin d'étude s'articule autour de trois axes principaux. Le premier axe spécifiquement sur les techniques de forage. Le deuxième décrit la zone d'étude (Ouargla) en termes de climat, de caractéristiques géologiques, d'hydrogéologie et de ressources en eau de base. Le troisième est le dernier axe qui détaille les étapes du forage d'un puits par la technique du forage rotatif. Cette technique comprend plusieurs phases : préparation du site, forage du guide, forage jusqu'à la source, installation de la crépine, installation du tubage, injection de ciment et essais de débit. Le processus de forage a permis d'identifier et de comprendre les caractéristiques hydrauliques et techniques d'un puits profond destiné à renforcer le réseau d'eau potable de la zone de Sidi Boughoufala, dans la Wilaya d'Ouargla. Ce puit présente une profondeur de 207 mètres et un débit de 22 litres par seconde.

Mots-clés : forage, suivi, aquifère, ressources en eau, exploitation, forage rotatif, puits de Sidi Boughoufala, eau potable.

ملخص: ان نقصان المياه الصالحة للشرب على سطح الأرض تدفع الانسان الى تلبية حاجياته وذلك باستغلال مصادر الابار الجوفية التي تضمن احتياجات المائية لقطاعات السكانية والصناعية، بما في ذلك التقنية الدورانية.

تتركز هذه المذكرة على ثلاث محاور أساسية المحور الأول يذكر خاصية وتقنيات الحفر والمحور الثاني هو وصف لمنطقة الدراسة (ورقلة) من ناحية المناخ والخصائص الجيولوجية والهيدروجيولوجية والموارد الأساسية للمياه اما المحور الثالث والأخير فقد قمنا بمتابعة مراحل حفر بئر بتقنية الحفر الدوراني (تنظيم الموقع، حفر أنبوب التوجيه حفر حتى المنبع وضع المصفاة وضع الغلاف، ضخ الاسمنت واختبار التدفق).

سمحت لنا عملية متابعة حفر بئر بتحديد وفهم الخصائص الهيدروليكية والتقنية لبئر مخصص بتدعيم شبكة مياه الصالحة لشرب لمنطقة سيدي بوغوفالة بولاية ورقلة بعمق يبلغ 207م وتدفق يصل الى (22 ل /ثا).

الكلمات المفتاحية: حفر، متابعة، الطبقة الجوفية، مواد مائية، استغلال، الحفر الدوراني، بئر سيدي بوغوفالة، مياه صالحة لشرب.

Abstract: The scarcity of potable water on Earth compels humans to meet their needs by utilizing groundwater sources, which ensure the water requirements of residential and industrial sectors.

This destrich report focuses on three main axes. The first axis specifically addresses drilling techniques. The second axis describes the study area (Ouargla) in terms of climate, geological characteristics, hydrogeology, and basic water resources. The third and final axis details the stages of drilling a well using rotary drilling technology. This technique involves several phases: site preparation, guide pipe drilling, drilling to the source, casing installation, cement injection, and flow testing.

The well drilling process allowed us to identify and understand the hydraulic and technical characteristics of a 207-meter-deep well intended to reinforce the drinking water network in the Sidi Boughoufala area of Ouargla, and flow rate of 22 litres per second.

Keywords: drilling, aquifer, water resources, exploitation, rotary drilling, Sidi Boughoufala well, drinking water

Remerciements

Ce travail n'aurait pu voir le jour sans le soutien, les aides et les encouragements dont j'ai constamment bénéficié de la part de tous ce qui m'entourent.

Je tiens aujourd'hui à les en remercier. Ma reconnaissance va tout particulièrement :

En premier lieu à Allah le Tout - Puissant qui m'a donné la bonne volonté, le courage et la patience afin d'arriver à la réalisation de ce modeste travail.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon promoteur de mémoire Monsieur MAHI Rachid. Je le remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

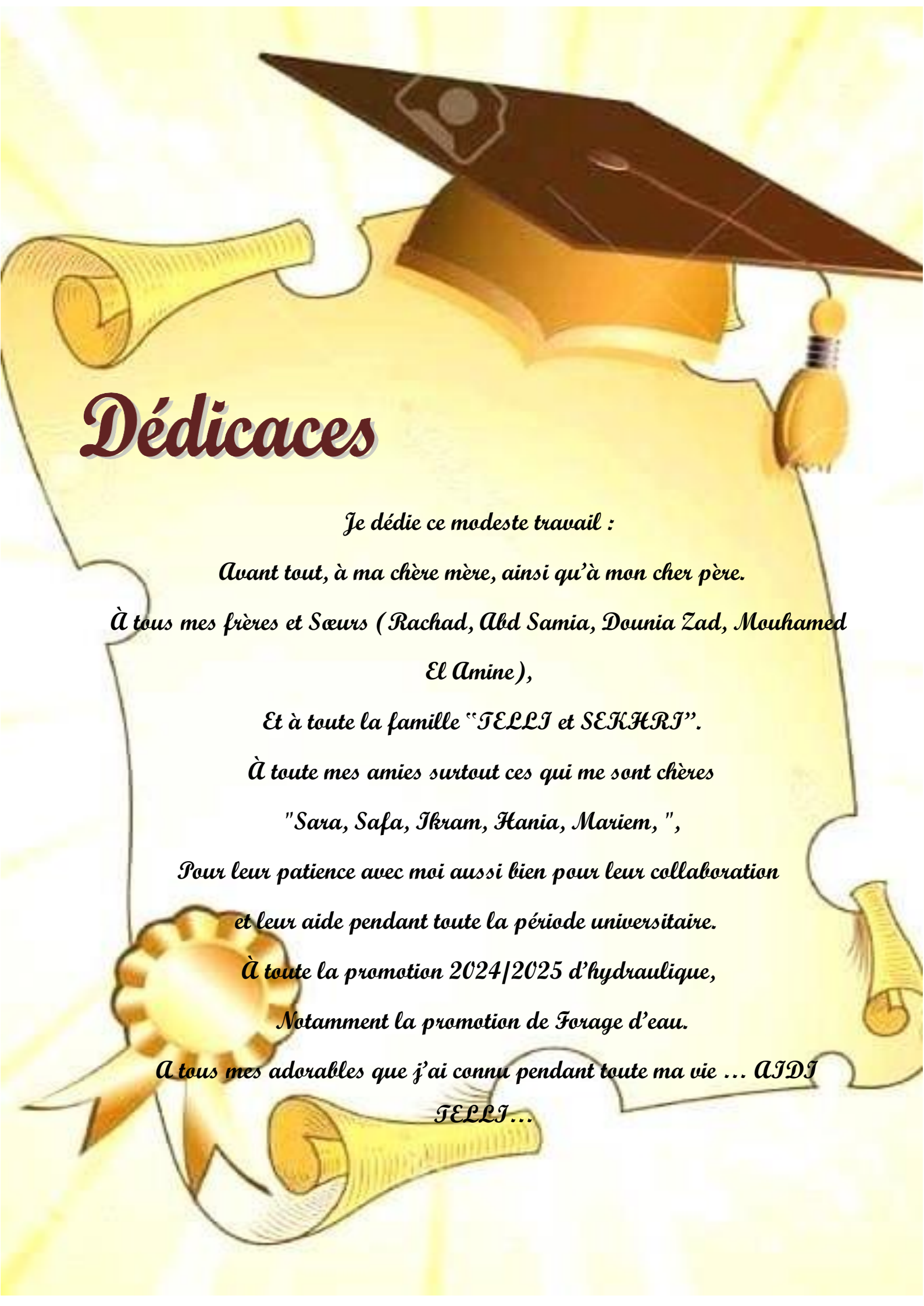
Et je n'oublierai jamais de remercier notre Co-promoteur monsieur ARIF Salim ingénieur d'état à l'ANRH Ouargla, de Je avoir guidé et suivi tous le long de ce travail, de Je avoir conseillé, encouragé.

Je tiens à exprimer mon respectueux et sincère remerciement à Monsieur DJEBARI Hacène qui a accepté de présider ce jury.

Je remercie Mlle...MANSCOURI Zina d'avoir accepté d'examiner ce travail de mémoire de Master.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes études.

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

Avant tout, à ma chère mère, ainsi qu'à mon cher père.

*À tous mes frères et Sœurs (Rachad, Abd Samia, Dounia Zad, Mouhamed
El Amine),*

Et à toute la famille "FELLI et SEKHRI".

À toute mes amies surtout ces qui me sont chères

"Sara, Safa, Ikram, Hania, Mariem, ",

*Pour leur patience avec moi aussi bien pour leur collaboration
et leur aide pendant toute la période universitaire.*

À toute la promotion 2024/2025 d'hydraulique,

Notamment la promotion de Forage d'eau.

À tous mes adorables que j'ai connu pendant toute ma vie ... AJDI

FELLI...

Sommaire

Résumé.....	I
Remerciements	II
Dédicaces	III
Liste des figures.....	VII
Liste des tableaux.....	VIII
Introduction Générale	1
Chapitre I : Technique De Forage	3
Introduction	4
1.1. Forages exploitation verticaux	4
1.2 Les méthodes de forage	4
1.3 Forage au marteau fond de trou (MFT)	4
1.4 Forage au marteau fond de trou avec tubage à l'avancement	7
1.5 Forage rotary	8
1.6 Forage rotary circulation directe	8
1.7 Forage en circulation inverse	10
1.8 Forage par battage	11
1.9 Forage par havage	12
1.10 Généralités sur le forage rotary :.....	13
1.10.1 Principe et description générale.....	13
1.10.2 Installation de forage	14
1.10.3 Équipements de Forage Rotary	14
1.10.4 Équipement de levage	15
Conclusion	20
Chapitre II : Présentation de la région d'étude.....	21
Introduction	22
2.1 Présentation de la région	22
2.1.1 Situation administrative et géographique	22
2.1.2. Localisation et délimitation du quartier Sidi Boughoufala	23
2.2 Géologie et hydrogéologie	24
2.3 Facteurs climatiques	25
2.3.1. Températures	25
2.3.2. La Pluviométrie	27
2.3.2. L'évaporation	28
2.3.3 Les vents	28
2.4 Besoins en eau	29

2.4.1 Identification des abonnés	29
2.4.2 Origine de l'eau et ressources (mobilisées)	30
Conclusion	30
Chapitre III : Proposition d'un programme de forage.....	31
Introduction	32
3.1 Situation géographique du forage	32
3.2. Technique de sondage	32
3.2.1 Déroulement des travaux	33
3.2.2 Préparation avant la descente du tubage	33
3.2.3 Recommandations pour la descente du tubage	33
3.2.4 Préparation de la cimentation	33
3.2.5 Recommandations pour la cimentation	33
3.2.6 Cimentation du tube guide	33
3.2.7 Selon les calculs de programme	34
3.2.7.1 Volume nécessaire du laitier de ciment	34
3.2.7.2 Quantité de ciment pour 1 m ³ de laitier	34
3.2.7.3 Densité du laitier de ciment	34
3.2.7.4 Poids total de ciment sec	35
3.2.7.5 Volume d'eau de gâchage	35
3.3 Volume de fluide de chasse	36
3.3.1 Troisième 3ème phase (12" ^{1/4} X 8" ^{5/8})	36
3.3.2 Préparation avant le forage	36
3.3.3 Risques potentiels	37
3.3.4 Limitation des problèmes de puits par	37
3.3.5 Préparation avant la descente de la colonne de captage	37
3.3.6 Recommandations pour la descente du tubage	38
3.3.7 Construction de l'avant puits	38
3.3.8 Reconnaissance en outil Ø12" ^{1/4} et analyse des cuttings	38
3.3.9 Enregistrements diagraphiques	39
3.3.10 Pose de la colonne de production API13" ³ / ₈ et la colonne de captage Inox Ø8 " ⁵ / ₈	39
3.4 Développement	39
3.4.1 Types de développement	39
3.4.2 Développement à l'air lift	40
3.4.3 Recommandation pour le développement	40
3.4.4 Après développement	40

3.4.5 Massif filtrant (Gravillonnage)	40
3.4.6 Volume nécessaire de Gravier (massif filtrant)	40
3.4.7 Préparation avant l'opération de mise en gravier	40
3.4.8 Recommandations pour la mise en gravier	41
3.5 Coupes lithologiques	41
3.6 Fiche Technique	42
3.7 Essais de Débit	42
3.7.1 Essai par Paliers	42
3.8 Analyse Chimique	44
3.8.1 Résultats obtenus	44
3.9 Comparaison de l'eau aux normes	45
Conclusion	45
Conclusion générale	46
Références bibliographiques	48
Annexes	51

Liste des figures

Figure	Titre	Page
Figure 1-1 :	Forage Vertical Pour Trouver De L'eau	3
Figure 1-2 :	Schéma D'un Marteau Fond-De-Trou	5
Figure 1-3 :	Schéma Simplifié D'une Installation De Forage Fond De Trou (MFT)	6
Figure 1-4 :	Illustration De La Méthode Rotary	7
Figure 1-5 :	Schéma Explicatif De La Circulation Directe	8
Figure 1-6 :	Exemple De Carottes Rocheuses	10
Figure 1-7 :	Exemples D'outil De Forage Carottier	10
Figure 1-8 :	Principe De La Technique De Forage Au Battage	11
Figure 1-9 :	Plateforme De Forage Rotary	13
Figure 1-10 :	Équipements De Forage Rotary	14
Figure 1-11 :	Circulation De La Boue	16
Figure 1-12 :	Les Outils A Lames	17
Figure 1-13 :	L'outil A Molette	18
Figure 1-14 :	Records (Tool-Joint)	19
Figure 2-1 :	Situation Géographique De La Wilaya De Ouargla	21
Figure 2-2 :	Situation De La Zone D'étude	22
Figure 2-3 :	Carte Géologique Simplifié	23
Figure 3-1 :	Carte D'implantation	31
Figure 3-2 :	Fiche technique	41

Liste des tableaux

Figure	Titre	Page
Tableau 2-1	Température Moyenne Mensuelle (2016-2021)	24
Tableau 2-2	Température Moyenne Mensuelle (2022-2025)	25
Tableau 2-3	Répartition Mensuelle Des Pluies	26
Tableau 2-4	Evaporation Mensuelle Moyenne	27
Tableau 2-5	Vitesse Des Vents Forts	28
Tableau 3-1	Coupe Lithologique	40
Tableau 3-2	Essai Par Palier	42
Tableau 3-3	Résulta obtenus	43
Tableau 3-4	Comparaison de l'eau aux normes	44

Introduction Générale

L'eau est un élément indispensable à la vie et revêt une importance pour de nombreuses activités humaines, 70% de la superficie de la terre est occupée par de l'eau mais avec seulement 2.2% de qualité douce dont 22% proviennent des eaux souterraines. Ces dernières représentent une excellente source d'approvisionnement en eau potable. Leur exploitation présente des avantages économiques appréciables du fait qu'elles ne nécessitent que peu de traitement voire aucun. Le maintien de cet avantage relatif requiert cependant que des mesures soient prises pour préserver de façon durable la qualité de cette ressource [7].

L'eau est universellement reconnue comme la source fondamentale de la vie. Aucun être vivant sur la planète ne peut subsister sans elle. Elle revêt une importance cruciale pour la santé humaine, le bien-être global et la préservation de l'écosystème. L'eau joue aussi un rôle très important dans les industries. Concernant les travaux de sondage pétroliers, l'alimentation en eau est nécessaire pour assurer un bon déroulement des travaux de sondage. Le mode d'alimentation en eau peut être effectué par citerne, ou par conduite depuis une source d'eau dans la région, mais le plus souvent par la réalisation d'un forage hydraulique [8].

Un forage appelé également forage à eau est le résultat d'un terrassement vertical, mécanisé (par forage, havage, etc.) ou manuel, permettant l'exploitation d'une nappe d'eau souterraine soit un aquifère. L'eau peut être remontée au niveau du sol grâce à un seau ou une pompe, manuelle ou non. Les puits sont très divers de par leur mode de creusement, profondeur, volume d'eau, ou équipement [9].

L'objectif de cette étude, est la réalisation d'un ouvrage de captage d'eau pour l'approvisionnement en eau de la zone du Hay Sidi Boughoufala.

Le plan de cette étude est structuré comme suit :

- ❖ En premier lieu une recherche bibliographie sur les différents types des forages et les ouvrages de captage d'eau sera entamée ;
- ❖ Deuxièmement, nous avons abordé dans le premier chapitre les différentes techniques et méthodes de forage, avec leurs définitions et leurs principes de fonctionnement, et un aperçu des avantages et des inconvénients de chaque technique sera fourni ;
- ❖ Troisièmement, nous avons abordé le deuxième chapitre pour présenter la zone d'étude de Sidi Boughoufala (localisation, géologie et hydrogéologie), wilaya de Ouargla ;

❖ Enfin, dans le troisième chapitre, nous avons abordé les étapes de mise en œuvre du processus de forage étudié (matériaux et méthodes), ainsi que la méthodologie de calcul des différents volumes de cimentation.

Cette étude sera achevée par une conclusion générale sur le suivi technique du forage destiné à l'AEP.

Chapitre I :
Technique De Forage

1. Technique de forage

Introduction :

Les techniques de captage des eaux souterraines classiquement mises en œuvre dans les milieux poreux et fissurés sont peu variées. Le choix de la technologie à adapter est en fonction non seulement de l'hydrogéologie (géométrie de l'aquifère, paramètres hydrodynamiques, potentialités) mais également des contraintes externes, comme la topographie, l'hydrographie, les risques de salinisation et de transfert de pollution depuis la surface, l'occupation des sols, les conditions d'exécution et les équipements. Enfin, l'ouvrage doit pouvoir être réalisé dans des conditions économiquement supportables [10].

1.1. Forages verticaux :

Les ouvrages verticaux sont les plus utilisés et les plus adaptés pour exploiter des aquifères poreux et relativement étendus. La majorité des aquifères fissurés sont également exploités à l'aide de ces ouvrages.



Figure1-1 : Forage vertical.

1.2 Les méthodes de forage :

Il existe de nombreuses méthodes de foration dont la mise en œuvre dépend de paramètres très divers. Le chapitre présente les méthodes de forages en tant que telles avec leurs Avantages et inconvénients relatifs. Le chapitre suivant précisera les modalités de sélection de ces méthodes selon les critères usuels pour le domaine de l'eau.

1.3 Forage au marteau fond de trou (MFT) :

Le marteau fond-de-trou (MFT), en anglais : down-the-Hoel drill (DTH), est un outil et une méthode de forage à percussion destiné aux sols durs et cassants comme le calcaire, le grès, le basalte. Il utilise comme fluide de forage de l'air comprimé à haute pression produit par un compresseur autonome et parfois l'eau qui permet de remonter les déblais de forage. Il réduit la roche en petits flocons de

1. Technique de forage

poussière. Le marteau pneumatique équipé d'un taillant 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 fond-de-trou ». Le marteau fond-de-trou est particulièrement efficace pour les forages de précision. En effet, comme la percussion se fait directement sur le trépan, les contraintes dans le mât de forage sont amoindries. De cette façon, le marteau de fond garde une trajectoire relativement stable comparativement à un forage avec un marteau de tête où la percussion au sommet du mât de forage peut occasionner de la vibration supplémentaire ou encore une flexion reprise par un moment de flexion dans le trépan.

1.3.1 Principe : 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 recherche hydrogéologique et principalement en terrains durs.

1.3.2 Avantages :

- Avancement rapide et profondeur d'investigations pouvant dépasser les 300 m de profondeur (fonction du diamètre et de la puissance du compresseur d'air) ;
- Bonne observation des cutines (coupe géologique) et des zones productrices ;
- Fluide de forage (air) bien adapté au forage d'eau en général de par l'absence de produit de foration (pas d'interférence entre la ressource et des boues ou de l'eau).

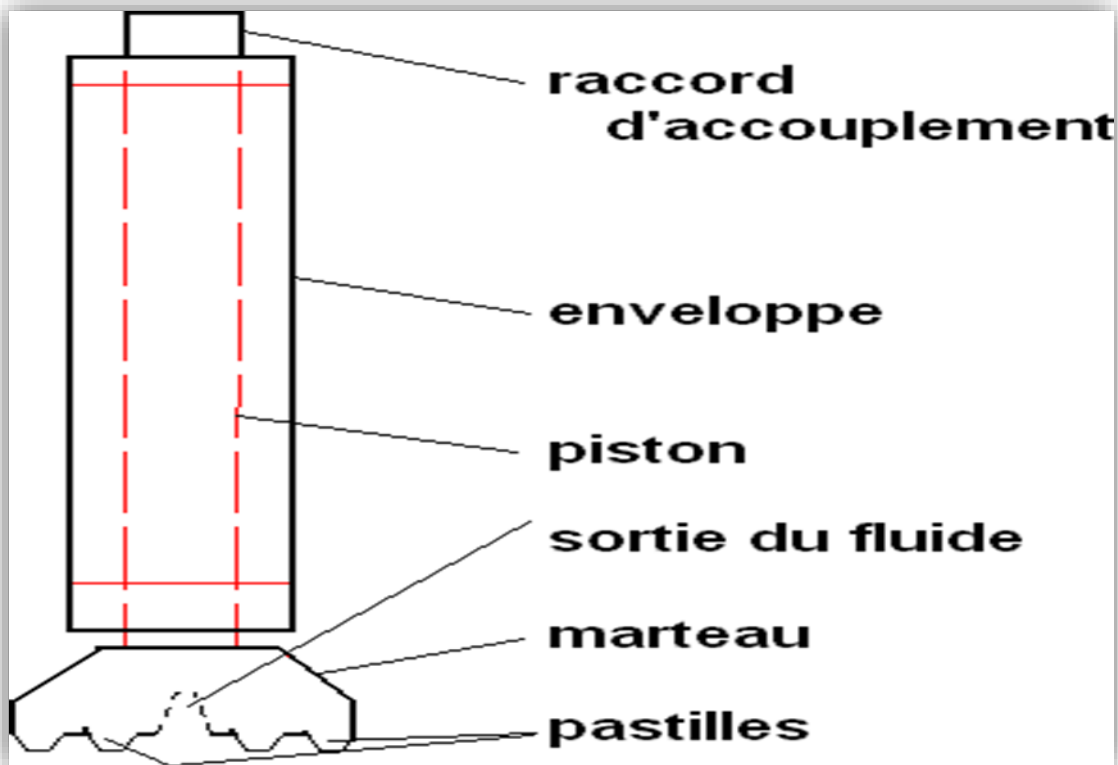


Figure 1-2 : Schéma d'un marteau fond-de-trou.

1.2.2 Inconvénient:

- Le fluide "air" peut perturber en forage les observations relatives à la qualité du fluide d'un niveau producteur par oxydation d'éléments ou en occultant des venues de gaz. La confirmation de la qualité du fluide (eau et gaz) d'un niveau producteur doit fréquemment être réalisée par pompage associé.
- Interprétation délicate du niveau de production d'un horizon reconnu (débit) par mesure en soufflage (air lift) à l'aide de l'équipement de forage. Les données obtenues en forage MFT, quant aux débits des horizons traversés, doivent être prises en compte avec réserve.
- Il convient de considérer que les débits obtenus en fonction à l'air sont toujours optimistes procédé peu adapté dans les terrains non consolidés ou plastiques.
- Risque de formation de bouchons de cutines, nécessitant de fréquents nettoyages du trou par soufflage. Ce phénomène n'existe pas lorsque l'ouvrage est totalement sec ou lorsque le débit des niveaux producteurs est suffisant pour permettre un bon nettoyage par circulation
- Nécessité d'utilisation de compresseurs très puissants voire de surpresseurs en cas de forage sous des hauteurs d'eau importantes.

1. Technique de forage

- Mauvaise identification de chaque niveau producteur en cours de forage, le fluide recueilli en tête d'ouvrage intégrant l'ensemble des horizons traversés.
- Il convient de noter que la forage 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 cutines. S'agissant d'un contexte "eau ", le choix d'une mousse "inerte" doit être une préoccupation pour l'opération.

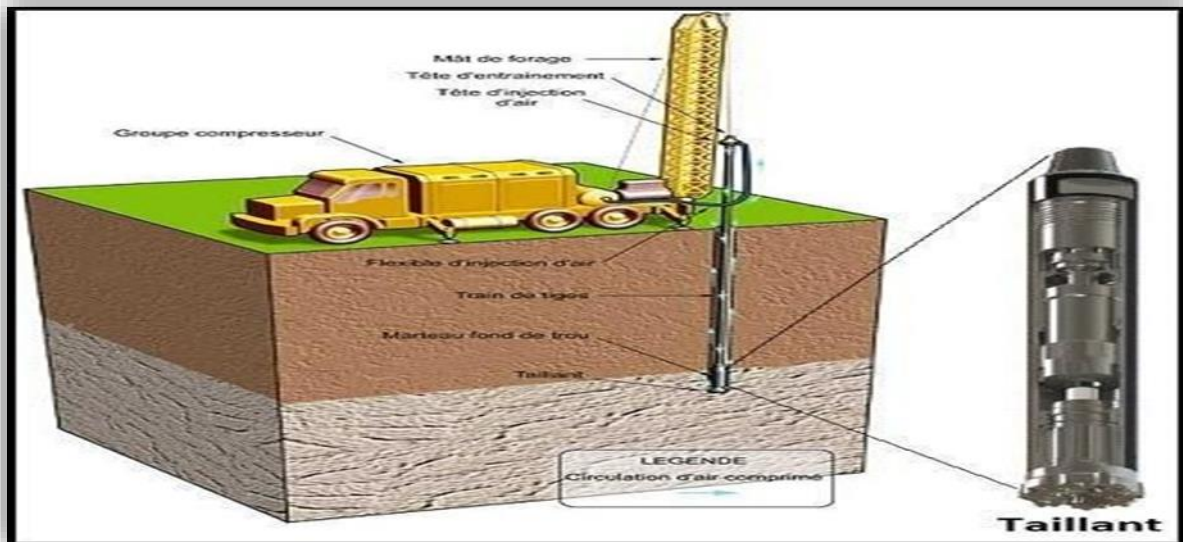


Figure 1-3 : schéma d'une installation de forage fond de trou (MFT).

1.4 Forage au marteau fond de trou avec tubage à l'avancement :

1.4.1 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 son forage.

Elle met en œuvre un taillant pilote avec aléreur 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'aléreur 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.

1.4.2 Inconvénients : Idem au MFT classique à l'exception de la foration dans les terrains non consolidés.

1. Technique de forage

1.5 Forage rotary :

Cette méthode utilise un outil (trépan) monté au bout d'une ligne de sonde (tiges vissées les unes aux autres), animé d'un mouvement de rotation de vitesse variable et d'un mouvement de translation verticale sous l'effet d'une partie du poids de la ligne de sonde ou d'une pression hydraulique.

La profondeur de forage peut être très importante, par ailleurs la forage n'est pas perturbée par les terrains peu stables ou plastiques (argiles).

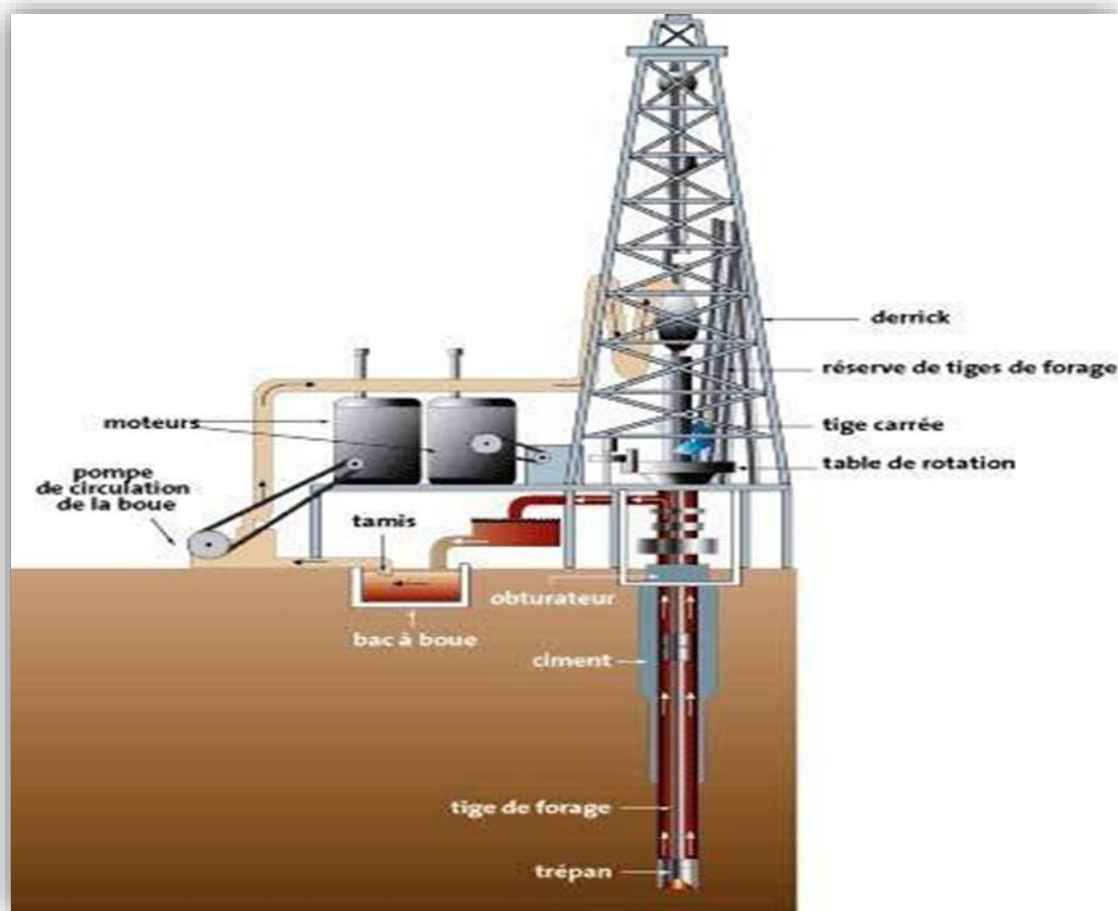


Figure 1-4 : Illustration de la méthode Rotary

1.6 Forage rotary circulation directe :

1.6.1 Principe : La méthode de forage rotary utilise un outil (trépan) monté au bout d'une ligne de sonde (tiges vissées les unes aux autres), animé d'un mouvement de rotation de vitesse variable et d'un mouvement de translation verticale sous l'effet d'une partie du poids de la ligne de sonde ou d'une pression hydraulique.

Le mouvement de rotation est imprimé au train de tiges et à l'outil par un moteur situé sur la machine de forage en tête de forage. Les tiges sont creuses et permettent l'injection de boue au fond du

1. Technique de forage

forage.

Les outils utilisés en rotation sont des trépan de plusieurs types en fonction de la dureté des terrains rencontrés (outils à lames, outils à pastilles, molettes ou tricône, outils diamantés ou à Carbures métalliques).

Au-dessus du trépan, on peut placer une ou plusieurs masses-tiges très lourdes qui accentuent la pression verticale sur l'outil et favorisent la pénétration et la rectitude du trou.

Le forage rotary nécessite l'emploi d'un fluide de forage préparé sur le chantier. Dans le cas de la circulation directe, le fluide est injecté en continu sous pression dans les tiges creuses de la ligne de sonde, il sort par les événements de l'outils et remonte à la surface dans l'espace annulaire (entre les tiges et les parois du trou). [6]

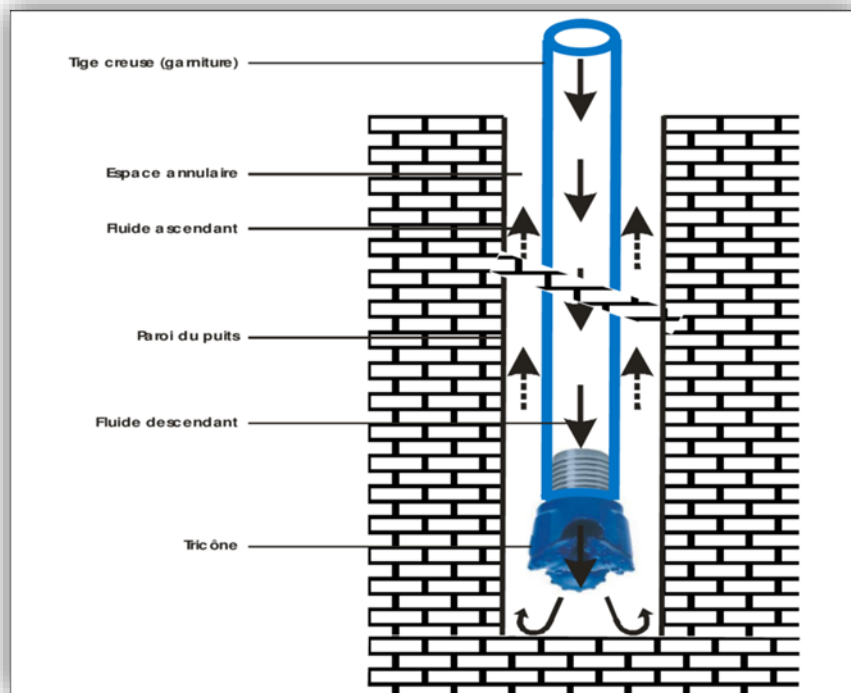


Figure 1-5 : Schéma explicatif de la circulation directe.

1.6.2 Avantages : 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 entraîne une consolidation des parois en terrains meubles par dépôt d'un cake.

1. Technique de forage

1.6.3 Inconvénients :

- 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) ;
- Difficulté d'observation des cutines, la présence de tamis vibrants en circuit retour diminue sensiblement cet inconvénient.

1.7 Forage en circulation inverse :

1.7.1 Principe : Cette méthode de foration diffère des méthodes précédentes par une circulation du fluide (boue, eau ou air) dans l'espace annulaire (entre la formation et les tiges) avec remontée des cutines par l'intérieur du train de tiges. Il existe également des tiges à double parois qui assurent l'injection et la remontée du fluide par l'intermédiaire des seules tiges.

1.7.2 Avantages : Information géologique plus précise et quasi instantanée. Les cutines recueillis en surface proviennent du seul fond du trou sans mélange avec des cutines provenant éventuellement de l'érosion du trou au cours de la remontée ;

Information géologique continue. La traversée de zones fissurées, fracturées ou cavernueuses, se traduit assez souvent par des pertes partielles (ou totales) de fluide de circulation (air, eau, boue) dans les techniques de foration à circulation directe.

La remontée des cutines par le train de tiges diminue fortement les risques de pertes de fluide et de cutines ainsi que les éventuels colmatages ou contamination des aquifères traversés ;

Meilleure individualisation des arrivées successives de fluide en cours de foration. Seul le niveau en cours de Foration est testé au moment du passage de l'outil, les mélanges avec des niveaux supérieurs sont très réduits.

1. Technique de forage



Figure 1-6 : Exemple de carottes Rocheuses.



Figure 1-7 : Exemple d'outil de forage Carottier.

1.8 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.

1.8.1 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.

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.

1. Technique de forage

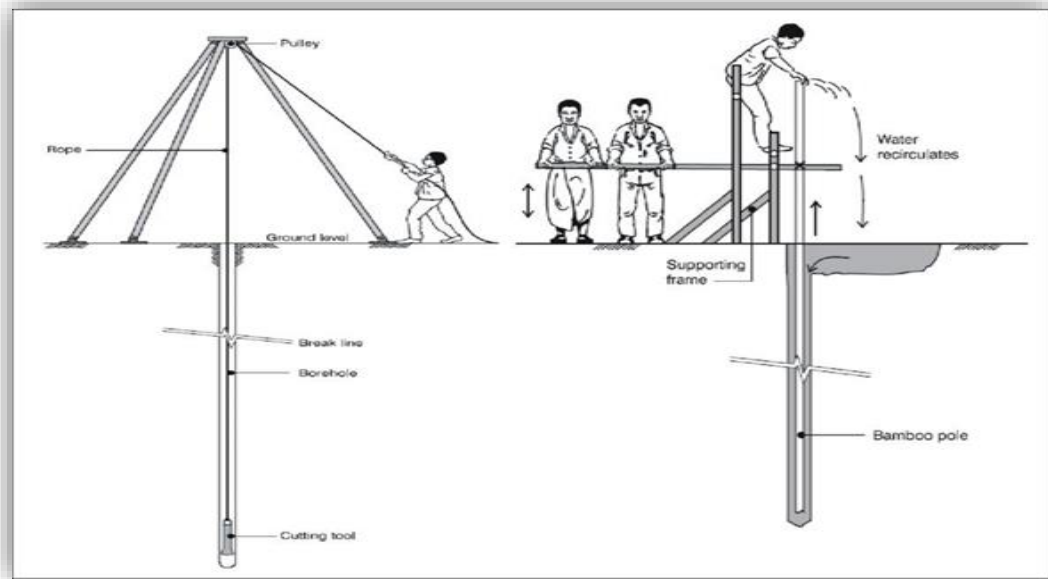


Figure 1-8 : Principe de la technique de forage au battage.

1.8.2 Avantages : C'est un procédé simple et relativement peu coûteux (investissement généralement plus faible que pour les autres procédés de foration).

Il n'y a pas de fluide de forage (boues) et pas de risques de pollution de la nappe. Le trépan peut être rechargé, refoirgé et affûté sur le chantier.

C'est une méthode bien adaptée pour les forages de moyenne profondeur. Les résultats sont très bons dans les terrains fissurés (pas de pertes).

1.8.3 Inconvénients : Vitesse d'avancement assez faible induisant un coût "suivi travaux" en proportion Méthode peu adaptée dans les terrains plastiques ou bouillants dans lesquels le tubage à l'avancement est nécessaire.

Difficultés pour équilibrer des venues d'eau artésiennes jaillissantes.

Absence d'information sur les niveaux producteurs (qualité - production) sinon par mise en place de dispositif de pompage en parallèle à la foration.

1.9 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

1. Technique de forage

recommandé.

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

1.9.1 Principes : Le forage par havage est plus connu 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. Au-dessous du niveau statique, l'emploi d'une soupape est recommandé. En présence d'éléments grossiers ou de blocs, l'utilisation d'un trépan tombant en chute

Libre permet de briser l'obstacle. Il est également possible d'utiliser des vibreurs hydrauliques pour faciliter la descente ou l'arrachage des tubages.

1.9.2 Avantages : Avancement rapide à faible profondeur dans des formations meubles, Notamment alluvionnaires (en l'absence d'éléments grossiers).

Réalisation d'ouvrages en gros diamètre (peu répandus en eau minérale).

1.9.3 Inconvénients : méthode inadaptée aux terrains durs.

Frottement du tubage mis en place à l'avancement, profondeur réduite Difficulté pour arracher les tubages de soutènement après la mise en place des crépines et du massif filtrant.

1.10 Généralités sur le forage rotary :

Introduction : Un processus de forage est un dispositif qui assure l'extraction de la matière pour réaliser un forage. Un grand nombre de forage modernes sont des forages forés, par percussion d'un outil dans le sol ex : le Battage-Havage, ou par l'action rotative d'un outil coupant tournant autour d'un axe vertical ex : Tarière, Rotary, ou bien une combinaison des deux actions ex : Marteau fond trou. Dans l'industrie pétrolière le système de forage le plus répandu se nomme : système de forage ROTARY.

Dans ce chapitre, on présente une description générale de ce système de forage rotary, ses principaux organes, ainsi que les différents types de vibrations pouvant se produire lors de la phase de forage, notamment les vibrations de torsion provoquées par le phénomène Stick-Slip.

1.10.1 Principe et description générale : La méthode Rotary consiste à utiliser des trépan à dent type tricône ou des trépan monoblocs comme les outils diamant ou PDC (polycristallin Diamonds composite). Sur lesquels on applique une force procurée par un poids tout en les entraînant en rotation.

1. Technique de forage

L'avantage de cette technique est de pouvoir injecter en continu un fluide au niveau de l'outil destructif de la formation pour emporter les débris hors du trou grâce au courant ascensionnel de ce fluide vers la surface. Un système de forage Rotary est composé de deux parties : l'installation de forage et la garniture de forage.[2]

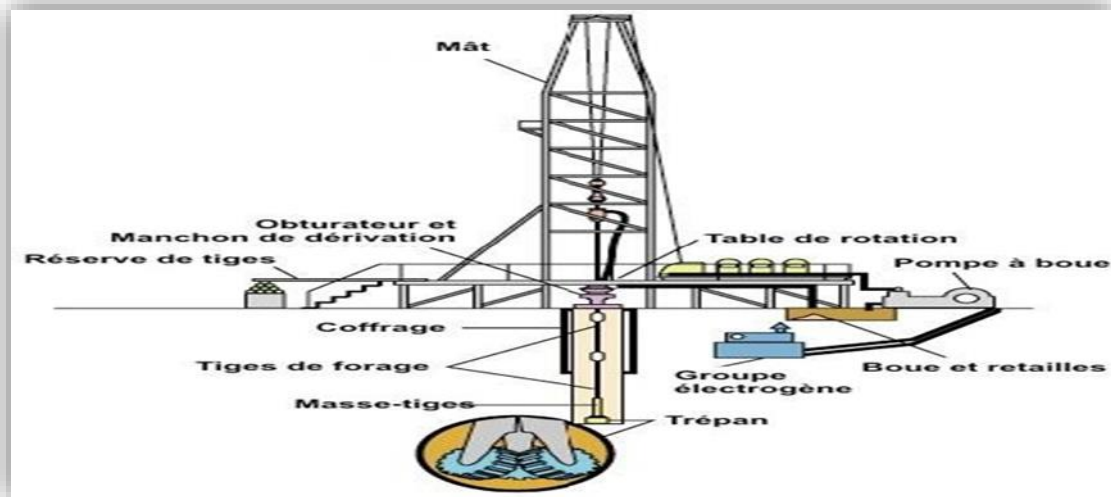


Figure 1-9 : Plateforme de forage Rotary.

1.10.2 Installation de forage :

L'installation de forage est la partie située à la surface du sol, elle comprend plusieurs modules : le système hydraulique (pompe et bac à boue), le système d'alimentation (moteurs), les obturateurs (Blow-out préventeurs), la table de rotation, les réserves des tiges de forage ainsi que le système de suspension qui renferme le derrick. L'installation doit assurer les trois fonctions suivantes :

- Un poids à l'outil ;
- Une rotation de l'outil ;
- Une injection du fluide de forage.

1.10.3 Équipements de Forage Rotary :

Les équipements de forage englobent les équipements de surface (l'installation) et ceux de fond (La Garniture) assurant les fonctions suivantes : levage, rotation, pompage et circulation, le contrôle et la sécurité.

1. Technique de forage

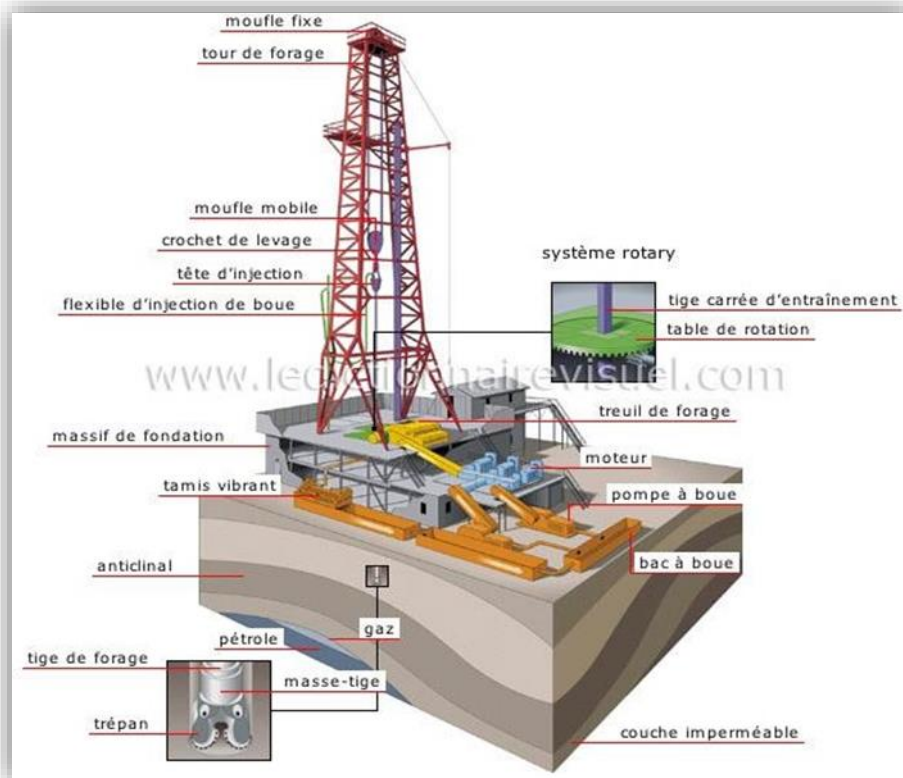


Figure 1-10 : Équipements de Forage Rotary.

1.10.4 Équipement de levage :

Pour soulever la garniture de forage, il faut utiliser une grue de grande capacité, car la garniture de forage peut atteindre un poids supérieur à 150 tonnes. Cette grue est constituée : d'un mât, d'un treuil, d'un palan comprenant les moufles fixe et mobile et le câble.

a) Le mât :

C'est une structure en forme de A. Il a la particularité d'être articulé à sa base ce qui lui permet d'être assemblé ou démonté horizontalement puis relevé en position verticale en utilisant le treuil de forage et un câble de levage spécial.

b) Le treuil (Draw-works) :

Le treuil étant l'un des principaux équipements utilisés dans le forage des forage il est considéré comme le cœur d'un appareil de forage, puisque c'est la capacité du treuil qui caractérise la classe de profondeur des forages que l'on pourra effectuer. Il doit assurer :

- Le levage de la garniture de forage et du tubage,
- Sur certains appareils, il assure l'entraînement de la table de rotation par l'intermédiaire de cardans ou de chaînes de pignons,

1. Technique de forage

- L'entraînement d'un arbre secondaire permettant de dévisser et visser les tiges et les tubages.

c) Le palan :

C'est un mécanisme de transmission du mouvement constitué de deux moufles, l'un fixe, l'autre mobile, contenant chacun un nombre arbitraire de poulies, et d'une corde qui les relie. Il sert à réduire l'effort nécessaire (ou démultiplier la force utilisée) pour rapprocher les deux groupes de poulies, il comprend :

- **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,
- **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 (Hook) qui sert à la suspension de la garniture pendant le forage,
- **Le câble :** il est constitué de plusieurs torons disposés en spirale autour d'une âme, chaque toron est lui-même constitué de plusieurs fils calibrés, également disposés en hélice sur plusieurs couches

d) Équipement de rotation :

Il est constitué d'une table de rotation, d'une tige d'entraînement à section carré (Kelly) ainsi que d'une tête d'injection qui peut être motorisée (Top Drive).

1) Tige d'entraînement (Kelly) :

De section carrée, hexagonale ou triangulaire, elle est entraînée en rotation par la table.

2) Table de rotation (Rotary table):

Pour faire tourner l'outil, on visse au sommet des tiges, de forme cylindrique, une autre tige de section carrée ou hexagonale, appelée tige d'entraînement (Kelly), et on l'introduit dans un moyeu appelé table de rotation, elle tourne à des vitesses 40 à 500 tr/min.

3) Tête d'injection motorisée (Top Drive, Direct Drive) :

Comme son nom l'indique, il s'agit d'une tête d'injection qui remplit les mêmes rôles que les têtes d'injection conventionnelles (assurer le passage de la boue de forage venant d'une conduite fixe des flexibles d'injection dans une conduite animée d'un mouvement de rotation), mais en plus, sert de transmission mécanique sur l'arbre rotatif. La motorisation peut être par moteur électrique ou bien par moteur hydraulique, cette dernière version moins traditionnelle nécessite l'installation d'une unité

1. Technique de forage

hydraulique spécifique. Ainsi, 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.

e) Équipement de pompage et de circulation :

Les équipements de pompage et de circulation assurent l'acheminement du fluide de forage (la boue) depuis l'aspiration de la pompe jusqu'au retour aux bassins. La boue est fabriquée dans des bassins de grande capacité, elle est ensuite aspirée par des pompes (pompes à boue) et refoulée dans les tiges creuses (au niveau de la tête d'injection), elle descend le long de la garniture de forage, sort par les orifices de l'outil, remonte dans l'espace annulaire entre la garniture de forage et les parois du trou le forage jusqu'en surface. Là, elle est recueillie dans un tube vertical (tube fontaine), puis acheminée par un autre horizontal (goulotte) vers des tamis vibrants, pour être débarrassée des déblais, avant d'être réinjectée dans le forage.

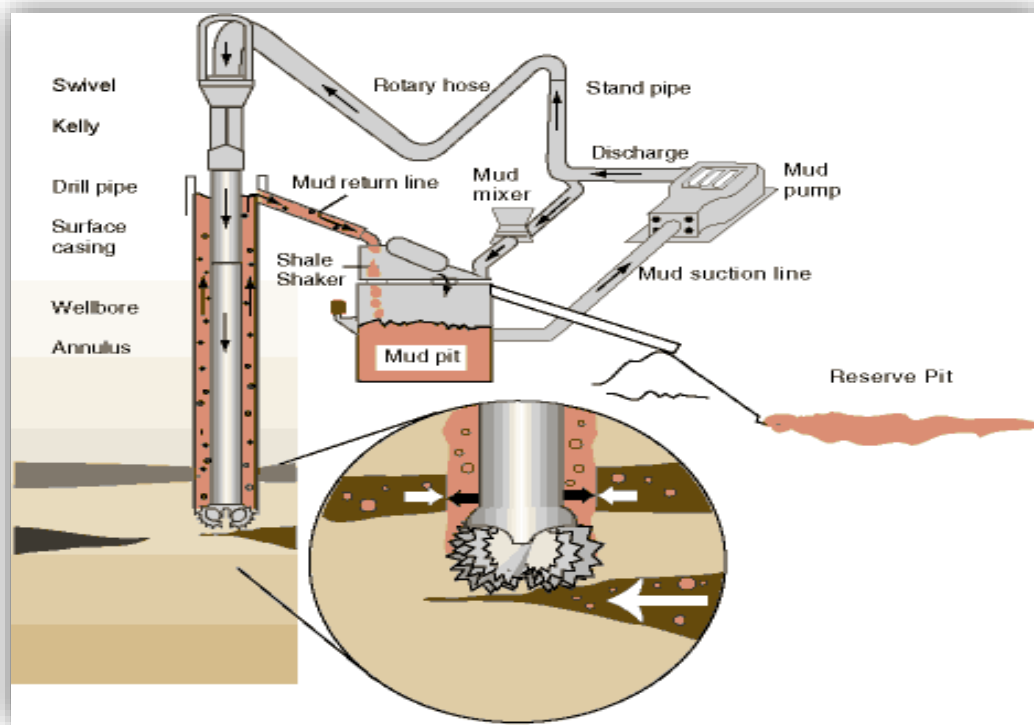


Figure 1-11 : Circulation de la boue.

f) Système de sécurité (Blow Out Prévente) :

Les blocs obturateurs de puits, ou Blow Out Prévente (BOP), sont des valves de sécurité utilisées sur les appareils de forage de l'industrie pétrolière. Installés en surface, ils sont les derniers recours en cas d'éruption sur un puits. L'aide des obturateurs de sécurité on peut prévenir rapidement le début de l'éruption et réaliser des opérations nécessaires dans le forage.

1. Technique de forage

g) Les outils de forage :

1) Outils à lames :

Trois types :

- Queue de poisson (fishtail) – deux lames. (a)
- Trois ailes (three wings). (b)
- Pilote – plusieurs étages de diamètre différent. (c)

Ces outils travaillent, en rotation, comme une fraise dans un métal, ils des « copeaux » dan le terrain. Ils sont employés dans les formations sédimentaires compactes, à structure fine et de dureté peu élevée. Malgré les avancements intéressants qu'ils procurent, leur cour peu élevée, la possibilité de reforger et affuter les tranchants qu'ils sont les seuls à offrir, bien des foreurs n'aiment pas les employés. Sans doute est-ce parce que ces ne conviennent pas dans tous les terrains, tandis que les outils à molettes sont universels, et qu'il vaut mieux en avoir, au bout de sa ligne de sonde, au moment, précisément, où se présente un changement de terrain. Une autre raison est qu'ils provoquent des vibrations importantes que se répercutent jusqu'à la machine.

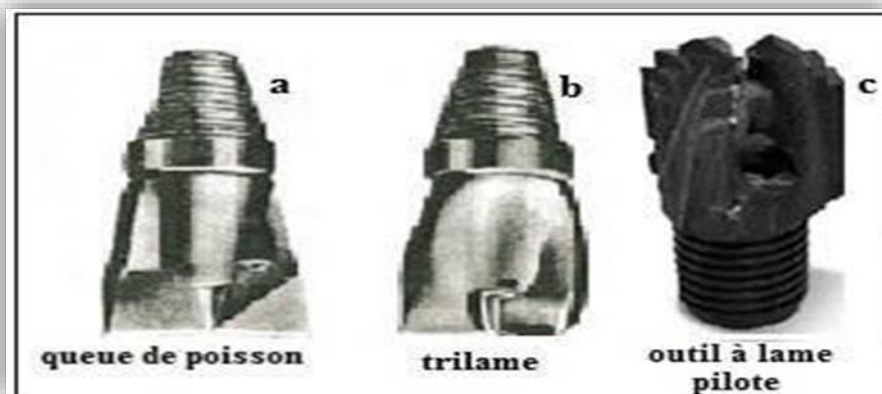


Figure 1-12 : Les outils à lames.

h) Outil à molettes (rock bits) :

Tricônes ou quadricornes trois ou quatre molettes à axe horizontal ou légèrement incliné, montée sur de solides roulements à billes ou à galets. Ces outils sont munis comme les outils à lames d'une partie fileté sur cône qui assure un montage très rapide et après blocage à la clef, un joint rigoureusement étanche. La denture des molettes varie selon la nature du terrain. Les dents sont longues et écrètes pour les terrains tendres, elles sont courtes, fines et rapprochées pour les terrains durs. Ces outils procèdent par écrasement et éclatement de la roche. Des événements calibrés (dusses) ajoutent à l'efficacité des molettes en désagrégeant le terrain sous de puissants jets. Les outils à molettes sont rapidement mis hors d'usage, rares sont les entrepreneurs qui rechargent les dents usées et, le plus souvent, ces outils périssent par leur roulement. Dès qu'ils ont pris un peu de jeu, il serait dangereux de les redescendre dans le trou, car ils ne tarderaient pas à laisser au fond leurs molettes et leurs roulements qu'on aurait bien du mal à « repêcher ».

1. Technique de forage

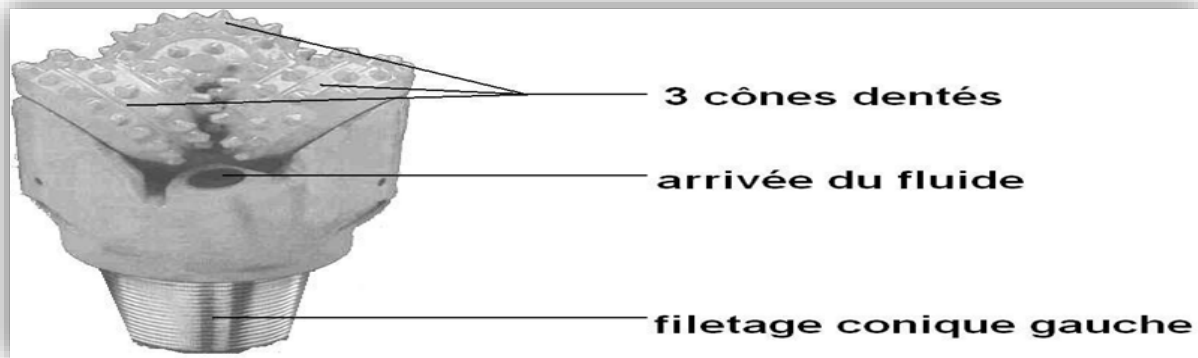


Figure 1-13 : L'outil à molette.

i) Garniture de forage :

1) Masse tige (drill Colar) :

Il s'agit d'une série de tubes massifs en acier dont le rôle est d'assurer une poussée suffisante sur l'outil. Par conséquent, pendant la phase de forage, le train de masses-tiges est en partie, voire en totalité, en état de compression.

2) Tige de forage (drill pipe) :

C'est la partie la plus longue de la garniture, elle est constituée d'une série importante de tubes minces d'acier qui s'étendent jusqu'à la surface et dont le rôle est de transmettre le couple vers l'outil et de soutenir plus ou moins le train de masses tiges. Chaque tige est munie à ses extrémités de renflements appelés Tool-joint (TJ) servant pour le vissage des tiges entre elles et comme points d'appui du train de tiges sur la paroi de forage.

3) BHA (Bottom Hole Assembly) :

L'assemblage de fond ou BHA (Bottom Hole Assembly) est la partie inférieure de la garniture de forage, elle est principalement constituée de l'outil de forage, des masses tiges et des stabilisateurs. La BHA a un effet prépondérant sur le comportement directionnel du système de forage.

4) Les équipements auxiliaires :

Composés des stabilisateurs (incorporés à la garniture de forage au niveau des masses tiges afin de garder le contrôle sur la trajectoire de l'outil), des amortisseurs de choc, et des raccords divers.



Figure 1-14 : Raccords (Tool-joint).

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.

Chapitre II :
Présentation de la
région d'étude

2. Présentation de la zone d'étude

Introduction :

On présente dans ce chapitre l'ensemble des informations principales pour le milieu de notre zone d'étude, notamment la situation géographique de la région, le cadre climatique, et l'étude géologique et hydrogéologique. Ces éléments permettent de connaître les caractéristiques de notre zone d'étude.

2.1 Présentation de la région :

2.1.1 Situation administrative et géographique :

La wilaya d'Ouargla, elle-même sise au Nord Est du Sahara algérien. Il est contenu sur la carte dans le quadrant allant de 04° 10' à 05° 25' Est et de 31° 50' à 32° 30' Nord. La wilaya de Ouargla est limitée par :

- La wilaya d'El Oued au Nord Est,
- La wilaya de Ghardaïa à l'Ouest et un contact de quelques kilomètres avec les wilayas de Djelfa et de Biskra au Nord-Ouest,
- Les wilayas d'Illizi et de Tamanrasset au Sud,
- La frontière Tunisienne à l'Est.

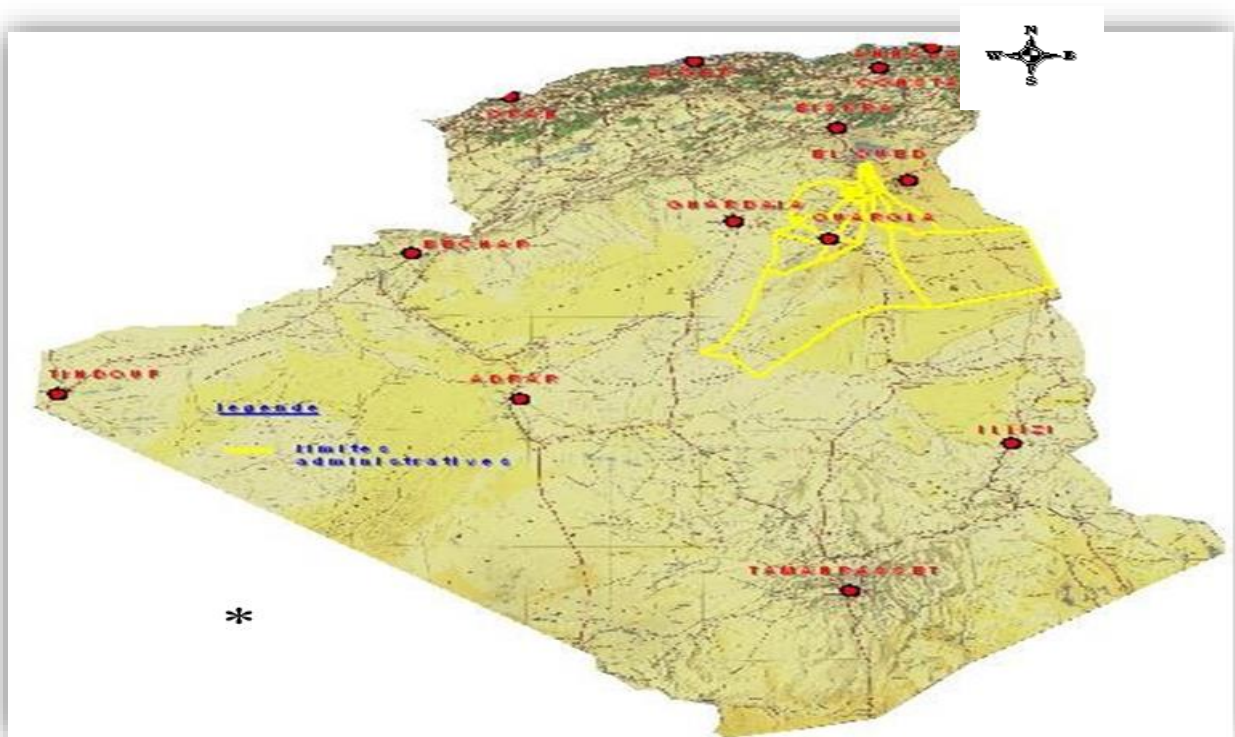


Figure 2-1 : Situation géographique de W d'Ouargla.

2. Présentation de la zone d'étude

2.1.2. Localisation et délimitation du quartier Sidi Boughoufala :

Le quartier de **Sidi Boughoufala** est l'un des plus anciens et des plus emblématiques quartiers résidentiels rattachés administrativement à la commune d'Ouargla (chef-lieu de wilaya), située dans le Sud-Est algérien. Ce quartier bénéficie d'un emplacement stratégique et névralgique, s'insérant au cœur même du tissu urbain de la ville.

Les quatre limites périphériques approximatives du quartier Sidi Boughoufala établies sur la base des Plans Directeurs d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU) de la commune d'Ouargla et des secteurs limitrophes se définissent comme suit :

- **Au Nord** : Il est délimité par la Route Nationale n° 49 (RN 49), axe routier névralgique reliant Ouargla, Ghardaïa et Hassi Messaoud, et s'étend en direction du quartier historique de **Beni Thour**.
- **Au Sud** : Ses frontières s'orientent vers le quartier **Bouzid** et englobent les extensions urbaines méridionales de la ville.
- **À l'Est** : Il est bordé par le quartier **Beni Thour** via la Route Wilayale n° 203 (RW 203), localement dénommée Boulevard Che Guevara.
- **À l'Ouest** : Son territoire se prolonge en direction du quartier **Bamendil** et de la zone ouest de la ville, à travers les boulevards périphériques et les axes routiers ceinturant la région.

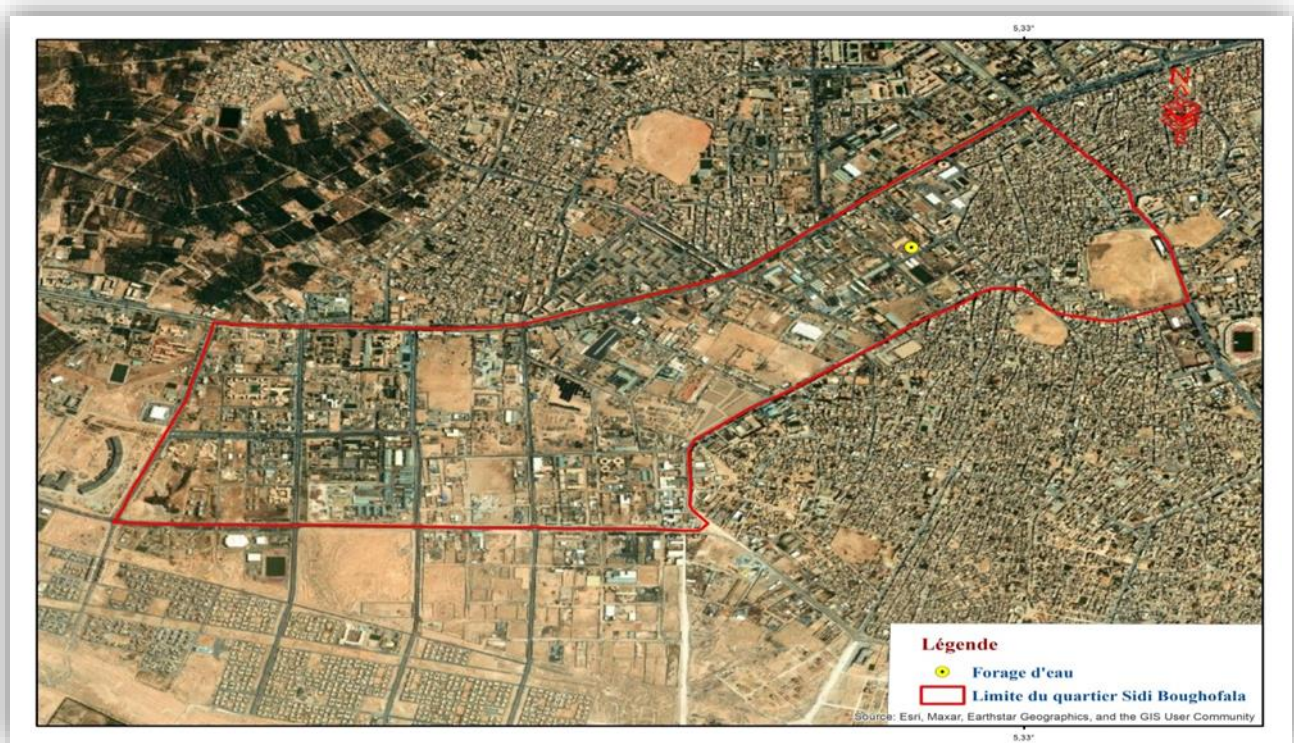


Figure 2-2 : Situation de la zone d'étude.

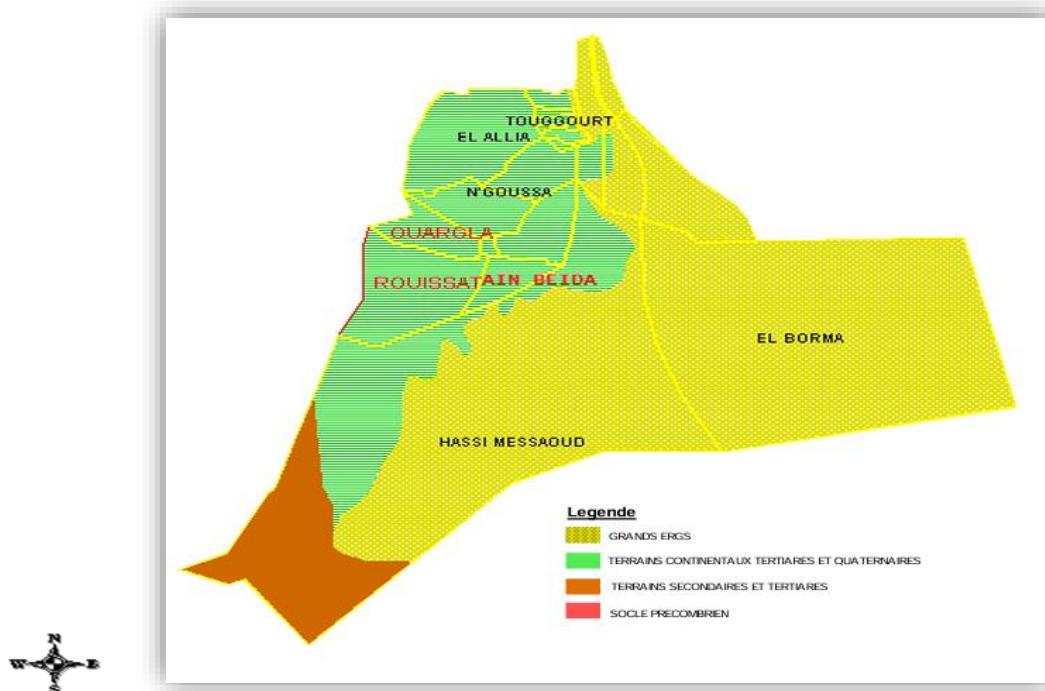
2. Présentation de la zone d'étude

2.2 Géologie et hydrogéologie :

Les formations géologiques du périmètre datent successivement des ères suivantes :

- Ere secondaire représentée par le Crétacé supérieur marin,
- Ere tertiaire caractérisée par des terres qui sont présentées par le Pliocène continental, le Pontien et l'Eocène,
 - Ere quaternaire présentée par les alluvions actuelles, les dunes récentes et le quaternaire continental.
 - Quant à l'eau souterraine, il existe quatre niveaux plus au moins importants dans le sous-sol du périmètre :
 - Les sables de surface avec la nappe phréatique,
 - L'ensemble détritique sableux de formation continentale du Pontien avec la nappe du Mio-Pliocène,
 - Les calcaires du Sénonien ou Eocène,
 - La nappe de l'Albien.

Les nappes du Mio-Pliocène et du Sénonien appartiennent au Complexe Terminal "CT" et la nappe de l'Albien appartient au Continental Intercalaire "CI". Pour tous usages confondus, la wilaya de Ouargla épuise presque tous ses besoins en eau, avec des proportions différentes de ces deux systèmes aquifères



2. Présentation de la zone d'étude

2.3 Facteurs climatiques :

La région de Ouargla (zone d'étude Sidi Boughoufala) est soumise à un climat continental de type désertique conditionné par une température élevée et une pluviométrie très faible.

2.3.1. Températures :

Les températures sont caractéristiques du climat saharien avec des valeurs très élevées en été. La moyenne mensuelle du mois le plus chaud (Aout) est de l'ordre de 50.4°C et du mois le plus froid (janvier) est de -1.1°C. La température peut atteindre les valeurs extrêmes présentés dans le tableau suivant :

Années	2016		2017		2018		2019		2020		2021	
Température Mois	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Janvier	18.3	5.5	17.8	<u>6.8</u>	21,60	<u>6.60</u>	20,50	<u>4.80</u>	18.0	3.50	20,2	<u>4.9</u>
Février	21.3	6.1	20.3	7.2	25,40	9,60	20,50	5,60	17.30	<u>3.40</u>	21,2	5,3
Mars	26.3	10.9	24.7	10.1	28,10	12,90	23,90	9,70	24.5	8.80	28,6	11,9
Avril	31.9	15.7	27.5	12.1	31,30	17,10	30,70	14,80	30.40	14.50	30,9	15,4
Mai	36.00	21.1	34.4	18.5	33,60	18,70	33,70	18,60	35.5	19.60	35,5	19,1
Juin	39.1	23.9	40.9	25.4	41,30	25,30	38,30	23,20	43.20	27.40	39,8	23,4
Juillet	44.9	29.0	<u>44.9</u>	28.5	<u>43.90</u>	28,40	<u>42.30</u>	26,30	<u>44.80</u>	28.60	<u>43.5</u>	27,8
Aout	<u>46.6</u>	28	43.0	27.2	43,60	28,20	40,30	25,10	43.10	27.00	40,7	26,1
Septembre	38.5	24.6	36.1	22	36,90	22,80	29,10	15,10	38.20	21.70	38,3	23,2
Octobre	30.1	18.7	30.8	15.7	30,70	16,20	24,30	10,20	33.40	18.20	35,8	19,5
Novembre	22.10	9.80	25.50	9.40	24.90	9.70	19.70	5.20	26.30	11.90	23,4	10,0
Décembre	18.6	<u>5.3</u>	22.9	7.7	21,30	<u>6.60</u>	1570	5,20	19.90	3.70	17,3	6,3

Tableau 2-1 : Température moyenne mensuelle (2016-2021).

2. Présentation de la zone d'étude

Années	2022		2023		2024		2025	
Température Mois	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Janvier	23,7	1,9	18,3	<u>4,0</u>	26,3	<u>-0,7</u>	20,3	<u>-1,1</u>
Février	29,7	3,6	28,8	6,9	29,0	2,4	30,7	1,6
Mars	33,8	4,2	24,6	10,1	34,9	4,2	33,0	6,5
Avril	39,7	8,8	32,1	16,3	41,1	7,6	39,9	9,0
Mai	43,5	14,0	37,0	20,7	46,2	10,5	44,5	17,4
Juin	46,8	17,0	39,8	24,7	<u>48,1</u>	19,3	<u>49,0</u>	20,3
Juillet	49,6	24,4	42,0	26,5	47,6	23,4	48,7	22,4
Aout	<u>50,4</u>	24,0	<u>42,8</u>	29,1	45,4	23,3	47,2	22,8
Septembre	45,2	21,1	37,9	23,9	44,5	17,3	46,8	16,3
Octobre	39,4	12,2	31,8	17,6	39,4	14,4	33,5	10,1
Novembre	29,4	8,5	24,3	10,6	31,5	5,3	30,8	5,6
Décembre	23,6	<u>0,5</u>	19,9	4,8	25,2	2,0	23,4	1,0

Tableau 2-2 : Température moyenne mensuelle (2022-2025)

2. Présentation de la zone d'étude

2.3.2. La Pluviométrie :

Les précipitations proviennent essentiellement des perturbations orageuses, courtes et violentes. La plupart des précipitations dans la région d'Ouargla (Sidi Boughoufala) se produisent durant l'hiver, bien que certains hivers soient pratiquement secs.

Années	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Mois	P (mm)					
Janvier	16,20	3,6	0,0	0,0	Trace	0,3
Février	5,50	0,0	0,0	23,8	Non Trace	0,0
Mars	1,00	0,2	0,4	4,7	2,0	20,7
Avril	3,50	6,3	0,0	0,0	1,0	0,8
Mai	0,00	0,0	14,1	0,0	Non Trace	Trace
Juin	0,00	0,0	2,0	0,0	Non Trace	0,2
Juillet	1,30	0,0	0,0	0,0	Non Trace	0,0
Aout	0,30	2,4	0,0	Trace	Non Trace	0,0
Septembre	4,60	Trace	0,0	Trace	4,6	12,8
Octobre	0,00	0,0	2,0	Trace	4,3	22,6
Novembre	0,00	4,6	6,8	0,0	0,7	14,6
Décembre	0,00	24,5	5,8	0,0	4,5	2,6
Total	32.4	41.6	31.10	28,5	17,1	74,60

Tableau 2-3 : Répartition mensuelle des pluies.

2. Présentation de la zone d'étude

2.3.2. L'évaporation :

L'évaporation maximale est enregistrée au mois de Juillet qui atteint 505,1 mm, par contre l'évaporation minimale est enregistrée au mois de Décembre qui atteint 55,9 mm .

Années \ Mois	2020	2021	2022	2023	2024	2025
	Evaporation (mm)					
Janvier	<u>61,6</u>	100,9	87	93,0	135,8	110,7
Février	80,8	112,9	138,4	91,0	187,0	172,6
Mars	132,4	166,9	157,8	158,9	259,4	239,2
Avril	209,1	191,8	223,3	256,5	288,6	283,9
Mai	312,3	227,8	329,1	334,1	388,3	464,9
Juin	353,6	317,3	337,9	365,4	479,6	433,3
Juillet	<u>382,3</u>	<u>414,4</u>	<u>488,9</u>	346,7	<u>486,1</u>	<u>505,1</u>
Aout	367,6	319,1	397,1	<u>366,6</u>	473,1	439,3
Septembre	332,9	287,1	287,6	233,8	301,9	270,4
Octobre	278,3	276,7	213,2	158,5	278,9	187,2
Novembre	146,8	147,5	88,8	98,2	157,7	129,2
Décembre	90,6	<u>55,9</u>	<u>85,0</u>	<u>75,2</u>	<u>85,3</u>	<u>80,3</u>
moyen	229,0	218,2	236,1	214,8	293,5	276,3

Tableau 2-4 : Evaporation mensuelle moyenne.

2.3.3 Les vents :

La vitesse des vents forts durant les années (2020 / 2025) est enregistrée dans le tableau suivant :

2. Présentation de la zone d'étude

Années	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Mois	Vitesse des vents forts (m/s)					
Janvier	20	25	14	21	14	15
Février	20	14	20	14	14	16
Mars	13	19	26	15	13	17
Avril	20	22	14	15	19	22
Mai	20	22	29	15	25	24
Juin	14	22	20	/	19	19
Juillet	32	16	15	12	13	16
Aout	15	18	16	23	22	16
Septembre	15	18	16	14	16	19
Octobre	12	11	14	16	23	13
Novembre	14	13	20	12	12	14
Décembre	12	14	20	08	14	15
moyen	17.25	17.83	14	14.83	14	15

Tableau 2-5 : Vitesse Des Vents Forts.

2.4 Besoins en eau :

L'eau est un besoin fondamental et chaque être humain à droit à l'eau salubre, l'approvisionnement en eau potable et une bonne gestion des ressources en eau sont essentiels pour assurer la santé.

2.4.1 Identification des abonnés :

Les abonnés du réseau d'alimentation en eau potable sont :

- Les abonnés domestiques,
- Les abonnés du secteur administratif,

2. Présentation de la zone d'étude

- Les abonnés du secteur de tourisme,
- Les abonnés du secteur socioculturel,
- Les abonnés du secteur industriel,
- Les abonnés du secteur commercial,
- Les abonnés du secteur sanitaire,
- Les abonnés du secteur éducatif.

2.4.2 Origine de l'eau et ressources (mobilisées) :

L'eau potable dans la zone d'étude est d'origine souterraine. Elle est captée par des forages et pompée soit vers des ouvrages de stockage soit directement dans le réseau. L'eau de surface est quasiment inexistante ; avec les conditions climatiques, géologiques et hydrogéologiques de la zone, et du Sahara d'une façon plus générale, on ne peut envisager un tel événement.

L'eau emmagasinée à des profondeurs variables dans le sol reste l'unique source pour l'alimentation des agglomérations.

Il existe, dans la zone d'étude, trois ensembles aquifères. A savoir :

- La nappe du Mio–Pliocène qui est contenue dans des sables grossiers. Son niveau varie de 30 m à 45 m. Au cours de ces dernières années, et suites au pompage excessif, le niveau de cette nappe a fortement baissé,
- La nappe artésienne du Sénonien, son niveau varie de 20.30 m à 59.96 m. Elle se situe entre 140 m et 240m de profondeur,
- La nappe artésienne de l'Albien qui, quant à elle, est contenue dans les sables et grès du continental intercalaire à des profondeurs situées entre 1100 et 14000 m.

Conclusion :

Les conditions climatiques, géologiques et hydrogéologiques de la zone d'étude sont représentatives des caractéristiques naturelles dominantes de la région saharienne algérienne.

Chapitre III : Proposition d'un programme de forage

3. Proposition d'un programme de forage

Introduction :

Le projet de réalisation du forage d'eau s'intitule dans le cadre de renforcement du réseau d'AEP de la commune de Ouargla et particulièrement la localité de Sidi Boughoufala ainsi, entre la réalisation et équipement d'un forage captant la nappe du complexe Terminal (Sénonien Carbonaté).

Ce programme a été confié à L'Enterprise SARL, NORTH AFRICA DRILLING.

3.1 Situation géographique du forage :

Le forage d'eau est implanté à Hay Sidi Boughoufala, à proximité du château d'eau, les coordonnées géographiques prises par GPS sont :

Longitude : X = 05. 328891

Latitude : Y = 31. 945825

Z = 132 m

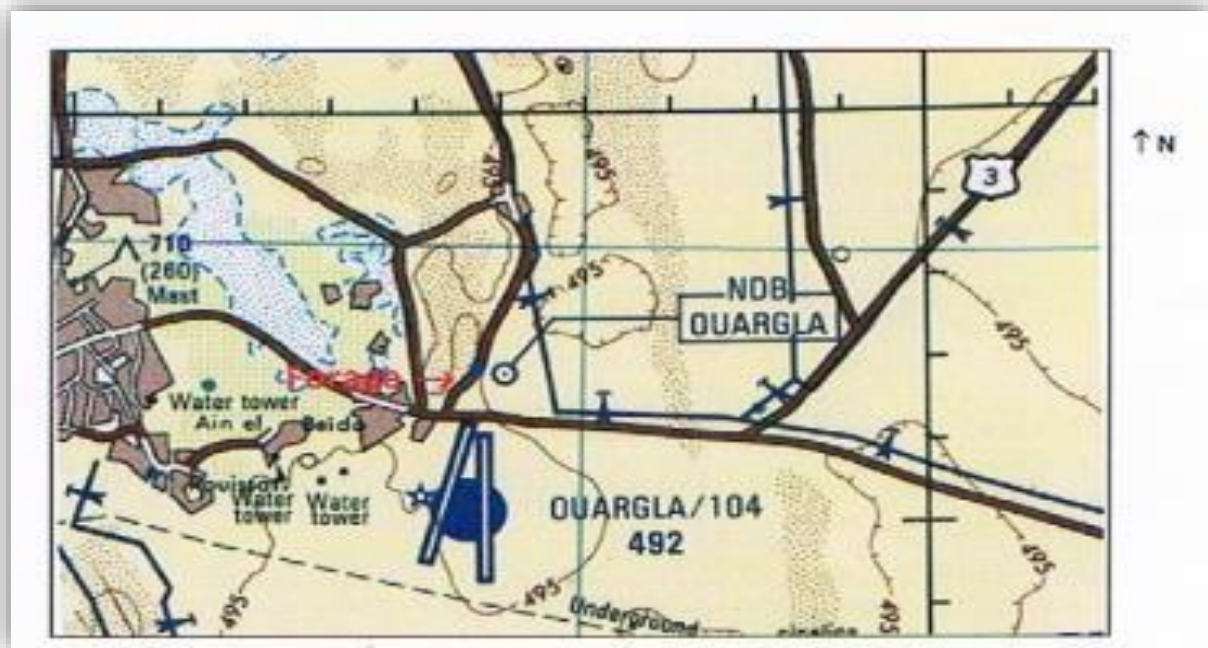


Figure 3-1 : Carte d'implantation.

3.2. Technique de sondage :

L'exécution du forage a été réalisée par une sondeuse Rotary à circulation de boue à base d'eau et bentonite, avec une densité adaptée aux conditions de forage.

3. Proposition d'un programme de forage

3.2.1 Déroulement des travaux :

1) Objectifs de forage :

L'objectif de forage est le captage de la nappe SENONIEN-CARBONATE à une profondeur estimée à 207m [17].

Le forage sera réalisé en 03phases :

- Première phase : Foré en 24" -Tubage 20" cimenté.
- Deuxième phase : Foré en 17" ½ - Tubage 13" ³/₈ cimenté.
- Troisième phase : Foré en 12" ¹/₄ traverser la nappe d'eau à exploiter.
 - Colonne de captage 8" ⁵/₈.
 - La mise en place de gravier additionnel (MGA).

3.2.2 Préparation avant la descente du tubage :

- ❖ Le tubage doit être préparé et prêt pour la descente avant d'entamer le forage.
- ❖ Nettoyer, mesurer et calibrer le tubage.
- ❖ Inspecter visuellement les filetages.
- ❖ Préparer et voir la disponibilité des élévateurs et les clés nécessaires pour le vissage des tubes.
- ❖ Vérifier la disponibilité des moyens de manutentions sur site.

3.2.3 Recommandations pour la descente du tubage :

- ✓ Tenir un pré-job meeting avec tout le personnel impliqué dans cette opération.
- ✓ Essayer de centrer le tubage au maximum.

3.2.4 Préparation de la cimentation :

- S'assurer de la disponibilité sur chantier de la quantité de ciment suffisante.
- Assurer la quantité d'eau suffisante pour la préparation du laitier de ciment.
- Mesurer la densité du laitier de ciment après le mixage.

3.2.5 Recommandations pour la cimentation :

- Tenir un pré-job safety meeting avec tout le personnel impliqué.
- Procéder à la cimentation du 13" ³/₈ selon le programme de cimentation.
- Vérifier la bonne tenue du tubage.
- Injecté le ciment jusqu'à la surface.
- Laisser le ciment bien s'endurcir.

3.2.6 Cimentation du tube guide :

Après l'expérience de plusieurs années dans le domaine de forage, dans cette partie de calculs, je vais

3. Proposition d'un programme de forage

utiliser les formules données et décrites pendant le cours de cimentation avec notre professeur Mr. DJEBARI.

3.2.7 Selon les calculs de programme :

L'opération se fait en fonction de la construction du trou.

3.2.7.1 Volume nécessaire du laitier de ciment : [26]

$$V_L = 0.785[(K_1 \times D_{Tr}^2 - d_{ext}^2) \times H + d_{in}^2 \times h_0]$$

$$V_L = 0.785[(1.05 \times (0.610)^2 - (0.508)^2) \times 25 + (0.340)^2 \times 20]$$

$$V_L = 4.417 \text{ m}^3.$$

V_L : volume de laitier de ciment nécessaire.

K : coefficient dépendant de la nature du terrain ($k_1=1.05$).

H : hauteur à cimenter dans l'espace annulaire.

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

D_{Tr} : Diamètre de trou.

$D_{Tub in}$: Diamètre intérieur du tubage.

$D_{Tub ex}$: Diamètre extérieur du tubage.

$$D_{Trou} = \emptyset 24'' = 24 \times 0.0254 = 0.610$$

$$D_{ex tub} = \emptyset 20'' = 20 \times 0.0254 = 0.508$$

$$D_{in tub} = \emptyset 13^{3/8} = 13.37 \times 0.0254 = 0.340$$

Remarque :

Le volume de laitier de ciment utilisé sur chantier est de 4 m³.

3.2.7.2 Quantité de ciment pour 1 m³ de laitier :

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

$$q_c = \frac{3.15 \times 1}{1 \times 0.46 \times 3.15} = 2.2 \text{ T/m}^3.$$

q_c : quantité de ciment.

γ_e : densité de gâchage d'eau 1.

γ_c : densité de ciment 3.15.

ω : rapport eau / ciment = 46 %.

$$q_c = \frac{3.15 \times 1}{1 \times 0.46 \times 3.15} = 2.2 \text{ T/m}^3.$$

3.2.7.3 Densité du laitier de ciment :

3. Proposition d'un programme de forage

$$\gamma_L = q_c(1 + \omega)$$

q_c : quantité de ciment.

γ_L : densité du laitier de ciment 3.15.

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

$$\gamma_L = 2.2 \times (1 + 0.46).$$

$$\gamma_L = 3.21$$

Remarque :

La densité de ciment trouvée sur chantier est égale à 1.7.

3.2.7.4 Poids total de ciment sec :

$$Q_c = q_c \times V_L \times K_2$$

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.

$$Q_c = 2.2 \times 4.417 \times 1.05 = 10.20 \text{ T}$$

$$1 \text{ T} = 1000 \text{ kg.}$$

$$Q_c = 10.20 \times 1000 = 10200 \text{ kg.}$$

$$Q_c = 10200 \div 50 = 204 \text{ sacs.}$$

$$Q_c = 204 \text{ sacs.}$$

Remarque :

1 sac de ciment = 50 kg, Nombre de sac de ciment utilisé sur chantier est de 204 sacs.

3.2.7.5 Volume d'eau de gâchage :

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

V_e : volume d'eau de gâchage.

γ_c : densité de ciment est de 3.15.

Q_c : quantité totale de ciment.

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

$$V_e = \frac{0.46 \times 10.20}{3.15} = 1.5 \text{ t}$$

$$1 \text{ t} = 1000 \text{ L}$$

3. Proposition d'un programme de forage

$$1.5 \text{ t} = X L$$

$$X = \frac{1000 \times 1.5}{1} = 1500 L.$$

$$1 \text{ m}^3 = 1000 L.$$

$$V_e = 1.5 \text{ m}^3.$$

Remarque :

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

3.3 Volume de fluide de chasse :

$$V_{ch} = 0.785 \times K_3 \times [(H - h_0) \times d_{in \text{ tub}}^2]$$

V_{ch} : volume de fluide de chasse.

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

H : hauteur à cimenter dans l'espace annulaire.

h_0 : hauteur de sécurité qui est prise de 10 à 20m.

$$V_{ch} = 0.785 \times 1 \times [(88 - 20) \times (0.340)^2]$$

$$V_{ch} = 6.17 \text{ m}^3.$$

3.3.1 Troisième phase (12"^{1/4} X 8"^{5/8}) : Colonne de captage

Le but de cette phase est de forer en 12"^{1/4} avec placement de tubage, pour capter la nappe SENONIEN-CARBONATE.

Elle consiste à :

- Forer en 12" ^{1/4} de 88 m à 207.60 m.
- Mise en place de tubes pleins 8" ^{5/8} à la côte de 84 m à 102,54 m.
- Mise en place de tubes crépinés Johnson Ø8" ^{5/8} à la côte de 102.54 m à 145.80 m.
- Mise en place de tubes pleins Ø 8" ^{5/8} à la côte de 145.80 m à 151.98 m.
- Mise en place de tubes crépinés Johnson Ø8" ^{5/8} à la côte de 151.98 m à 201.42 m.
- Mise en place de tubes pleins Ø8" ^{5/8} à la côte de 201.42 m à 207 m.
- Mise en place de sabot de décantation Ø8" ^{5/8} à la côte de 207 m à 207.6 m.

3.3.2 Préparation avant le forage :

Vérifier avant le démarrage qu'il existe une réserve maximum d'eau et que les moyens nécessaires pour transporter d'eau de la source jusqu'au chantier sont suffisants.

- Vérifier l'état de l'outil de forage 12"^{1/4}.
- La colonne de captage 8"^{5/8}.

3. Proposition d'un programme de forage

- Avoir une quantité de boue sur chantier suffisante.
- Mixer la boue benthonique en prévision du forage.
- Avoir une quantité de gravier suffisante sur site.

3.3.3 Risques potentiels :

- Risque de pertes (partielle ou totale) de boue.
- Risques de coincement au niveau calcaires.
- Avancement très lent.
- Vibrations lors du forage, si une dalle calcaire est rencontrée.
- Tractions en cours des ajouts de simple.

3.3.4 Limitation des problèmes de forage par :

- Réduction des paramètres de forage dans les formations sableuses.
- Ramonage lent du trou 2 fois avant chaque ajout, sur toute la longueur de la tige.
- Forage avec avancement instantané aussi régulier que possible.
- Augmenter les paramètres de forage progressivement jusqu'à atteindre un débit de 1000 l/min, 50-80 RPM avec le poids total de la garniture – à ne pas dépasser une Vitesse d'avancement de 7.5 m/h et densité de boue 1.08 à la sortie de puits.

- Toutes les dispositions doivent être prises pour avoir suffisamment de boue pour terminer la phase.
- En cas de pertes de circulation, pomper des bouchons de colmatant.

Si la perte est poursuivie procéder au forage a boue légère ou à l'eau claire, garder une réserve de boue visqueuse prête à être pompée.

- A la côte sabot, limiter au minimum la circulation et entamé une circulation avec rotation pour le nettoyage du puits.
- En cas de tirage durant la remontée essayer de garder la garniture toujours libre vers le bas et remonté en back teaming.
- Faire un contrôle trou si des tractions ont été constatées pendant la remontée avant la descente de tubage 8"5/8.

3.3.5 Préparation avant la descente de la colonne de captage :

- Nettoyer, mesurer et calibrer le tubage et le tubage lanternée 8"5/8.
- Inspecter visuellement les filetages.
- Vérifier la présence sur site de la quantité nécessaire du gravier.

3. Proposition d'un programme de forage

- Préparer et voir la disponibilité des élévateurs et les clés nécessaires pour le vissage des tubes.
- Vérifier la disponibilité des moyens de manutentions sur site.

3.3.6 Recommandations pour la descente du tubage :

- ❖ Tenir un-Pré-job safety meeting.
- ❖ Descendre le sabot et le tubage plein et crépiné 8"^{5/8} au fond.
- ❖ Centrer et souder le tubage 13"^{3/8} avec 8"^{5/8} le tubage.
- ❖ Couper le tubage à 60 cm du niveau du sol.

3.3.7 Construction de l'avant puits : [24]

- Forage de l'avant puits en outil Ø24"^{1/4} suivi d'un alésage de 0 à 25 mètres.
- Pose et cimentation du tube guide Ø20" en acier de 0 à 25 mètres entièrement cimenté.

3.3.8 Reconnaissance en outil Ø12"^{1/4} et analyse des cuttings :

La reconnaissance est réalisée en outil Ø12"^{1/4} , de 00 m à 207.6 m, ainsi les descriptions lithologiques des cuttings prélevés tous les mètres sont comme suit :

- 01 – 10 m Sables fins siliceux,
- 10 – 12 m Calcaires et sables rouge,
- 12 – 18 m Sables fins avec peu de calcaires,
- 18 – 26 m Sables fins siliceux,
- 26 – 30 m Calcaires et grés avec présence de sables siliceux de couleur blanc,
- 30 – 46 m Sables et graviers siliceux,
- 46 – 48 m Gypse et calcaires blanchâtres avec sables siliceux,
- 48 – 88 m Calcaires blanchâtres avec peu de gypes et silex,
- 88 – 172 m Calcaires blanchâtres poreux et coquillers avec peu de grés, silex, argiles et traces de gypse,
- 172 – 178 m Calcaires crayeux blanchâtres avec peu d'argiles,
- 178 – 192 m Calcaires coquillers poreux de couleur blanchâtres,
- 192 – 195 m Marnes blanchâtres,
- 195 – 200 m Calcaires blanchâtres avec présence d'argiles.

3. Proposition d'un programme de forage

3.3.9 Enregistrements diagraphiques :

Enregistrements diagraphiques de 0 m à 207.60 m, les opérations électriques effectuées sont :

- ❖ Gamma Ray,
- ❖ Résistivités,
- ❖ Polarisation Spontanée.

3.3.10 Pose de la colonne de production API13" $\frac{3}{8}$ et la colonne de captage Inox Ø8" $\frac{5}{8}$

Après l'élargissement et l'alésage en 17" $\frac{1}{2}$, il a été procédé à la mise en place de la colonne de production API Ø13" $\frac{3}{8}$, de la côte +0.5 m à 88 m et cimentation de l'espace annulaire au jour.

Après la mise en place de tubage, un nettoyage du forage est effectué par un outil de Ø12" $\frac{1}{4}$, et ce de 88 m jusqu'à 207.6 m, afin de préparer le trou pour la descente de la colonne de captage Inox Ø8" $\frac{5}{8}$.

La colonne de captage en Inox Ø8" $\frac{5}{8}$ descendus est composée :

- ❖ De 84 m à 102.54 m : Tubes pleins Ø8" $\frac{5}{8}$ (18.54 m soit 03TP),
- ❖ De 102.54 m à 145.8 m : Tubes crépinés Johnson slot 20 Ø8" $\frac{5}{8}$ (43.26 m soit 07TC),
- ❖ De 145.8 m à 151.98 m : Tubes pleins (06.18 m soit 01TP),
- ❖ De 151.98 m à 201.42 m : Tubes crépinés Johnson slot 20 (49.44 m soit 08TC),
- ❖ De 201.42 m à 207.6 m : Tubes pleins (6.18 m soit Sabot).
- ❖ Mise en place dans l'espace annulaire d'un massif de gravier (massif filtrant) siliceux roulé, lavé et criblé de diamètre 3 à 5 mm (soit 5 m³) de 84 m à 207.60 m.

3.4 Développement :

Le développement d'un forage consiste, entre autres, à améliorer la perméabilité de la formation aquifère située autour de la crépine et à stabiliser cette formation.

Il comprend l'élimination des éléments fins qui colmatent naturellement le terrain et de la boue de forage utilisée lors du forage, ainsi que l'élargissement des fissures dans les roches massives fissurées.

3.4.1 Types de développement :

Parmi les types de développement, on peut citer :

- Développement air lift,
- Développement par pompage alterné,
- Développement par pistonnage (air-lift fermé),
- Développement par lavage aux jets d'eau sous pression,
- Développement chimique.

3. Proposition d'un programme de forage

3.4.2 Développement à l'air lift :

Au début, un nettoyage du forage avec de l'eau claire pendant plusieurs heures.

Un développement du forage à l'air lift a été effectué avec un compresseur de 16 bars jusqu'à l'obtention d'une eau claire dépourvue de particules en suspension, et cela pendant une durée de 48 heures.

3.4.3 Recommandations pour le développement :

- ❖ Le développement du puits sera effectué avec un compresseur de 25 bars.
- ❖ Le nettoyage du puits ainsi que son développement doivent être effectués jusqu'à l'obtention d'une eau claire.

3.4.4 Après développement :

- ✓ Une dalle de ciment de (1m x 1m x 0,30m) sera confectionnée autour de la tête de puits et mentionnée,
- ✓ Mesurer le niveau statique avec une sonde électrique,
- ✓ Descente de la pompe immergée, si on exploite ce puits sinon il faut le fermer avec une plaque métallique.
- ✓ Nettoyage de site.

3.4.5 Massif filtrant (Gravillonnage) :

Le rôle du massif filtrant est de filtrer et purifier l'eau qui passe à travers lui, en retenant les particules solides et les impuretés.

Cela contribue à améliorer la qualité de l'eau en éliminant les substances indésirables, les sédiments et les contaminants.

3.4.6 Volume nécessaire de Gravier (massif filtrant) :

$$D_{\text{Trou}} : \varnothing 12''^{1/4} = 12.25 \times 0.0254 = 0.311 \text{ m.}$$

$$D_{\text{crépine}} : \varnothing 8''^{5/8} = 8.625 \times 0.0254 = 0.219 \text{ m.}$$

$$V_G = 0.785[K_1 \times (D_T)^2 - (D_{cr})^2 \times H]$$

$$V_G = 0.785[(1.05 \times (0.311)^2 - (0.219)^2) \times 123]$$

$$V_G = 0.86 \text{ m}^3.$$

Le volume nécessaire de massif filtrant (gravier) est : 0.86 m³.

Remarque :

- Sur chantier le volume de massif filtrant (gravier) utilisé est de : 0.86 m³.
- Mise en place d'un volume de 0.86 m³ environ, de graviers siliceux et calibrés de 84 m à 207m mètres.

3.4.7 Préparation avant l'opération de mise en gravier :

- ❖ S'assurer avant le démarrage de l'opération la réserve maximum d'eau et la quantité suffisante de

3. Proposition d'un programme de forage

gravier sur chantier.

- ❖ Le massif de gravier doit être de bonne qualité de 3 à 5mm (Siliceux, arrondi et propre).
- ❖ Descendre le volume de gravier nécessaire entre l'annulaire et la colonne de captage et le tubage.

3.4.8 Recommandations pour la mise en gravier :

- Faire une circulation dans le puits pour alléger la boue.
- La mise en gravier se fait légèrement du fond de puits 207m jusqu'à la surface.

3.5 Description lithologiques :

Durant la phase de perforation du forage, il a été procédé au prélèvement d'un échantillon Chaque mètre. L'échantillon pris est ensuite lavé et mis dans un sachet étiqueté. Par la Suite, analyse des échantillons ont permis de reconstituer la coupe lithologique suivante :

Profondeur (m)		Description
De	A	
01	10	Sables fins siliceux.
10	12	Calcaires et sables rouge.
12	18	Sables fins avec peu de calcaires.
18	26	Sables fins siliceux.
26	30	Calcaires et grès avec présence de sables siliceux de couleur blanc
30	46	Sables et graviers siliceux.
46	48	Gypse et calcaires blanchâtres avec sables siliceux.
48	88	Calcaires blanchâtres avec peu de gypes et silex.
88	172	Calcaires blanchâtres poreux et coquillers avec peu de grés, silex, argiles et traces de gypse.
172	178	Calcaires crayeux blanchâtres avec peu d'argiles.
178	192	Calcaires coquillères poreux de couleur blanchâtres.
192	195	Marnes blanchâtres.
195	200	Calcaires blanchâtres avec présence d'argiles.

Tableau 3-1 : Description lithologique du forage sidi Boughoufala.

3. Proposition d'un programme de forage

3.6 Fiche Technique :

Nom du forage : Hai Boughoufala AEP

X=5.3228891 Y=31.945825 Z=132m

Date De Réalisation 10/01/2025 au 05/08/2025

Débit maximum=22l/s, CE=2569 mS/cm, RS=1832 mg/l pH=7.56

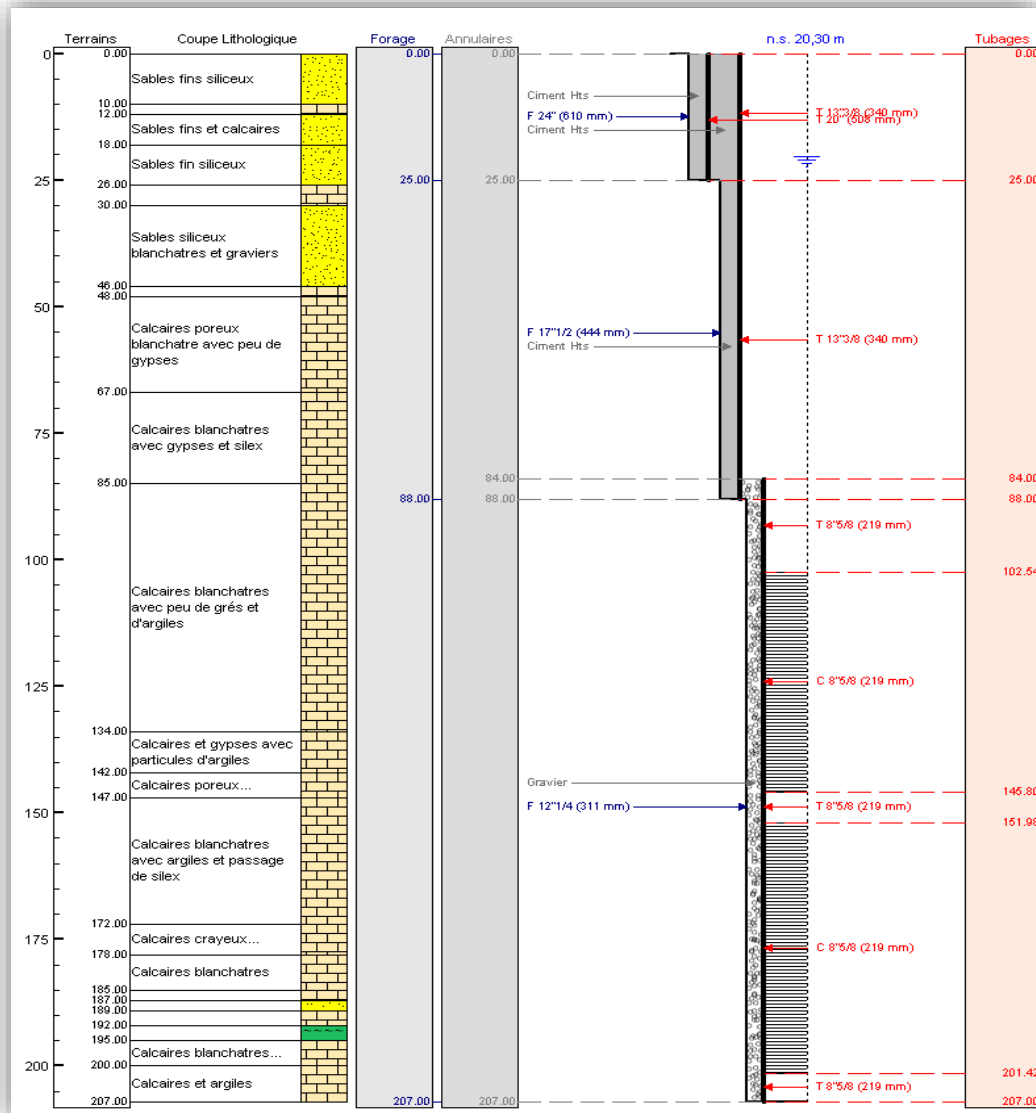


Figure 3.2 : Fiche Technique de forage Boughoufala.

3.7 Essais de Débit :

3.7.1 Essai par Paliers :

Un essai à blanc quatre (04) paliers enchainés de deux (02) heures suivies à la fin d'une observation de remontée d'une heure. Les résultats obtenus sont résumés sur le tableau n°1.

3. Proposition d'un programme de forage

Les mesures effectuées se trouvent sur les fiches de pompage de l'essai de débit par paliers.

- D'après ces mesures nous avons tracé les courbes suivantes :
- Courbe du rabattement en fonction du temps
- Diagramme pour la détermination des coefficients B et C de l'équation de Jacob
- Courbe caractéristique du forage : $s = BQ + CQ^2$
- Perte de charge linéaire : $B = 0.29 \text{ m/l/s}$
- Perte de charge quadratique : $C = 0.09 \text{ ms}^2/\text{l}^2$

Paliers	Durée (h)	Débit (l/s)	Rabat S(m)	Q spécifiques (l/s)	ΔS spécifique (m/l /s)
1 ^{er}	02	15	35.56	0.42	2.37
2 ^{eme}	02	18	36.47	0.49	2.02
3 ^{eme}	02	20	37.30	0.54	1.86
4 ^{eme}	02	22	38.04	0.57	1.72
Palier long durée	24	22	39.66	0.55	1.80

Tableau 3-2 : Essai par palier.

Conclusion :

Le débit d'exploitation est 20 l/s qui correspond à un rabattement de 37.30 mètres et un niveau dynamique de 57.6 mètres ;

La côte de calage de la pompe immergée sera entre 70 à 75 mètres.

3. Proposition d'un programme de forage

3.8 Analyse physico-chimique :

Avant la fin de l'essai, un échantillonnage d'eau a été prélevé pour analyse Physico-chimique. L'analyse chimique de l'eau a été effectuée au laboratoire chimique des eaux et sols de l'agence National des ressources Hydrique, ANRH, Direction Régionale sud de Ouargla en date du 05/08/2025.[27]

3.8.1 Résultats obtenus :

Paramètres physico-chimiques	Unité	Valeurs
pH	/	7.56
Conductivité à 25°C	$\mu S/cm$	2569
Résidu sec à 105°C	mg/l	1832
Turbidité eau brute	NTU	09
Turbidité eau décantée	NTU	05

Minéralisation Globale	Unité	Valeurs
Calcium C^{+2}	mg/l	130
Magnésium Mg^{+2}	mg/l	116.5
Sodium Na^{+}	mg/l	252.5
Potassium K^{+}	mg/l	14.5
Chlorures Cl^{-}	mg/l	367
Sulfates SO_4^{-}	mg/l	698
Bicarbonates HCO_3^{-}	mg/l	125.05
Carbonates CO_3	mg/l	00
Durée totale	F°	80.4

Paramètres de pollution	Unité	Valeurs
Nitrates NO_3	mg/l	22

Tableau 3-3 : Résultats obtenus.

3. Proposition d'un programme de forage

3.9 Comparaison de l'eau aux normes :

Eliment	Normes Algériennes (mg/l)	Normes O.M.S (mg/l)	Normes de Forage Boughoufala (mg/l)
Ca⁺²	200	200	130
Mg⁺²	150	150	116.5
N⁺	200	-	252.5
K⁺	20	-	14.5
Cl⁻	500	600	367
SO⁻⁴	400	400	698
HCO⁻³	-	-	125.05
CO⁻³	-	-	00
NO⁻³	-	-	22

Tableau 3.4: Comparaison de l'eau aux normes.

Conclusion :

Les résultats obtenus après analyse des eaux répondent aux normes exigées par, l'OMS, l'Europe et l'Algerie et sont potables.

Les eaux du forage sont exploitées et destinés à approvisionner les habitants de la zone d'étude.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

L'exploitation des réserves en eau dans le Sahara Algérien est d'une importance primordiale dont l'objectif d'assurer les besoins en eau demandés. L'exécution des programmes de réalisation des forages de captage des eaux s'intitule dans ce sens par l'installation des ouvrages nécessaires et indispensables selon des étapes qui doivent être suivies afin d'obtenir des puits d'eau répondant aux normes exigées.

C'est dans ce contexte que s'inscrit ce présent travail. Pour la réalisation d'un de captage d'eau pour l'alimentation en eau potable de la zone de Sidi Boughoufala (W – Ouargla), on doit forer un puit d'eau selon le programme qui leur a été fixé tout en respectant les conditions technico – économiques souhaités au moindre coût et à la durée exigée.

Selon la configuration hydrogéologique existante en Algérie trois modes opératoires sont utilisés

Pour mobiliser les ressources en eau souterraines du pays :

- Le forage au Rotary,
- Le forage au Battage,
- Le forage au Marteau Fond de Trou.

La méthode utilisée pour réaliser le forage de la localité de Sidi Boughoufala est le mode Rotary.

Cette méthode est largement utilisée par les foreurs, car elle s'adapte à la géologie de la région.

Le climat de la zone d'étude est caractérisé par des températures élevées de faibles précipitations, un taux d'évaporation élevé, un manque d'humidité et un pourcentage important de vents.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

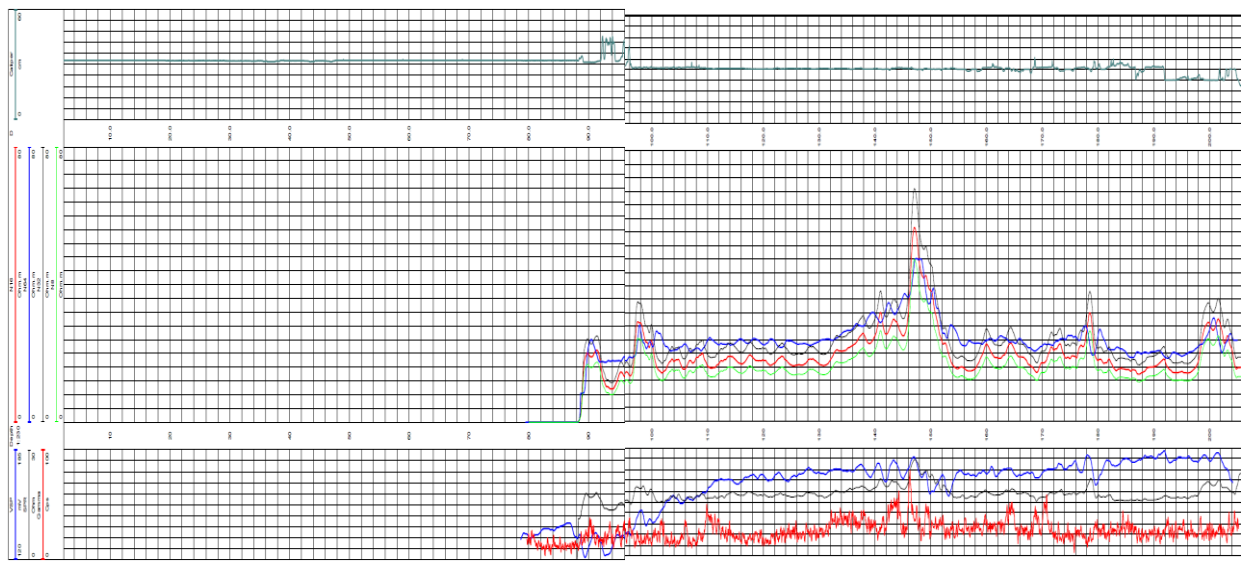
- [1] **J.P.Bernhard.** <<Cours de forage tome I édition -historique et principe du Forage-standard.A.P.I.>> (1955).
- [2] **J.P.Bernhard** <<Tour et mats de forage rotary tome I>>. (1955). I.F.P.544.Rotary.
- [3] **Jean-paulnguyen.** <<Techniques d'exploitation le forage>>. (1993).
- [4] **R. LAUGA :** Pratique du forage d'eau - Edition Sésame (1990).
- [5] **Formulaire du foreur** - Edition Technique (1978).
- [6] **A. MABILLOT :** Le Forage d'Eau, Guide pratique, (1971).
- [7] **Bessaillet Abdelhak, Boudi Mahieddine.** Suivi hydrogéologique des travaux de réalisation d'un forage d'eau [Mémoire Master]. Université Saad Dahlab Blida, 2019.
- [8] Rapport de fin des travaux, Forage d'AEP Hay Sidi Boughoufala Ouargla (Durant le stage), 2025.
- [9] **Metaiche Mehdi,** Forages techniques et procédés.
- [10] **Bouselsal Boualem.** Forage d'eau (procédés et mesures) [Destiné aux étudiants de 3ème année hydrogéologie]. Université de Kasdi Merbah. Ouargla.
- [11] **Michel Detay :** le forage d'eau, 1993.
- [12] Cours de forage destiné aux hydrauliciens en Master G.T.E.U. (Premier chapitre).
- [13] **Boukaoud El Hachemi.** Forage d'eau : procédés et mesures. Université Constantine 1 .2020.
- [14] **Ait-Salem Hamid :** Le trias détritique de l'Oued Mya, Sédimentation estuarienne diagenèse et pyrogenèse potentialités pétroliers.
- [15] **Eric Garoustet et Laurent Pyot :** Le forage d'eau (de la conception a la réalisation).
- [16] **Kechar Nadine Lina.** Etude des chitinozoaires de l'ordovicien (Exemple du puits de Bordj Nili-2 dans le bassin d'Oued Mya) [Mémoire de Master]. Tlemcen. Université Abou Bakr Belkaid. 2020.
- [17] Comité française de l'histoire de la géologie, Troisième série, 1991.
- [18] **G.Castany, J. Margat :** Dictionnaire français d'hydrogéologie, 1977.
- [19] **Mebrouki Nacira.** Etude géologique de l'extension de la zone de benkahla(le model géologique du gisement) [Mémoire de Master]. Ouargla. Université Kasdi Merbah. 2015.
- [20] **Mohamed B,** 2007 : synthèse hydrogéologique pour l'implantation d'un forage, mémoire DEUA.
- [21] **S.Mansouri :** Programme de forage hydraulique. Département hydraulique SONATRACH. 2024.

Références bibliographiques

- [22] Informations données par les ingénieurs du Département hydrogéologie-SONATRACH. (Durant le stage). 2024
- [23] **Labeni Samir** : Département hydraulique-SONATRACH. 2024.
- [24] Réalisation d'un forage hydraulique [Rapport de stage]. Direction des opérations forage ANRH OUARGLA. Août 2025.
- [25] **J.P.Bernhard**. <<Cours de forage tome I édition -historique et principe du Forage-standard.A.P.I.>> (1955).
- [26] **H. Djebari** : Cours de cimentation destiné aux étudiants en Master II Forage, 2024/2025, Université Kasdi Merbah, Ouargla.
- [27] **ANRH Ouargla** : Résultats des analyses de l'eau, 2025.

Annexes

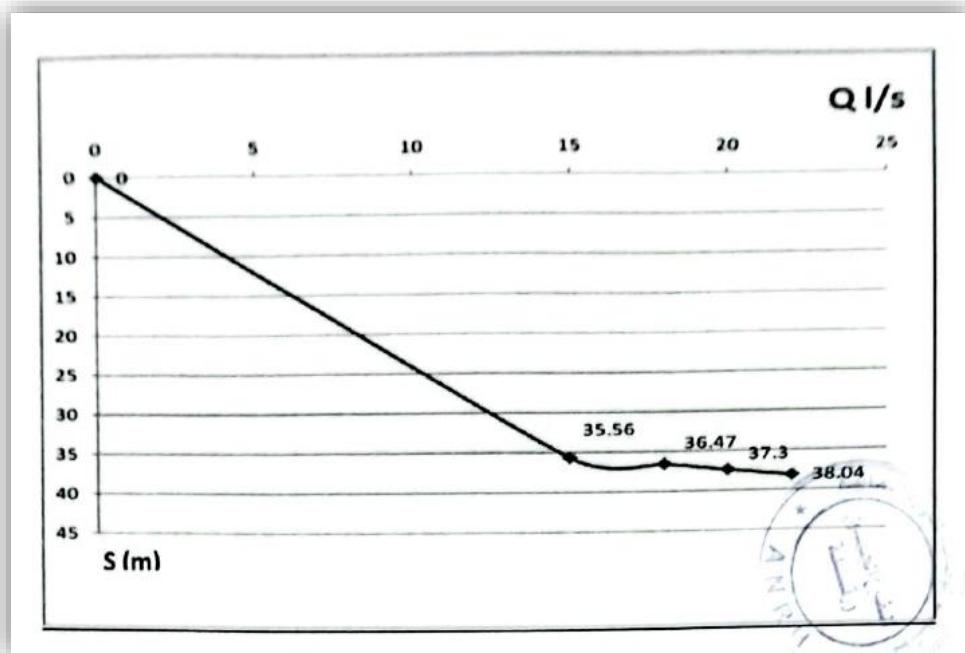
Annexes

[illegible]

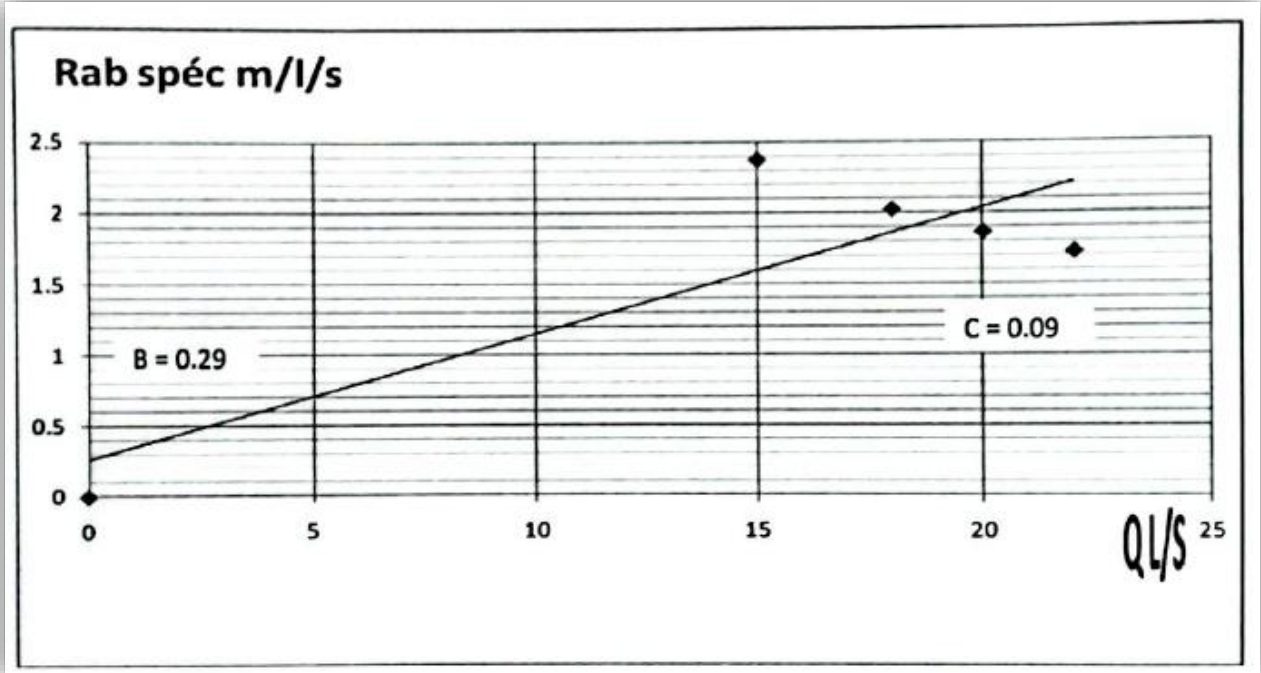
Annexe 01 : Diagraphie Boughoufala.

		NS=20.30		ND=59.96m	
Paliers	Durée (h)	Débit (l/s)	Rabat. s(m)	Q spéc. l/s/m	Δ spécifique m/l/s
1 ^{er}	02	15	35.56	0.42	2.37
2 ^{eme}	02	18	36.47	0.49	2.02
3 ^{eme}	02	20	37.30	0.54	1.86
4 ^{eme}	02	22	38.04	0.57	1.72
Palier longue durée	24	22	39.66	0.55	1.80

Annexe 02 : les résultats d'un essai de pompage par palier réalisé sur un puits à nappe captive.



Annexe 03 : Courbe caractéristique du forage d'AEP Hay Sidi Boughoufala.



Annexe 04 : Courbe de détermination des coefficients B et C de l'équation Jacob.

Q l/s	s/Q	Q m ³ /h	s	s=BQ	s=BQ+CQ ²	s = CQ ²	B	C
0		0	0	0,0	0,0	0,0	0.29	0.09
15	2.37	54	35.56	4.35	23.77	20.25		
18	2.02	64.8	36.47	5.22	33.22	29.16		
20	1.86	72	37.30	5.8	41.08	36		
22	1.80	79.2	39.66	6.38	49.09	43.56		

Annexe 05 : Coefficients de Jacob.

Temps réel = 24h							
Palier N° Constant Q max = 22 l/s							
DESCENTE				REMONTÉE			
T (mn)	ND (m)	Débit	T(m)	ND(m)	Débit	Temps (mn)	ND (m)
0	20.34	22	1560	59.10		0	59.96
1	57.00		1680	59.20		1	44.36
2	57.26		1800	59.30		2	36.67
3	57.42		1920	59.40		3	30.50
4	57.46		2040	59.50		4	27.40
5	57.48		2160	59.60		5	25.55
7	57.48		2280	59.70		7	22.58
9	57.50		2400	59.96		9	22.78
11	57.52		2520	59.96		11	22.30
13	57.54		2640	59.96		13	22.20
15	57.62		2760	59.96		15	22.02
20	57.64		2880	59.96		20	21.85
25	57.70					25	21.78
30	57.89					30	21.65
40	58.09					40	21.53
50	58.19					50	21.45
60	58.22					60	21.38
75	58.27					75	21.30
90	58.30					90	21.28
120	58.34					120	21.24
150	58.37					150	21.23
180	58.37					180	21.03
210	58.39					210	20.95
240	58.39					240	20.87
300	58.39					300	20.79
360	58.40					360	20.91
420	58.38					420	20.65
480	58.38					480	20.60
540	58.39					540	20.49
600	58.47					600	20.42
660	58.51					660	20.40
720	58.58					720	20.40
780	58.60					780	20.40
840	58.66					840	20.40
900	58.57					900	
960	58.65					960	
1020	58.65					1020	
1080	58.63					1080	
1140	58.65					1140	
1200	58.65					1200	
1260	58.65					1260	
1320	58.80					1320	
1380	58.90					1380	
1440	51.90					1440	

Annexe 06 : les essais de longue durée du forage Hay Boughoufala.