



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université de Ghardaïa N° d'enregistrement
جامعة غرداية
Faculté des Sciences et Technologies
كلية العلوم والتكنولوجيا
Département de génie civil et hydraulique
قسم الري والهندسة المدنية

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de MASTER

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Hydraulique

Spécialité : Hydraulique Urbain

Thème

**Etude et suivi de la réalisation d'un forage d'eau destiné à l'irrigation dans
la localité Kef El-Doukhane ; El-Atteuf. Wilaya de Ghardaïa**

Déposé le : /06/2022

Par:

GUELLIL Farouk & BEN SAHA Youcef

Par le jury composé de :

BOUBELLI Salim	MCA	Univ. Ghardaïa	Examineur
BOULMAIZ Tayeb	MCA	Univ. Ghardaïa	Examineur
Dr ACHOUR Mansour	MAB	Univ. Ghardaïa	Encadreur

Année universitaire 2021/2022



Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Ma très chère mère qui m'a toujours apportée

Son amour et son affection

Mon cher père, qui m'a toujours encouragée, conseillée et

Soutenue dans mon travail

Mes très chères sœurs

Mes très chers frères

A mes très chers amie(s)

A tous les enseignants de l'hydraulique,

Et tous les étudiants de l'hydraulique, en particulier

La promotion 2021/2022

A tous ceux qui portent le nom GUELLIL

A toutes personnes utilisant ce document pour un bon usage.



FAROUK



Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Ma très chère mère qui m'a toujours apportée

Son amour et son affection

Mon cher père, qui m'a toujours encouragée, conseillée et

Soutenue dans mon travail

Mes très chères sœurs

Mes très chers frères

A mes très chers amie(s)

A tous les enseignants de l'hydraulique,

Et tous les étudiants de l'hydraulique, en particulier

La promotion 2021/2022

A tous ceux qui portent le nom BEN SAHA

A toutes personnes utilisant ce document pour un bon usage.



Youcef

Remerciements

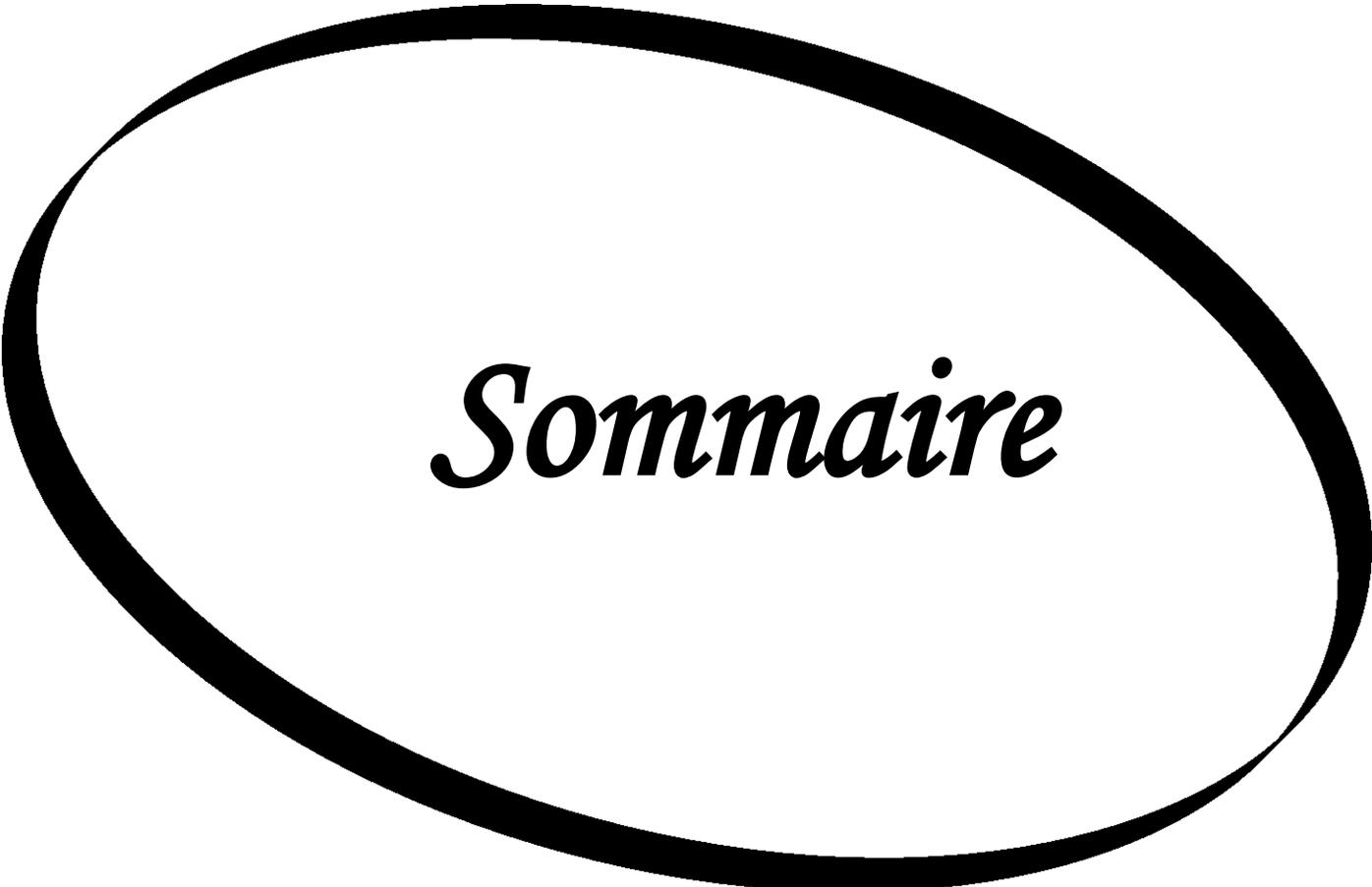
*Au terme de ce modeste travail, nous tenons à exprimer
notre profonde gratitude et nos vifs remerciements tout
d'abord :*

*ALLAH le tout puissant pour m'avoir donné la santé,
le courage Et la volonté d'étudier, et la force de réaliser
ce travail.*

*Notre Encadreur : Mr ACHOUR Mansour Maître
assistant chargée de cours à l'université de Ghardaïa,
pour ses orientations, ses précieux conseils et sa
contribution dans l'élaboration de ce travail.*

Nous tenons également à remercier :

*Le chef département de génie civil et hydraulique
Et Tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin dans
l'élaboration de ce travail.*



Sommaire

SOMMAIRE

DEDICACES	
DEDICACES	
REMERCIEMENTS	
RESUME	
SOMMAIRE	
LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I.	1
PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	1
I.1 INTRODUCTION	2
I.2. CADRE GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE.....	2
I.3. ÉTUDE HYDRAULIQUE DES CARACTERISTIQUES CLIMATIQUE.....	3
<i>I.3.1 Objectif de l'étude</i>	3
<i>I.3.2 Température</i>	4
<i>I.3.3 Précipitations</i>	4
I.4 SYNTHÈSE CLIMATIQUE DE LA REGION	5
<i>I.4.1 Diagramme Ombro-Thermique</i>	5
<i>I.4.2 Diagramme d'Emberger</i>	6
I.5 IDENTIFICATION HYDROGÉOLOGIQUE.....	8
<i>I.5.1 Nappe alluviale quaternaire</i>	8
<i>I.5.2 Nappe du Continental Intercalaire</i>	8
I.6 CONCLUSION	9
CHAPITRE II.	10
GENERALITE METHODES DE FORAGE	10
II.1. INTRODUCTION	11
II.2 BATTAGE	11
<i>II.2.1 Les différents procédés de battage</i>	11
<i>II.2.2 Avantages du battage</i>	12
<i>II.2.3 Inconvénients du battage</i>	13
II.3 FORAGE AU MARTEAU FOND DE TROU (MFT)	13
<i>II.3.1 Avantages</i>	13
<i>II.3.2 Inconvénients</i>	14
II.4 ROTARY	14
<i>II.4.1 Avantages</i>	15
<i>II.4.2 Inconvénients</i>	16
II.5 LES COMPOSANTS D'UN APPAREIL DE FORAGE	16
<i>II.5.1 Le mât de forage</i>	16
<i>II.5.2 Les tiges</i>	17
<i>II.5.3 Les masse-tiges</i>	17
<i>II.5.4 Les aléseurs</i>	18
<i>II.5.5 L'outil</i>	18
II.5.1 Mode de travail d'un tricône	19
II.6 EQUIPEMENTS D'ENTRAÎNEMENT DE LA GARNITURE DE FORAGE	20
<i>II.6.1 La table de rotation</i>	20

II.6.2 La tige d'entraînement [kelly]	20
II.6.3 La tête d'injection [swivell].....	21
II.6.4 Générateurs du courant	21
II.6.5 forage de reconnaissance :.....	22
II.4.6 Tube de guide	22
II.7 FLUIDE DE FORAGE.....	22
II.7.1 Bentonite	22
II.8 TUBAGE	23
II.9 CIMENTATION.....	24
II.9.1 Cimentation par les tiges.....	25
II.9.2 Cimentation par le tube ancré.....	26
II.9.3 Cimentation par le tube suspendu	26
II.9.4 Cimentation par canne dans l'annulaire	27
II.10 CREPINES	29
II.10.1 Différents types de crépines	29
II.11. GRAVILLONNAGE	32
II.12 DEVELOPPEMENT DEVELOPPEMENT DE FORAGE.....	33
II.12.1 Traitement par air comprimé (AIR L'IFT).....	33
II.12.2 Traitement chimique (L'hexamétaphosphate).....	33
II.13 ESSAI DE POMPAGE.....	34
II.13.1 Essais de pompage à paliers de débits de courte durée	35
II.13.2 Essais de pompage de longue durée	35
II.14 CONCLUSION	35
CHAPITRE III.	37
SUIVI DE LA REALISATION DE FORAGE	37
III.1. INTRODUCTION	38
III.2 DESTINATION DU FORAGE	38
III.3. IMPLANTATION DU FORAGE	38
III.4. CHOIX DE LA METHODE DE FORAGE	39
III.5. TRAVAUX DE SURFACE.....	39
III.6. EXECUTION DU FORAGE	39
III.7 BASSINS ET RIGOLES	40
III.7.1 Bassins	40
III.7.2 Rigoles	41
III.8 LES PHASES DE REALISATION DE FORAGE	41
III.8.1 Phase A (type de guide).....	41
III.8.2 Phase de foration	42
III.8.3 Phase d'Analyse des échantillons (cuttings)	42
III.9 TUBAGES	45
III.9.1 Mise en place du tubage	45
III.9.2 Calcul du volume de la cimentation	46
III.9.3 Opération de cimentation	47
III.10 CHOIX DU TYPE DE LA CREPINE	48
III.11 DESCENTE DE MASSIF FILTRANTE	49
III.11 POMPAGE D'ESSAI	49
III.11.1 Méthodologie	50
III.11.2 Programme des essais de débit.....	50
III.12 CARACTERISTIQUES DU FORAGE.....	52
III.13 COUT DE LA REALISATION DE L'OUVRAGE	53
III.13.1 Cout de la phase de foration	53
III.13.2 Cout de la phase de complétion	53

<i>III.13.3</i> <i>Cout des pompages d'essai</i>	54
III.14 DUREE TOTALE DE LA REALISATION	54
<i>III.14.1</i> <i>Calcul de la pénalité de retard</i>	54
<i>III.14.2</i> <i>Cout totale de la réalisation du forage</i>	55
CONCLUSION	56
CONCLUSION GENERALE	57
REFERENCES	60

الملخص

في منطقة العطف غرداية، أدت ندرة هطول الأمطار وزيادة الطلب على المياه إلى مضاعفة عدد الآبار في طبقات المياه الجوفية الثلاثة كل عام.

في عملنا تابعا حفر بئر مخصص لمناطق الري الزراعي في منطقة العطف. بتقنية الحفر الدوراني.

تمر هذه التقنية بعدة مراحل أهمها: وضع أنبوب التوجيه، الحفر ووضع أنبوب 13''8/3 مع تدعيمه بالإسمنت الى غاية سطح الجيب المائي المستغل نقوم بتركيب المصفاة ووضع الحصى الصغير هذه الاخيرة تتم في الجزء الاخير من الحفرة تم نقوم بعملية تطوير البئر من اجل التخلص من الجسيمات الرقيقة، وفي نهاية نقوم باختبارات الضخ لتحديد تدفق الذي سيتم استغلاله. كما قمنا بحساب التكلفة الجزئية والكلية لهذا المشروع بتطبيق ضريبة التأخر في الانجاز.

كلمات مفتاحية: الري الزراعي , بتقنية الحفر الدوراني

Résumé

Dans la région D'El Atteuf Ghardaïa, la rareté des précipitations et l'augmentation de la demande sur l'eau, multiplié le nombre de forages dans les trois nappes augmente chaque année. Dans notre travail nous avons suivi le forage d'un puits destiné pour Zones d'irrigation agricole de la localité de D'El Atteuf. Avec une technique de forage rotary.

Cette technique passe par plusieurs étapes, les principaux sont : pose de tube guide, forage et pose de tube plein 13''3/8 avec cimentation jusqu'au toit de la nappe captée, forage de réservoir est pose de crépine et de gravier additionnel (pour les forages de CT), développement de puits pour élimination des particules fins et en fin l'exécution des essais de pompage pour déterminer le débit d'exploitation En outre nous avons pu calculer le cout partiel et totale du projet tout en appliquant la pénalité de retard ainsi que la taxe de la valeur ajoutée (TVA)

Mot clé : l'irrigation agricole, technique de forage rotary

summary

In the Atteuf Ghardaïa region, the scarcity of rainfall and the increase in demand for water, multiplied the number of boreholes in the three aquifers increases each year. In our work we followed the drilling of a well-intended for agricultural irrigation zones of the locality of El Atteuf. With a rotary drilling technique.

This technique goes through several steps, the main ones are: installation of guide tube, drilling and laying of 13'3/8 full tube with cementation up to the roof of the collected sheet, drilling of reservoir is installation of strainer and additional gravel (for CT drilling), development of wells for the disposal of fine particles and at the end the execution of the pumping tests to determine the operating flow In addition, we were able to calculate the partial and total cost of the project while applying the delay penalty as well as the value tax added (VAT).

Key word: agricultural irrigation, rotary drilling technique



*Liste des
figures*

Liste des Figures

FIGURE I.1 : SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA WILAYA DE GHARDAÏA.....	2
FIGURE I.2 : LOCALISATION DU PROJET DU FORAGE.....	3
FIGURE I.3 : TEMPERATURES MENSUELLES MOY ET MAX (2020-2015).....	4
FIGURE I.4 : REPARTITION MENSUELLE DES PLUIES MOYENNES ANNUELLES (2020 -2015).....	5
FIGURE I.5 : DIAGRAMME OMBRO-THERMIQUE DE LA STATION DE GHARDAÏA (2020-2010).....	6
FIGURE I.6 : DIAGRAMME D'EMBERGER (2020-2015).....	7
FIGURE II.1 : LES DIFFERENTS DE LA TECHNIQUE DE BATTAGE.....	12
FIGURE II.2 : SCHEMA SIMPLIFIE D'UNE INSTALLATION DE FORAGE FOND DE TROU (MFT).....	14
FIGURE II.3 : LES ELEMENTS D'UN FORAGE ROTARY MIS EN FONCTION.....	15
FIGURE II.4 : LE MAT DE FORAGE.....	16
FIGURE II.5 : LES TIGES.....	17
FIGURE II.6 : LES MASSE-TIGES.....	18
FIGURE II.7 : L'ALESEUR.....	18
FIGURE II.8 : LES OUTILS UTILISES TRICONE.....	19
FIGURE II.9 : TRAVAIL D'UN OUTIL.....	19
FIGURE II.10 : LA TABLE DE ROTATION.....	20
FIGURE II.11 : LA TIGE D'ENTRAINEMENT [KELLY].....	20
FIGURE II.12 : LA TETE D'INJECTION [SWIVELL].....	21
FIGURE II.13 : GENERATEURS DU COURANT.....	21
FIGURE II.14 : LES SACS DE BENTONITE.....	23
FIGURE II.15 : TUBAGE A GAUCHE EN ACIER RECUPERABLE ET A DROITE EN PVC.....	24
FIGURE II.16 : MALAXAGE DU LAITIER DE CIMENT.....	25
FIGURE II.17: DISPOSITIF DE CIMENTATION PAR LES TIGES.....	25
FIGURE II.18: CIMENTATION PAR TUBE ANCRE.....	26
FIGURE II.19 : CIMENTATION PAR TUBE SUSPENDU.....	27
FIGURE II.20 : CIMENTATION PAR CANNE DANS L'ANNULAIRE.....	28
FIGURE II.21: CIMENTATION PAR CANNE.....	28
FIGURE II.22 : LES TYPES DES CREPINES EN ACIER.....	30
FIGURE II.23 : LES TYPES DES CREPINES "MUNIPAK".....	31
FIGURE II.24 : LES CREPINES EN PVC.....	32
FIGURE I.25: LES CREPINES A GAINNE EN GRAVIER AGGLOMERE.....	32
FIGURE II.26 : LES SACS DE L'HEXAMETAPHOSPHATE.....	34
FIGURE III.1 : IMPLANTATION DU FORAGE (GOOGLE EARTH PRO, 2022).....	38

FIGURE III.2 : FIGURE DE CHANTIER.....	39
FIGURE III.3 : BASSINS A BOUE DE BENTONITE.	40
FIGURE III.4 : RIGOLE D'EVACUATION DE LA BOUE.	41
FIGURE III.5 : CALCAIRE BLANC JAUNATRE DU TURONIEN	42
FIGURE III.6 : ARGILE VERDATRE DU CENOMANIEN	42
FIGURE III.7 : ARGILE VERDATRE DU CENOMANIEN	43
FIGURE III.8 : SABLE FIN PERMEABLE ALBIEN.....	43
FIGURE III.9 : LES CUTTINGS (ECHANTILLON)	43
FIGURE III.10 : COUPE TECHNIQUE ET DESCRIPTION LITHOLOGIQUE DU FORAGE.....	44
FIGURE III.11 : MISE EN PLACE DU TUBAGE.	45
FIGURE III.12 : FEUILLE EXCEL DE CALCULE.	47
FIGURE III.13 : CHASSE LE CIMENT PAR L'INJECTION DE BOUE	48
FIGURE III.14 :LA COURBE CARACTERISTIQUES DE FORAGE.	51
FIGURE III.15: DROITE DEBIT/RABATTEMENT.	52



*Liste des
tableaux*

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU. II.1. LES TIGES UTILISEES	17
TABLEAU. II.2. CARACTERISTIQUES DES MASSE-TIGES UTILISEES.	18
TABLEAU. II.3. LES OUTILS UTILISES.....	19
TABLEAU III.1: LES TUBAGES UTILISE	45
TABLEAU III.2 : MISE EN PLACE DE CREPINE.....	48
TABLEAU III.3 : LES TROIS PALIERES ENCHAINES.....	50
TABLEAU III.4 : LES PALIERS DE DEBIT DES ESSAIS.....	51
TABLEAU III.5 : LE CALCUL DES RABATTEMENTS ET LES NIVEAUX DYNAMIQUES NOUS OBTENONS.	52
TABLEAU III.6 : COUT DE LA PHASE DE FORATION	53
TABLEAU III.7 : COUT DE LA PHASE DE COMPLETION.....	53
TABLEAU III.8 : COUT DE POMPAGE D'ESSAI	54



*Introduction
générale*

Introduction générale

L'eau étant une source vitale de tout être vivant. Les eaux douces constituent 2,7% du volume total de l'eau sur terre dont 0,3 % seulement sont utilisables et se trouve à 95 % sous forme d'eaux souterraines. Ces eaux souterraines constituent donc exclusivement des ressources d'eau douce exploitable du globe qui nécessite des moyens pour être atteint voilà pourquoi sa couche supérieure est la plus utilisable même grâce aux puits artisanaux ; vulnérable qu'elle est à cause de sa communication directe par infiltration avec les eaux de surface d'où la nécessité de la technique d'ouvrages profonds (forages) pour atteindre des aquifères de plus en plus profonds ayant une garanti d'utilisation et de potabilité.

Les forages sont l'un des meilleurs moyens d'obtenir l'information du sous-sol. La réalisation des forages demande des connaissances spécialisées et des compétences techniques qui peuvent en grande partie être tirées d'ouvrages courants. Cependant, les opérations de terrain dans des zones reculées ou dans des conditions difficiles exigent souvent de la flexibilité et de l'imagination pour éviter et résoudre les problèmes techniques.

La wilaya de Ghardaïa surtout la région de Atteuf a connu ces dernières années un accroissement rapide de la population et un important développement agricole. Cette situation a engendré une grande demande de mobilisation de la ressource en eau. La nappe de la formation Albienne constitue la principale ressource en eau dans la wilaya.

Le projet a été inscrit de la réalisation d'un forage profond captant la nappe albienne, et qui sera destiné pour Zones d'irrigation agricole de la localité de kaff-eldoukhan commune de Atteuf. Dans ce contexte on a pris la responsabilité de faire le suivi étape par étape de la technique et la réalisation de cet ouvrage profond, que ce soit de point de vue géologique, hydrogéologique, et techniques de forage utilisées, ainsi que la méthode des essais de débit utilisée pour contrôler la bonne exécution du forage, et de déterminer Les paramètres hydrauliques.

L'objectif de notre travail est de réaliser des forages. Avec étude et suivi étape par étape la technique de la réalisation de cet ouvrage profond, que ce soit de point de vue géologique, hydrogéologique, et techniques de forage utilisées, ainsi que la méthode des essais de débit utilisée pour contrôler la bonne exécution du forage, et de déterminer Les paramètres hydrauliques.

Introduction générale

Notre travail a été structuré en trois chapitres :

Chapitre I. Généralité Méthodes de forage : ce chapitre présente les différentes techniques utilisées dans la foration, et La technique utilisée dans notre cas est le rotary à la boue benthonique, parce qu'elle est adéquate, grâce à ses avantages, comme elle est la plus utilisée dans la région.

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

Chapitre III. Matériel et méthodes de la réalisation du forage : ce chapitre, présente les étapes et les équipements qui ont été utilisés au cours de la réalisation du forage, objet de notre étude. La technique de forage utilisée est celle au Rotary grâce à ses nombreux avantages qui s'adaptent à notre zone d'étude.

A l'issue de ce travail nous présentons une Conclusion générale et des recommandations faisant sortir les résultats de l'étude et à prendre en considération.

Chapitre I.

Présentation De La Zone D'étude

I.1 Introduction

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

I.2. Cadre générale de la zone d'étude

La wilaya du Ghardaïa se trouve dans la partie centrale du Sahara septentrional aux portes du désert dont les altitudes varient au Sud et au Sud – Est de 330 à 450 m et Nord et le Nord -Ouest de 550 à 650 m.

Les coordonnées de la wilaya (GPS) : X : 32° 29' 39" . Y : 03° 41' 23" . Z : 548 m.

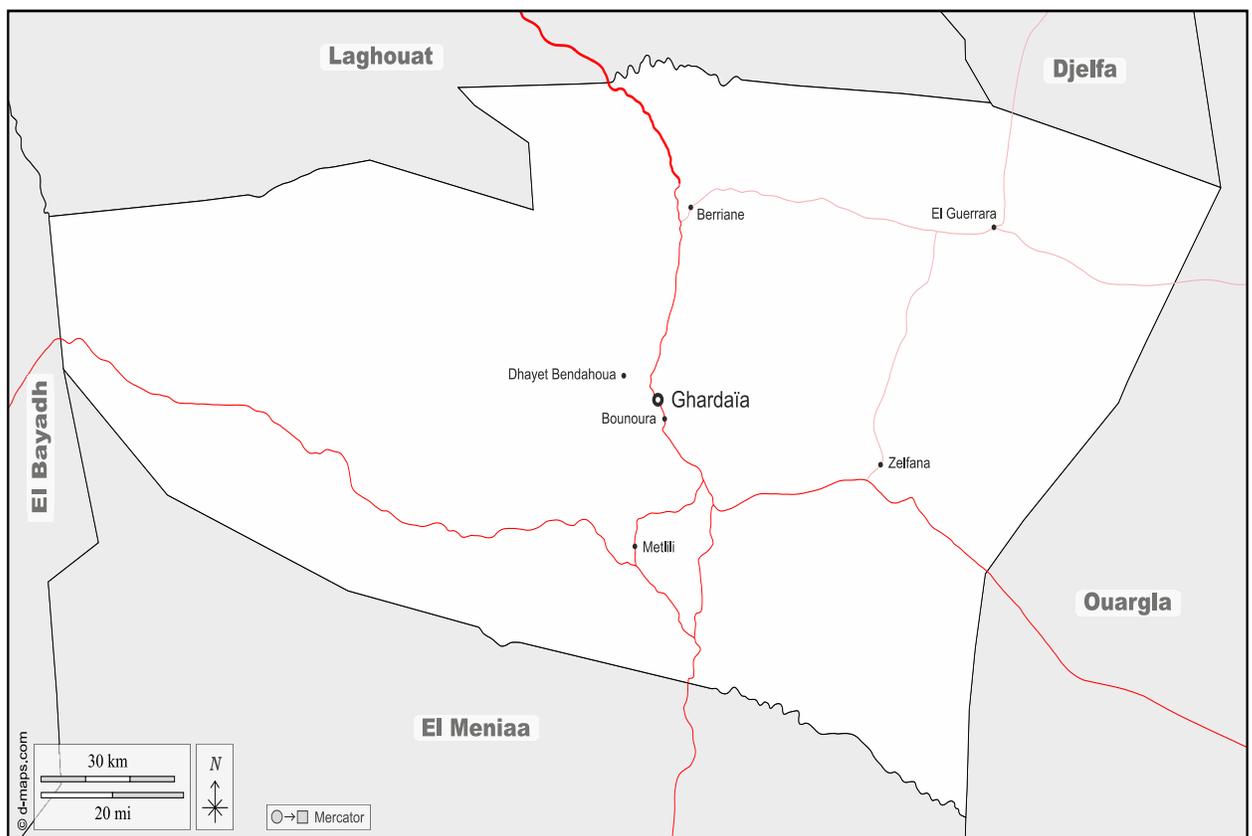


Figure I.1 : Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa.

La commune de Atteuf fait partie de la wilaya de Ghardaïa, située dans la partie sud de la wilaya, s'étend sur une assiette réelle s'élevant à 7500 Km². (Google Earth pro, 2022)

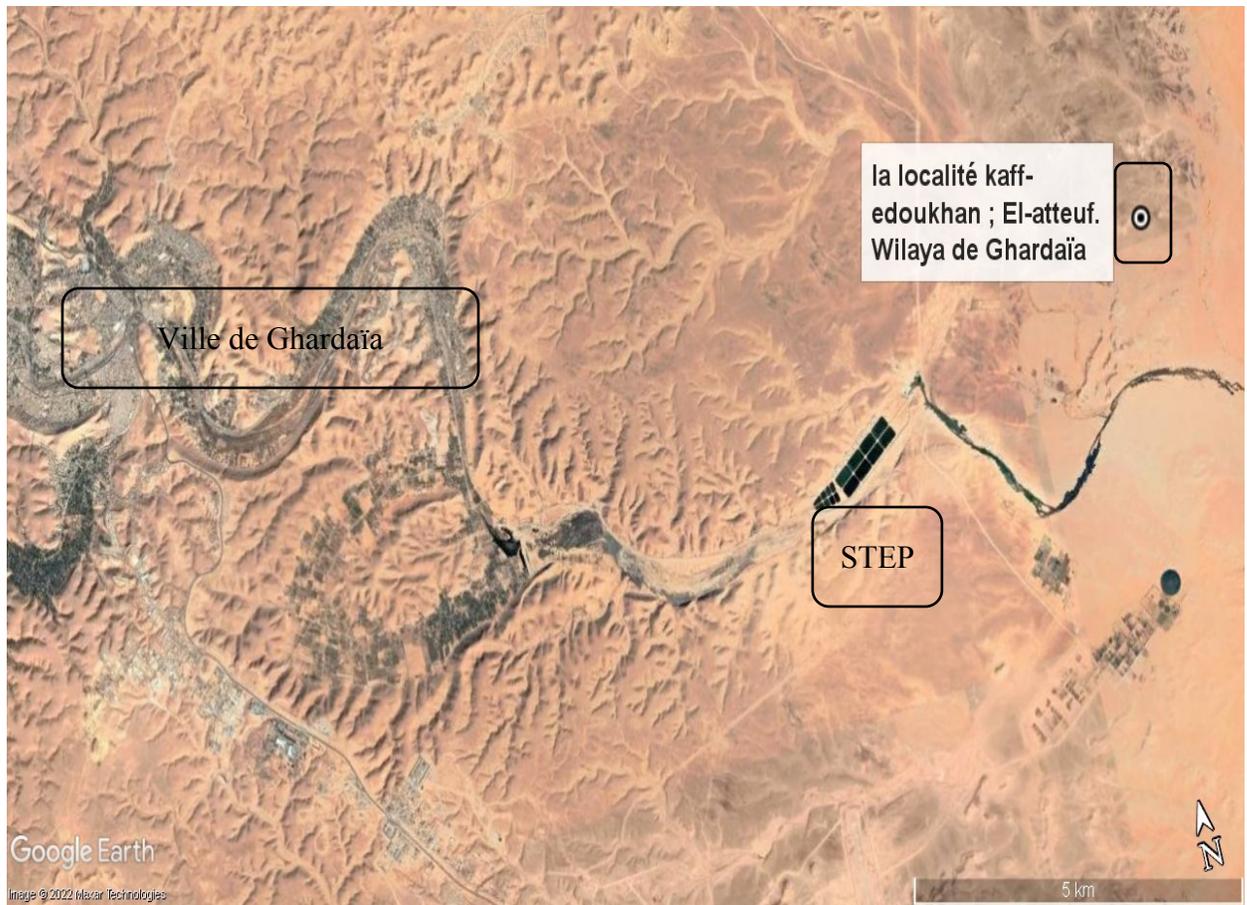


Figure I.2 : Localisation du projet du forage.

I.3. Étude hydraulique des caractéristiques climatique

I.3.1 Objectif de l'étude

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

Les données climatologiques que nous allons traiter relevées de l'Office National Météorologique de Ghardaïa (ONM). Sont réparties sur une période de 10 ans.

I.3.2 Température

L'étude hydrologique d'une région comporte l'analyse de son bilan thermique. La température est définie comme l'état atmosphérique de l'air ; elle varie selon les altitudes et la latitude de chaque région. Les données disponibles des températures moyennes mensuelles, durant la période (2020-2015) sont représentées graphiquement par la figure (I.3). (ONM, 2022)

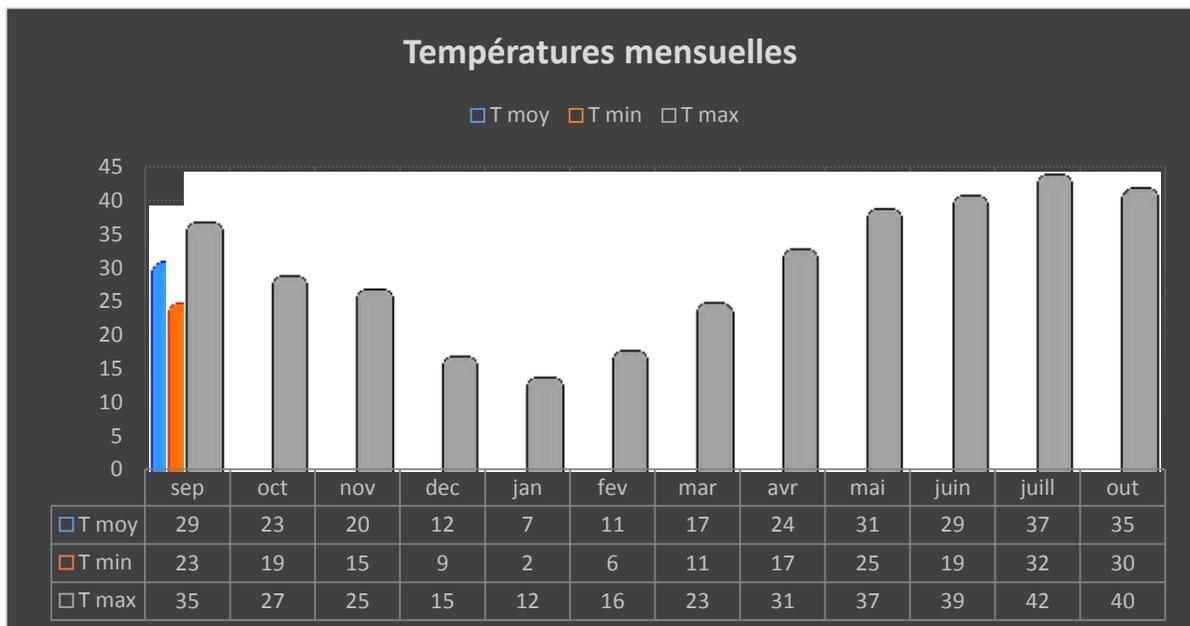


Figure I.3 : Températures mensuelles moy et max (2020-2015).

D'après le graff, les valeurs mensuelles de la température de l'air varient avec une certaine régularité pendant l'année, avec un maximum en Juillet (35.21°C) et un minimum en Janvier (11 ,29 °C).

I.3.3 Précipitations

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

Les années d'observations ont été traitées en tenant compte de toute la série avec les années communes soit 10 ans d'observation complète sans lacunes qui donne une pluie moyenne annuelle de 100 mm.

La distribution mensuelle des précipitations en (mm) est portée dans la Figure suivant

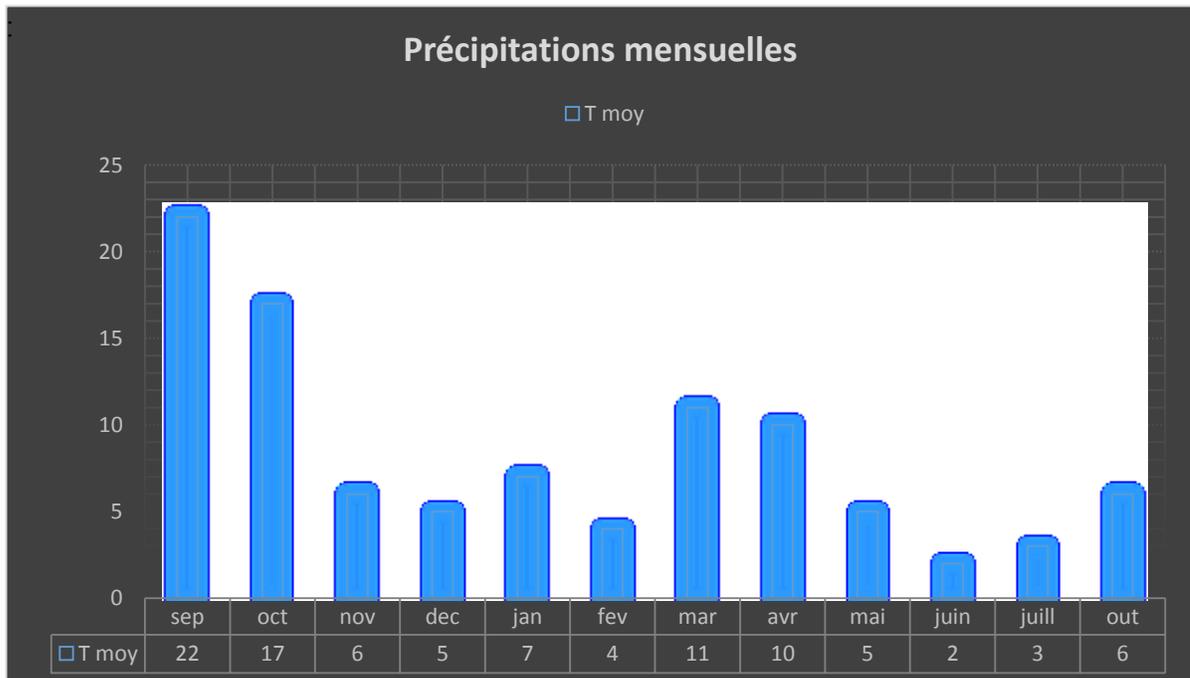


Figure I.4 : Répartition mensuelle des pluies moyennes annuelles (2020 -2015).

L'histogramme de répartition des moyennes mensuelles précipitations montrent que :

La pluviométrie maximale est de l'ordre de 25,91 mm pendant le mois de septembre, et le minimum est de l'ordre de 1,52 mm observée pendant le mois de mai avec une hauteur totale 100,39 mm. (ONM, 2022)

I.4 Synthèse climatique de la région

I.4.1 Diagramme Ombro-Thermique

Ce diagramme est établi par Gaussen et Bagnoul dans le but de déterminer les périodes sèches et humides à partir de deux paramètres climatiques : la température et la précipitation.

Si les précipitations moyennes mensuelles d'un mois sont inférieures ou égales au double de températures moyennes de même mois ($P = 2T$) ; la période est dite sèche. (ONM, 2022)

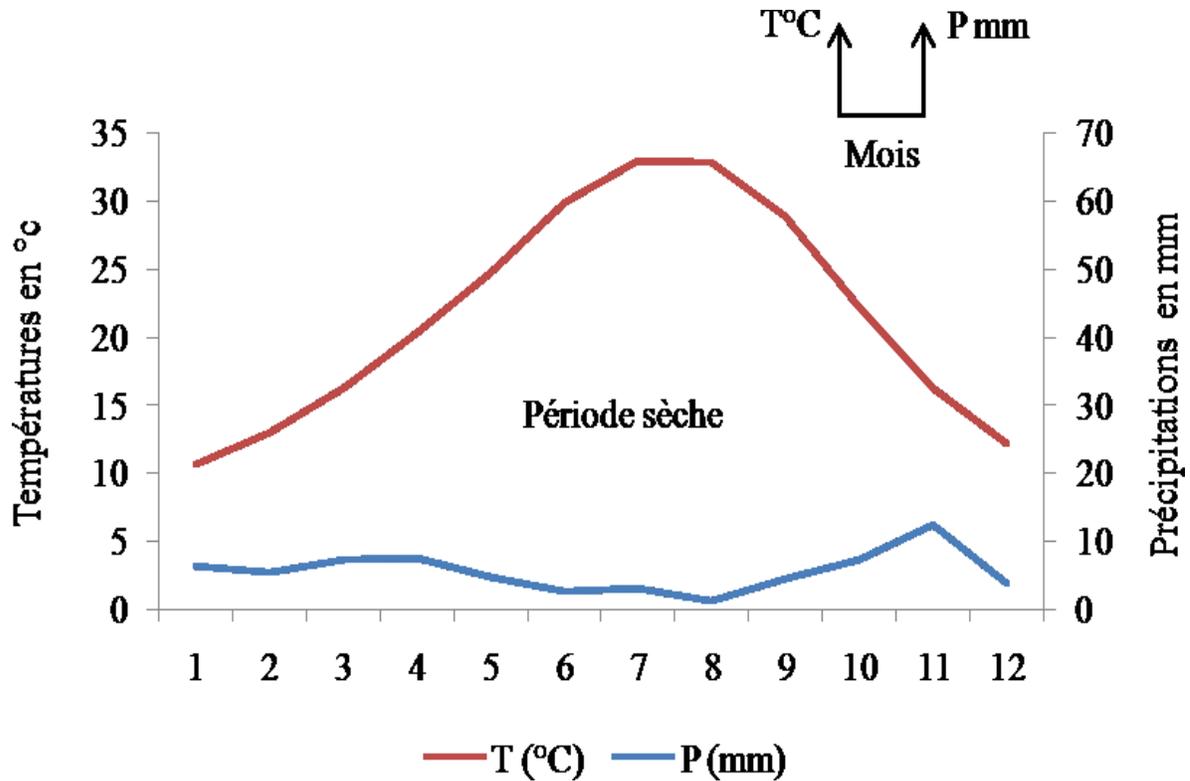


Figure I.5 : Diagramme Ombro-Thermique de la station de Ghardaïa (2020-2010).

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

I.4.2 Diagramme d'Emberger

Pour préciser le climat de la région nous employons le "climat gramme" de L. Emerger (figure. I.4) sur lequel nous avons reporté les données relatives à la station de Ghardaïa avec en abscisse la moyenne des minimas de la saison froide en (°C) et en ordonnée Q donne par la formule suivante :

Où :
$$Q3 = (3.43 * P) / (M - m)$$

Q3 : facteur des précipitations d'Emberger

P : précipitations annuelles (mm)

M : la température du mois le plus chaud (°C)

m : la température minimale du mois le plus froid (°C)

D'après les données de la période de 10 ans on a : $P=100,39$, $M= 35,21$ °C et $m =11,29$ °C

Donc : $Q3 = 14,39$ mm/°C

Selon la position sur le Diagramme d'Emberger, la région d'étude est caractérisée par un climat saharien avec un hiver chaud. (ONM, 2022)

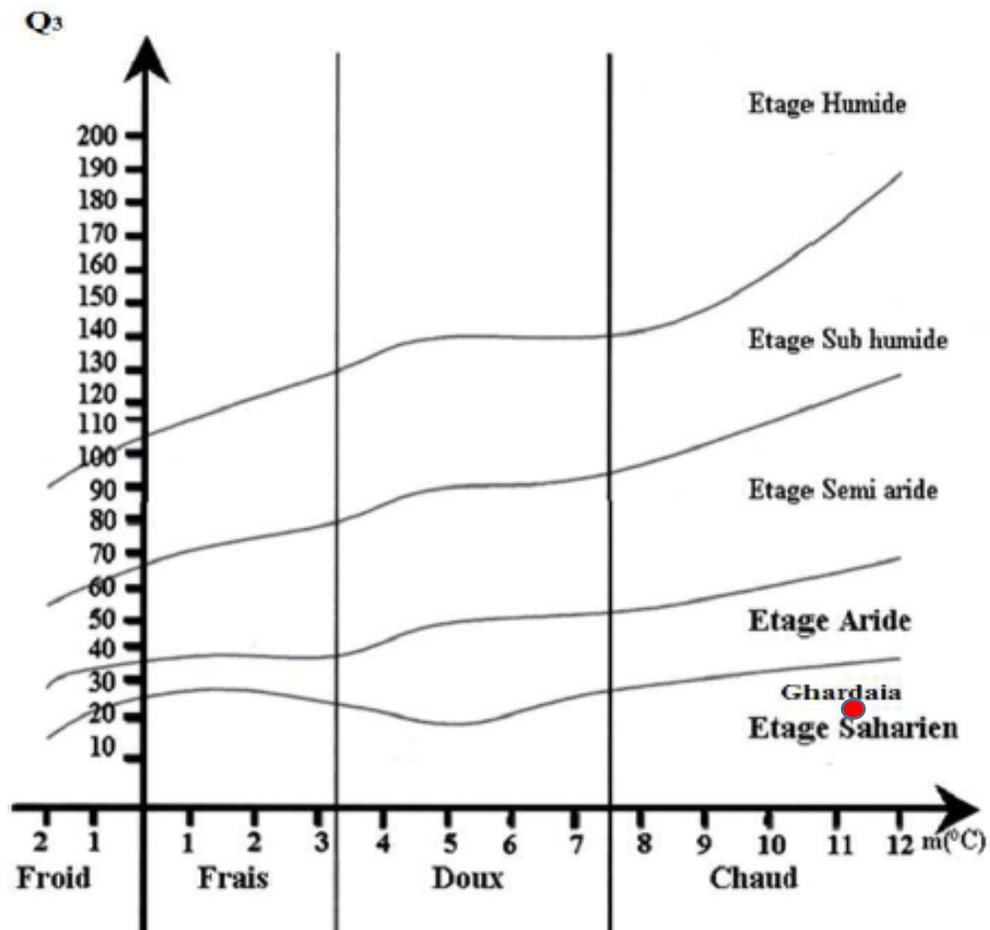


Figure I.6 : Diagramme d'Emberger (2020-2015).

I.5 Identification hydrogéologique

Les principales ressources en eau de la wilaya sont d'origine souterraine. Elles sont contenues dans deux types d'aquifères ; la nappe superficielle dite alluviale quaternaire, et la nappe profonde captive du Continental Intercalaire.

I.5.1 Nappe alluviale quaternaire

La nappe superficielle est formée d'alluvions et de sables du quaternaire, constituée de galets et de poudingues tapissant les lits des oueds (ANRH., 2022). La nappe phréatique du M'Zab à une extension Nord-Sud sous forme d'une large bande occupant l'essentiel de la partie Nord de la chebka. (ANRH., 2022)

Cette nappe présente un intérêt très important dans le domaine agricole, elle sert comme une source pour l'irrigation de la palmeraie de la vallée et elle sert également pour l'alimentation en eau potable à l'amont, surtout dans la zone de Daya ben Dahoua. Cette nappe est exploitée par des puits traditionnels. Cette nappe se trouve à des profondeurs variables (de 10 à 50 m et plus), alors que dans la partie orientale elle affleure, causant parfois l'asphyxie de palmier.

Elle est alimentée par les eaux des pluies surtout au moment des crues et par les eaux de la nappe profonde (albien) de certains forages destinés à l'irrigation et l'alimentation en eau potable. Selon l'A.N.R.H. (2016), l'eau est de bonne potabilité à l'amont, alors qu'à l'aval, elle est mauvaise et impropre à la consommation, contaminée par les polluants urbains.

I.5.2 Nappe du Continental Intercalaire

Dans la plate-forme saharienne, la nappe dite albiennaise s'étend sur 600 000 km² dans des grès et des argiles datées de 100 à 150 millions d'années. Environ 20 000 milliards de m³ d'eau y sont piégés. Elle occupe la totalité du Sahara algérien septentrional, et se prolonge dans le Sud de la Tunisie et le Nord de la Libye. Localement, l'écoulement des eaux se fait d'Ouest en Est. L'alimentation de la nappe bien qu'elle soit minime, provient directement

des eaux de pluie au piémont de l'Atlas Saharien en faveur de l'accident Sud Atlasique (ANRH., 2022)

La nappe du continental intercalaire, selon l'altitude de la zone et la variation de l'épaisseur des formations postérieures au Continental Intercalaire, est (ANRH., 2022) : - Jaillissante et admet des pressions en tête d'ouvrage de captage (Zelfana. Guerrara et certaines régions de Goléa) ;

I.6 Conclusion

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

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

Au cœur du Sahara on peut assister à des phénomènes inhabituels comme des inondations.

Durant certaines années exceptionnelles, comme au début du siècle passé où en 1991, automne 1994 et en Octobre 2008 de violentes crues ont déferlé sur la vallée en causant de sérieux dégâts.

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

- La nappe phréatique.
- La nappe de complexe terminale.
- La nappe de continental intercalaire

Chapitre II.

Généralité Méthodes de forage

II.1. Introduction

Le forage est un ensemble d'opérations qui permettent, par le biais d'un procédé mécanique, de creuser un trou de diamètre centimétrique à décimétrique, généralement vertical et utilisé à des fins scientifiques et /ou économiques

Ce procédé mécanique correspond à tout un assemblage du matériel ; monté sur camion ou bien inclut dans un atelier ; destiné à réaliser l'objectif du projet bien sûr en pénétrant le sous-sol.

Enfaite, toutes les techniques de forage (battage, rotary, foration à l'avancement ...) sont valables pour les deux styles soit atelier ou bien sur camion.

II.2 Battage

C'est une technique très ancienne, la perforation s'effectue à l'aide d'un câble muni à sa base d'un outil appelé trépan de forme soit mono lame, bilame ou cruciforme, de diamètre variant entre 300 à 1200 mm (figure1). Cet outil est suffisamment lourd (400kg à 3 tonnes) pour qu'il puisse donner au câble une extension parfaite et pour minimiser tant que possible les déviations du trou. L'avancement de l'outil est régi par des mouvements de percussions qui lui sont transmis par le câble. Cette technique de forage nécessite une injection de l'eau, depuis le début de la pénétration jusqu' à la rencontre de la première venue d'eau, et ceci pour refroidir et lubrifier l'outil qui s'échauffe au cours de sa traversée des formations géologiques. (Bouselsal, 2001)

II.2.1 Les différents procédés de battage

Deux types de battage sont a distingué : le battage au câble, c'est la méthode la plus courante et le battage au treuil qui est une technique utilisé en géotechnique, généralement dans la fixation des pieux L'apport d'information très faible, ainsi qu'on peut avoir des informations que sur la profondeur de l'eau. Alors c'est une technique valable seulement pour des forages d'exploitation et non pas de reconnaissance. (Laid, 2016)

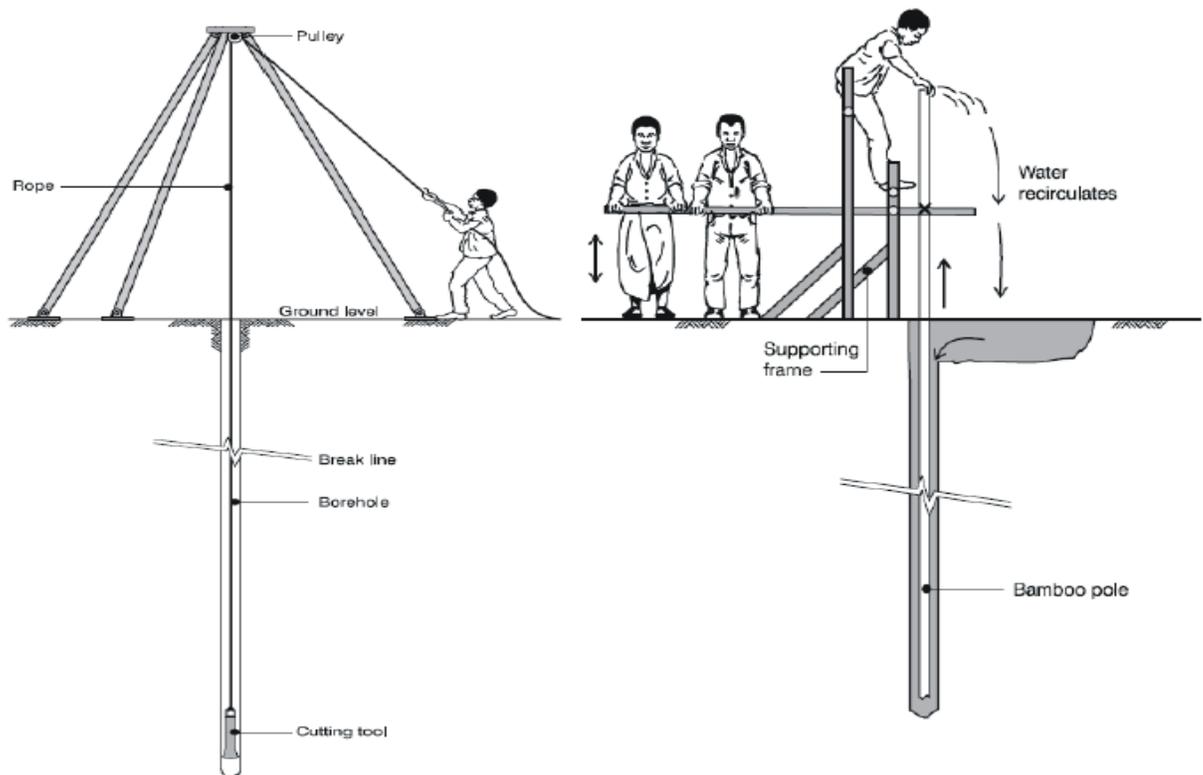


Figure II.1 : Les différents de La technique de Battage.

II.2.2 Avantages du battage

- Investissement moins important
- Énergie dépensée faible
- Facilité de mise en œuvre
- Pas de boue de forage
- Récupération aisée d'échantillons
- Nécessite moins d'eau (40 à 50 l/h) et de n'importe quelle qualité.
- La détection de la nappe même à faible pression est facile : la venue de l'eau à basse
- pression se manifeste directement dans le forage sans être aveuglée par la boue.
- Pas de problèmes dans des zones fissurées (risque lié à la perte de boue. (Laid, 2016)

II.2.3 Inconvénients du battage

- Le forage s'effectue en discontinue (forage puis curage de cuttings et ainsi de suite)
- Forage lent
- Difficultés pour équilibrer les pressions d'eau jaillissante.
- Absence de contrôle de la rectitude
- Pas de possibilité de faire le carottage. (Laid, 2016)

II.3 Forage au marteau fond de trou (MFT)

Cette technique 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 (calcaire et grès).

Un marteau pneumatique équipé de 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".

Il convient de noter que le forage avec MFT à l'air est parfois couplé à l'emploi de mousse de forage (injectée dans le circuit d'air) pour favoriser la tenue des parois et/ou la remontée des cuttings. S'agissant d'un contexte "eau minérale", le choix d'une mousse "inerte" doit être une préoccupation pour l'opération. (Youcef, 2017)

II.3.1 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 cuttings (coupe géologique) et des zones productrices (suivi foration).

- 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).

II.3.2 Inconvénients

- Procédé peu adapté dans les terrains non consolidés ou plastiques.
- Risque de formation de bouchons de cuttings, nécessitant de fréquents nettoyages du trou par soufflage.
- Nécessité d'utilisation de compresseurs très puissants voire de supresseurs en cas de foration sous des hauteurs d'eau importante.

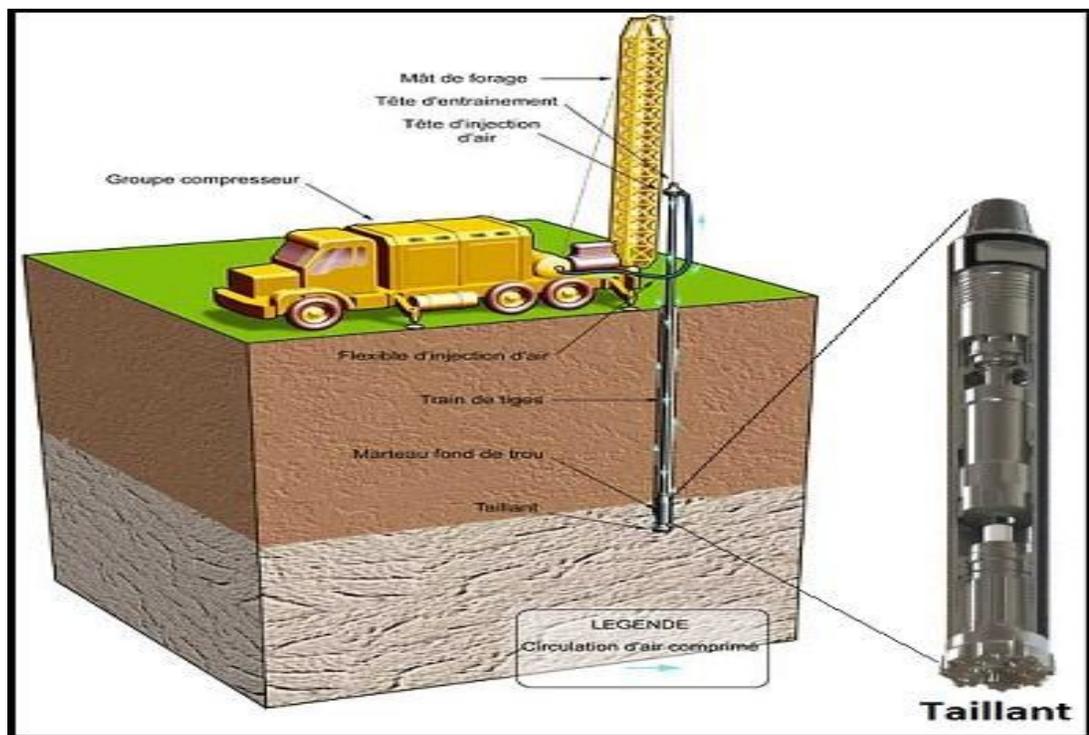


Figure II.2 : Schéma simplifié d'une installation de forage fond de trou (MFT).

II.4 Rotary

Lors d'un forage par rotary, la perforation s'effectue d'une manière rotative avec un matériel lourd. La dislocation se fait par abrasion et broyage du terrain, par le biais d'un outil appelé tricône et par roto percussion à l'aide d'un outil assemblé au marteau, appelé taillant, l'évacuation des

déblais se fait par la circulation, directe ou inverse du fluide (air, boue, eau). L'efficacité de cette technique dépend principalement de la performance du matériel utilisé. (CHEHIMA, 2021)

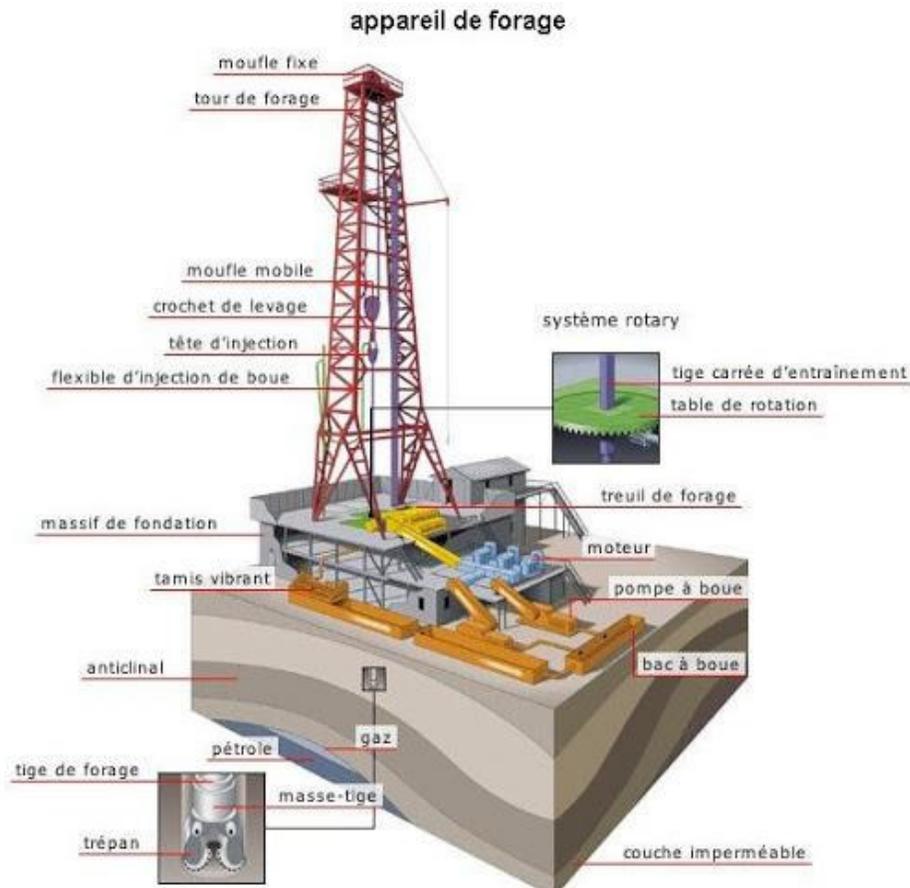


Figure II.3 : Les éléments d'un forage rotatif mis en fonction.

II.4.1 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 consolide les parois en terrains meubles par dépôt d'un cake.

II.4.2 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 cuttings, la présence de tamis vibrants en circuit retour diminue sensiblement cet inconvénient.

II.5 Les composants d'un appareil de forage

II.5.1 Le mât de forage

Le mât de forage [mast] de hauteur 15 m sert aux manœuvres des garnitures de forage ou des tubages (Figure II.4). Il peut être du type qui ne se démonte pas pour le déménagement, ou de celui qui se démonte en un petit nombre d'éléments.



Figure II.4 : Le mât de forage.

II.5.2 Les tiges

Ce sont des tubes d'acier permettent la transmission de la rotation de la table à l'outil et le passage du fluide de forage jusqu'à ce dernier (Figure II.5).



Figure II.5 : Les tiges.

Tableau. II.1. Les tiges utilisées

Nombre des tiges	Langueur	diamètre	Epaisseur
50	9.60m	110m	5mm

II.5.3 Les masse-tiges

Les masse-tiges permettent de :

- Mettre du poids sur l'outil pour éviter de faire travailler les tiges de forage en compression.

Le poids utilisable des masse-tiges ne devra pas excéder 80% de leur poids total dans la boue.

- Jouer le rôle du plomb du fil à plomb pour forer un trou aussi droit et vertical que possible

(Figure II.6).



Figure II.6 : Les masse-tiges.

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

Nombre de masse-tiges	Langueur	Poids	diamètre	Epaisseur
5	8.50m	1200kg	20cm	5cm

II.5.4 Les aléseurs

Ce sont des outils descendus immédiatement au-dessus de l'outil pour maintenir ou élargir le diamètre du trou (Figure II.7).

Dans notre étude en utilisée 2 aléseurs de 3 m de Langueur et de diamètre 17^{1/2}.



Figure II.7 : L'aléteur.

II.5.5 L'outil

Les outils de forage ont évolué au cours du temps pour répondre aux problèmes techniques du forage qui deviennent de plus en plus complexes (Figure II.8). Toutes ces évolutions ont eu pour

but d'augmenter la vitesse d'avancement et la durée de vie des outils, et donc de réduire le coût du forage.



Figure II.8 : Les outils utilisés tricône.

Tableau. II.3. Les outils utilisés

Les Phase	Longueur	Diamètre	Diamètre
entre 0 à 10 mètre	1 m	26"	60 cm
entre 10 à 313 mètre	1 m	17"	40 cm
entre 323 à 523 mètre	1 m	12"	30 cm

II.5.1 Mode de travail d'un tricône

Sous l'effet de la compression, la dent pénètre dans la roche et l'éclate (figure II.9). En tournant sur elle-même sous l'effet de la rotation, la molette ripe la roche et arrache le copeau.

L'effet d'éclatement et de ripage sont complémentaires et varient en fonction du terrain ; le ripage dans le cas d'un terrain tendre est plus important que dans un terrain dur, tandis que l'éclatement dans un terrain dur est plus grand que dans un terrain tendre.

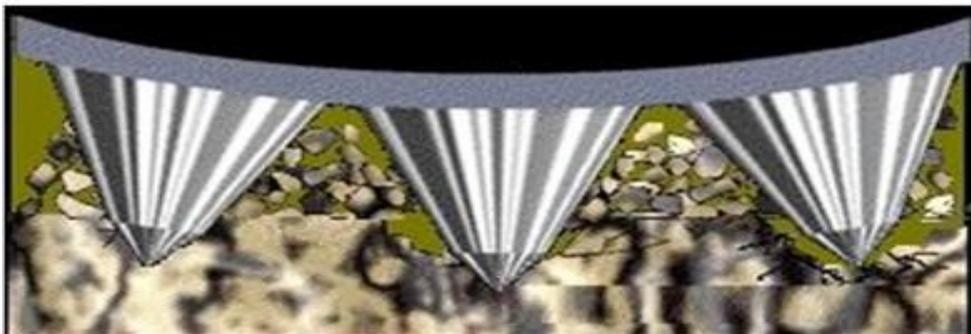


Figure II.9 : Travail d'un Outil.

II.6 Equipements d'entraînement de la garniture de forage

II.6.1 La table de rotation

En cours de forage, la table de rotation [rotary table] de Diamètre 1 mètre transmet le mouvement de rotation à la garniture de forage (Figure II.10), par l'intermédiaire de fourrures [bushings] et de la tige d'entraînement [kelly] et, en cours de manœuvre, supporte le poids de la garniture de forage, par l'intermédiaire des coins de retenue.

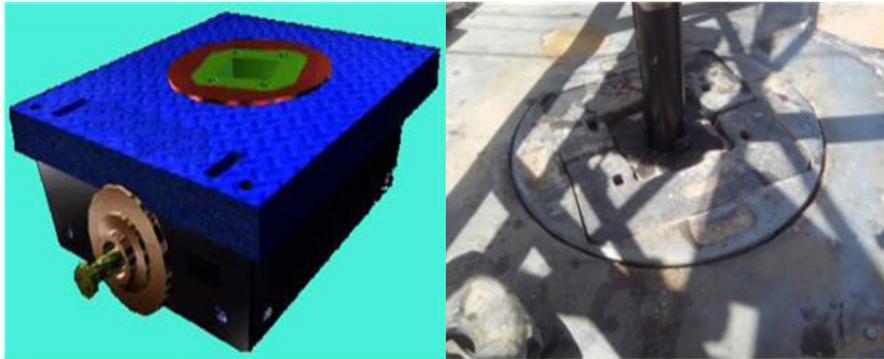


Figure II.10 : La table de rotation.

II.6.2 La tige d'entraînement [kelly]

Elle assure la liaison entre la garniture de forage et la tête d'injection et communique le mouvement de rotation de la table à la garniture de forage par l'intermédiaire du carré d'entraînement (Figure II.11).



Figure II.11 : La tige d'entraînement [kelly].

II.6.3 La tête d'injection [swivell]

La tête d'injection supporte la garniture de forage et permet d'y injecter la boue en rotation ou à l'arrêt (Figure II.12).



Figure II.12 : La tête d'injection [swivell].

II.6.4 Générateurs du courant

Les moteurs diesels (Figure II.13), produisent un courant continu ou alternatif, de voltage 380 v, assurent les fonctions levage, rotation, pompage, éclairage et auxiliaires.



Figure II.13 : Générateurs du courant.

II.6.5 forage de reconnaissance :

Le forage de reconnaissance est phase très impotente car elle permet de déterminer le toit de l'aquifère à exploité.

Pour exécuter cette phase l'entreprise a procédé du foré avec un outil de forage du diamètre 12^{1/4}.

II.4.6 Tube de guide

Est dans presque tous les cas nécessaires et peut être défini comme le tube qui isole tout le puits des terrains encaissants et qui durant les opérations contient le fluide de forage.

Ils doivent être conçus pour résister mécaniquement aux pressions qui lui seront appliquées une fois mis en place dans le forage (efforts de traction, efforts d'écrasement, efforts d'éclatement et efforts de flambage). Son diamètre est plutôt fonction du débit d'exploitation (diamètre de la pompe), et son épaisseur est en fonction de la profondeur d'installation et de la méthode de cimentation le cas échéant. La nature des tubes est principalement fonction de la qualité des eaux captées. A partir d'une analyse chimique représentative, il est possible d'optimiser la qualité des matériaux utilisés.

II.7 Fluide de forage

Les fluides de forage ont été utilisés pour l'évacuation continue des déblais, d'ailleurs le fluide utilisé initialement était l'eau, avec le développement des différentes techniques de forage qui sont en relation avec la croissance de la profondeur, et dans des conditions géologiques de plus en plus compliqués, le rôle du fluide est devenu de plus en plus important car il doit assurer les fonctions suivantes. (Boukaoud El Hachemi, 2020)

II.7.1 Bentonite

Les bentonites sont des argiles sodiques du type montmorillonite qui présentent la propriété de gonfler dans l'eau douce en absorbant une grande quantité d'eau. Les bentonites sont employées pour augmenter la viscosité et les gels des boues douces et diminuer le filtrat. En milieu salé (> 35 g/l de Na Cl), les bentonites sont inefficaces et ne servent alors que de support colloïdal. (Boukaoud, 2020)



Figure II.14 : Les sacs de bentonite.

II.8 Tubage

Le tubage est une action de faire introduire des tubes en acier ou en PVC pour soit pompé une substance liquide (eau par exemple), soit maintenir les parois de forage (Figure I.15).

Le tubage n'est pas systématique mais dépend de la stabilité des parois du forage. Les terrains de surface étant souvent peu consolidés, il est souvent nécessaire d'installer un tubage pour les stabiliser pour la suite du forage. Il est recommandé de cimenter la base du pré-tubage par un coulis de ciment lorsqu'il y a des problèmes importants d'érosion et d'éboulement (le flux d'air peut au fur et à mesure creuser une cavité à la base du tubage dans les arènes granitiques par exemple) ou d'infiltration de pollution de surface (nappe superficielle polluée que l'on veut isoler).

Au rotary, même pour des profondeurs importantes (50 à 80 mètres) les risques d'érosion des parois et d'effondrements sont réduits car la boue en formant un cake stabilise les parois et l'érosion est bien moindre (vitesse de circulation faible de la boue).

Un pré-tubage PVC peut être temporaire et retiré lorsque sa profondeur d'installation est inférieure à 20 m et bien sûr pas cimenté. Au-delà il devient impossible de le retirer sans risquer de le casser.

L'utilisation d'un tubage en acier peut permettre de le retirer quel que soit la profondeur mais dépend de la force de levage de la machine (poids des tubes plus frottements). Le diamètre intérieur du tubage doit être inférieur d'au moins 1 à 2'' ou plus au diamètre de l'outil utilisé pour forer les terrains sous-jacents.

Le tubage est donc choisi en fonction de l'outil que l'on désire faire passer dedans.



Figure II.15 : Tubage à gauche en acier récupérable et à droite en PVC

II.9 Cimentation

Suite à la descente du tubage qui a été effectué dans des bonnes conditions, le chef du chantier a ordonné d'installer la tête de cimentation et de procéder à la circulation de la boue pour bien l'espace entre le trou et le tubage (espace annulaire). L'objection de la cimentation c'est d'ésoler le terrain mort et le venue d'eau de la surface (pollution de la nappes), l'opération à débit le matin en malaxant 407 sac avec 12 m³ d'eau de gâchage, ce qui dû une volume de laitier de ciment de 19.1 m³ d'une densité de $d=1.75$.



Figure II.16 : malaxage du laitier de ciment.

II.9.1 Cimentation par les tiges

Le tubage à cimenter est muni d'un sabot destructible équipé d'une balle plastique (de la grosseur d'une balle de tennis) faisant office de valve. Le ciment injecté sous pression par les tiges pénètre dans l'espace annulaire par l'orifice du sabot qui est obturé par la balle dès l'arrêt de l'injection (Figure II.17). (SOUILEM, 2020)

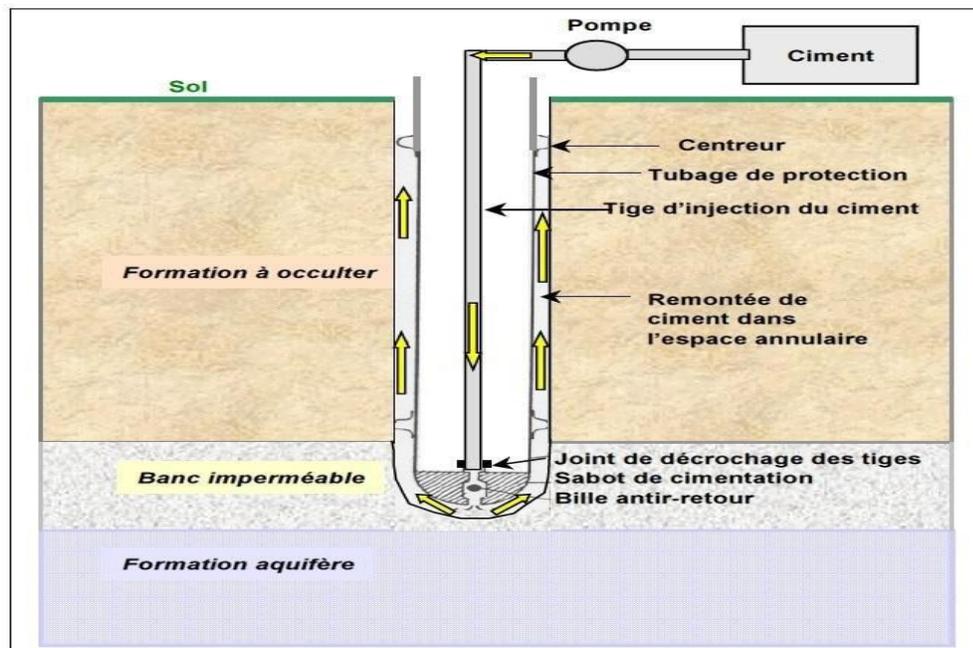


Figure II.17: Dispositif de cimentation par les tiges.

II.9.2 Cimentation par le tube ancré

A la base du tubage à cimenter des fenêtres ont été préalablement percées pour permettre la circulation de boue puis de ciment. Le volume théorique de ciment est introduit dans l'ouvrage et remonte dans l'espace annulaire sous la pression d'un joint séparateur poussé par un volume d'eau ou de boue et qui vient obturer les fenêtres de pied de tubage lorsque la cimentation est terminée (Figure II.18). (SOUILEM, 2020)

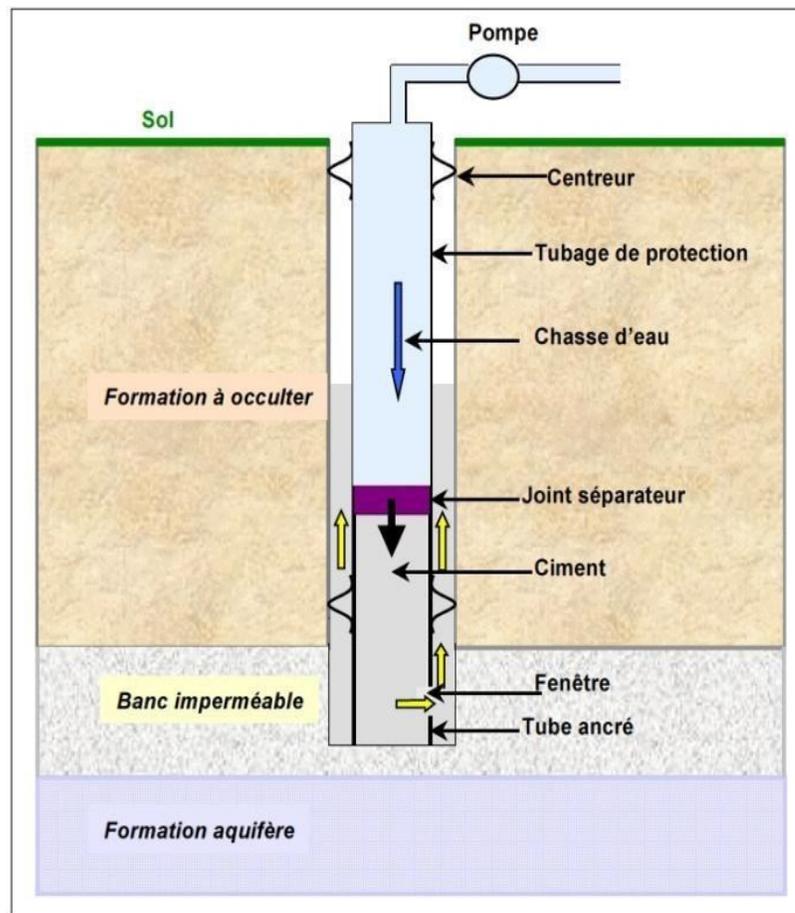


Figure II.18: Cimentation par tube ancré.

II.9.3 Cimentation par le tube suspendu

Sous l'effet d'une chasse d'eau ou de boue, un bouchon destructible (joint séparateur) pousse dans l'espace annulaire le volume de ciment théorique introduit dans le tubage (Figure II.19). (SOUILEM, 2020)

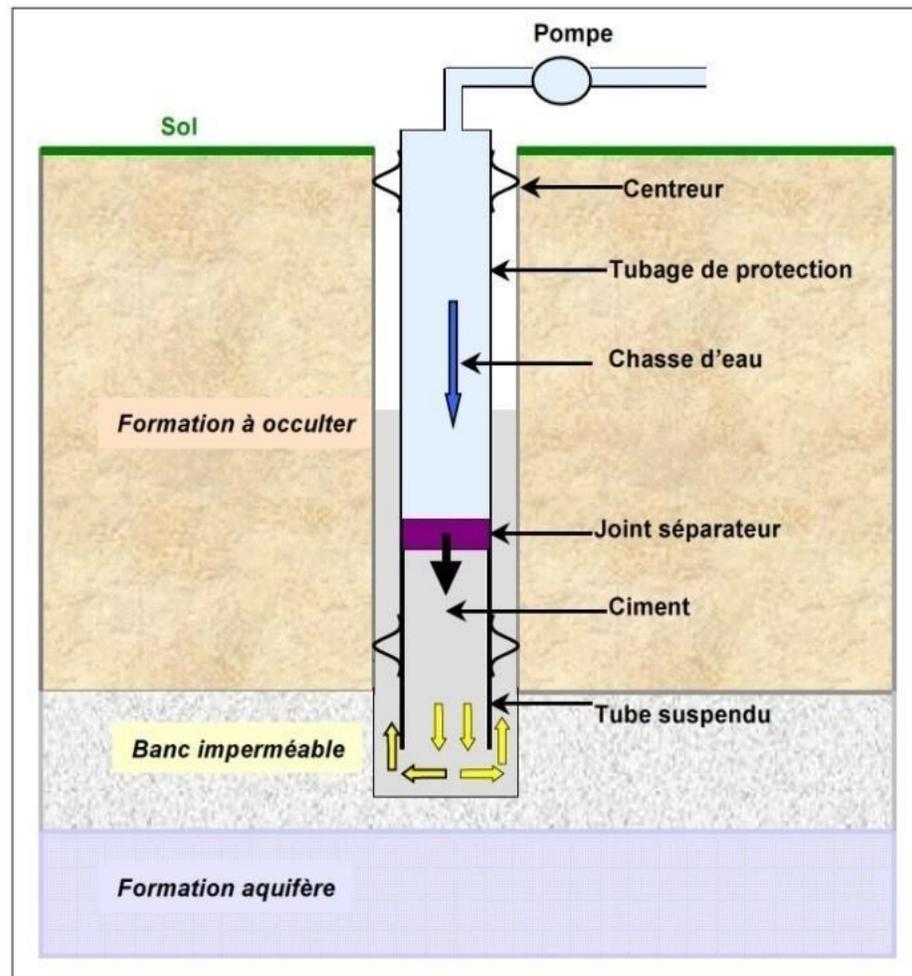


Figure II.19 : Cimentation par tube suspendu.

II.9.4 Cimentation par canne dans l'annulaire

Une garniture de petit diamètre (environ 1pouce) est descendue dans l'espace annulaire jusqu'au pied du tubage (ancré dans le terrain) (Figure II.20). Le ciment y est injecté sous pression, si nécessaire en remontant progressivement la canne de cimentation.

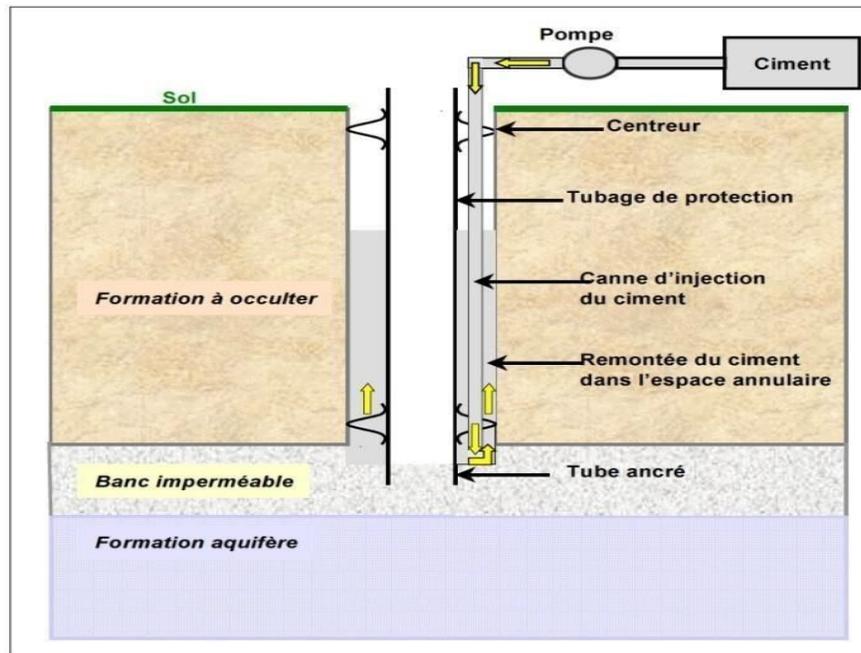


Figure II.20 : Cimentation par canne dans l'annulaire.

Dans les ouvrages à équipement monolithique (1 seul diamètre), les crépines sont descendues au bout des tubages pleins et la cimentation intervient à la fin de forage lorsque le tubage, le massif de gravier et un joint étanche de sobraniste ont été mis en place (Figure II.22). Dans ce cas, la cimentation par canne est la seule méthode permettant une injection sous pression. (SOUILEM, 2020)

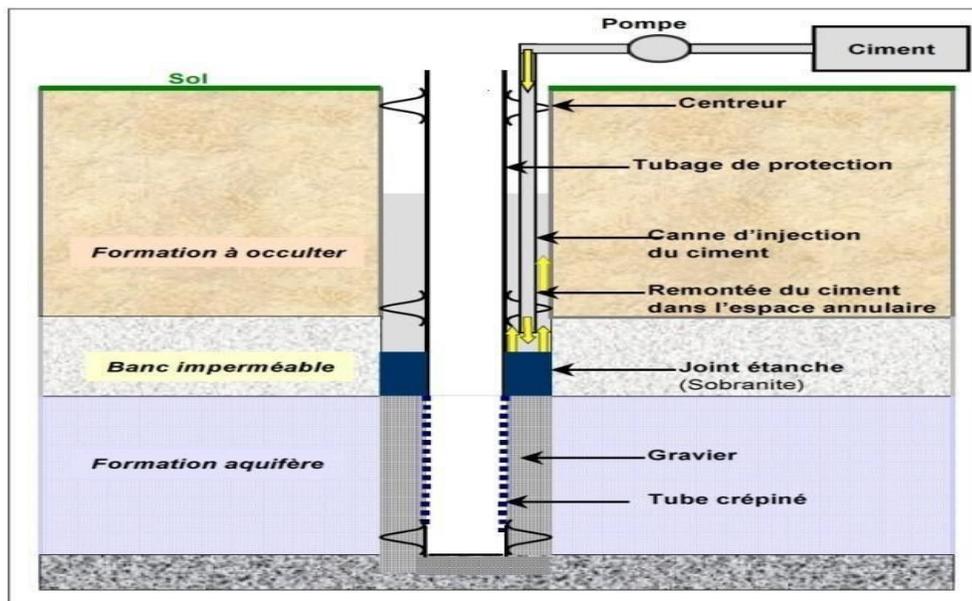


Figure II.21: Cimentation par canne

II.10 Crépines

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, les crépines doivent permettre la production maximale d'eau claire sans sable, résister à la corrosion due à des eaux agressives, résister à la pression d'écrasement exercée par la formation aquifère en cours d'exploitation, avoir une longévité maximale et induire des pertes de charge minimales.

II.10.1 Différents types de crépines

Elles sont déterminées suivant la forme et le pourcentage de vides pour allier résistance et vitesse de l'eau dans les ouvertures. Un grand pourcentage de vides permet une faible vitesse de circulation donc une plus grande sensibilité aux phénomènes d'incrustation, d'érosion et de corrosion. Une vitesse de l'eau trop importante au travers de la crépine entraîne des pertes de charge. La vitesse de l'eau au travers des ouvertures de la crépine dépend du débit de pompage, du diamètre de la crépine et de son coefficient d'ouverture.

Comme la crépine est l'élément essentiel du forage ; son choix se fait selon :

- ouvertures continues sur sa périphérie permettant un écoulement régulier.
- surface d'ouverture maximum (compatible avec sa résistance).
- les ouvertures (les fentes) doivent être croissantes vers l'intérieur pour éviter le colmatage.
- choix de la matière pour éviter la corrosion.

Leur matière peut être en acier ordinaire, en acier inoxydable, en PVC... etc. Les différents types de crépines sont : (Bouselsal, 2001)

A. Les crépines en acier

- Crépines à trous ronds : utilisé en terrains durs, sa densité de perforation est de 10%.
- Crépine à trous oblongs : avec des fentes rectangulaires verticales, de largeur au moins égale à l'épaisseur de la tôle,
- longueur standard 3 cm, sa densité de perforation varie de 10% à 20%.

- Crépine à prussiennes, avec des perforations rectangulaires horizontales, formant souvent, de bonne résistance mécanique, mais de faible pourcentage de perforation.
- Crépine à nervures repoussées, réalisé à plat puis roulé et soudé, de bonne résistance mécanique du fait du faible enlèvement de métal, de pourcentage de vide variant de 3 à 27%.
- Crépine à fente continue (type Johnson), l'ouverture est horizontale continue sur toute la longueur de la crépine, obtenue par enroulement en hélice d'un « fil enveloppe profilé » souder sur des génératrices métallique verticales.

Les avantages principaux de telle crépine sont ; la régularité et la précision des ouvertures, les faibles risques de colmatage et le coefficient d'ouverture le plus élevé par rapport aux autres crépines. (Bouselsal, 2001)



Figure II.22 : Les types des crépines en acier.

- Crépine MUNIPAK de Johnson : Capturer un aquifère sableux, fin et moyennement profond à profond s'avère souvent complexe. C'est pourquoi, la société Johnson a mis au point un kit complet d'équipement de captage, nommé Il s'agit de doubles crépines à fil enroulé, emboîtées l'une dans l'autre, et comprenant un massif filtrant intégré entre les deux crépines. Le filtre est composé de billes libres de céramiques, sphériques et lisses.

Les avantages sont multiples :

- rapidité et facilité d'installation.
- 100% de filtration sur toute la hauteur captée et diamètre de forage réduit.
- possibilité de développement, nettoyage, réhabilitation plus importante.
- peu de pertes de charge additionnelles.

- développement bactérien réduit.
- mise œuvre dans les forages déviés ou drains horizontaux, ou rechemisage.



Figure II.23 : Les types des crépines 'MUNIPAK'.

B. Les crépines en PVC :

Elles sont réalisées à partir de tubes pleins sur lesquelles sont usinées des fentes perpendiculairement à l'axe du tube. Cette disposition est la meilleure pour obtenir un écoulement optimum à travers les fentes. Plusieurs largeurs de fente sont disponibles au marché (0.5-0.6, 0.75-0.8 et 1 mm).

On trouve deux catégories des Tubes et crépines en PVC :

- Tubes et crépines à paroi normale pour profondeurs de puits faibles et moyennes.
- Tubes et crépines à paroi épaisse (ou renforcée) pour forages plus profonds.

Vu leur faible poids, les crépines et tubes pleins en PVC sont faciles à manier et à transporter. Le fait que le PVC résiste parfaitement aux attaques chimiques des eaux souterraines et aux acides généralement utilisés pour le développement des forages et leur entretien, a pour conséquence que les puits ont une plus longue longévité et que les crépines et tubes pleins, n'altèrent pas la composition de l'eau et ne dégagent aucun élément organique ou toxique. (Bouselsal, 2001)

Mais l'utilisation des crépines et des tubes en PVC dans les forages profonds (plus de 500m) est déconseillée à cause des conditions extrêmes de pression et température.

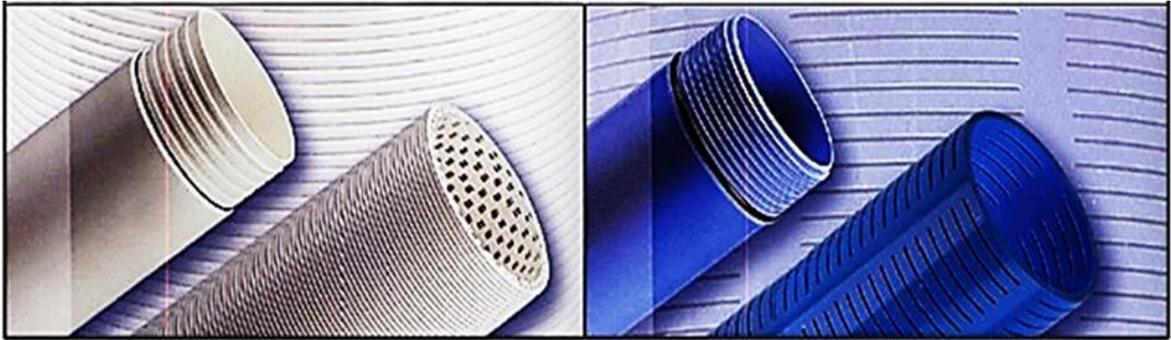


Figure II.24 : Les crépines en PVC.

C. Les crépines à gaine en gravier aggloméré

Elles sont constituées d'un élément métallique, à fentes transversales, sur lequel est placé une gaine (étui de protection) de graviers agglomérés siliceux roulés et calibrés. L'ouverture des fentes internes du tube d'acier est adaptée à la granulométrie de la formation. L'épaisseur de la gaine peut varier de 10 à 20 mm. Leur usage est limité à des formations mono granulaires fines. Elles sont caractérisées par un faible coefficient d'ouverture.

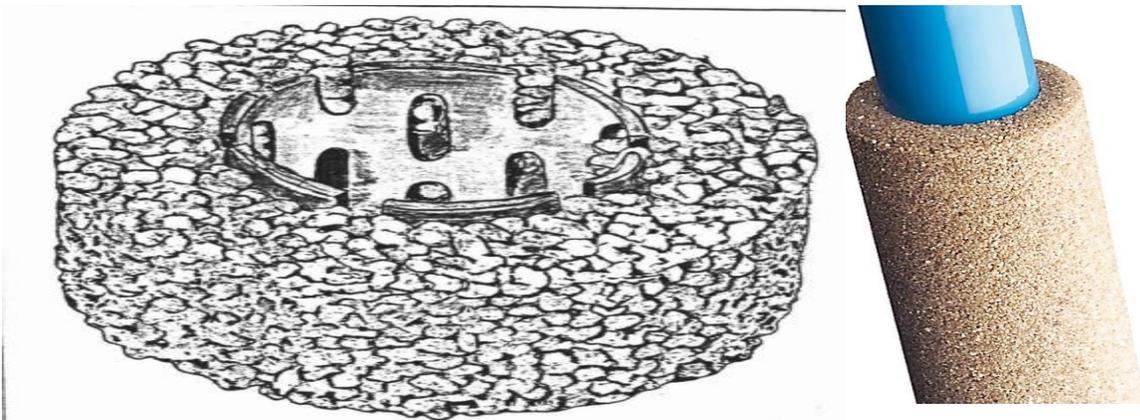


Figure II.25: Les crépines à gaine en gravier aggloméré.

II.11. gravillonnage

Les graviers sont des matériaux meubles formés d'éléments calibrés (graviers, granulats), mis dans l'espace annulaire entre la crépine et les parois de trou pour empêcher l'érosion souterraine et prévenir le colmatage et la réduction conséquente de l'efficacité du forage.

Le gravier filtrant doit être assez uniforme, calibré, propre, rond et siliceux. Il ne doit pas être calcaire, ni concassé.

Par ailleurs, il faut savoir qu'un gravier additionnel de granulométrie surdimensionnée dans une formation sableuse fine, peut provoquer un ensablement de l'ouvrage.

Par contre, un massif filtrant de granulométrie trop fine peut conduire à une exploitation partielle de la nappe et rendre difficile l'élimination de la boue de forage.

II.12 Développement développement de forage

Le développement d'un forage est une étape très importante qui permet d'éliminer la plupart des particules fines du terrain et du gravier filtre qui pourraient pénétrer dans le forage ainsi que le reste du cake de boue et d'arranger le terrain autour de la crépine afin d'en augmenter la perméabilité.

Cette opération permet d'augmenter de façon significative le débit du forage initialement estimé. La nappe est en effet progressivement mise en production, l'aquifère est libéré de ses fines, la perméabilité et le débit instantané augmentent.

II.12.1 Traitement par air comprimé (AIR L'IFT)

La méthode à pour d'éliminer l'élément fin autour de la crépine (empêcher les venues de sable) à l'injection de l'aire comprimée au niveau de la crépine avec une pression de 12 bars.

L'opération a duré de 72 heures (03jour) et sera achevé lorsque l'eau extraite de l'ouvrage ne contiendra plus d'éléments fins indésirables et sortira claire.

II.12.2 Traitement chimique (L'hexamétaphosphate)

Ce traitement a pour effet d'éliminé la boue autour des parois de trous.

Ce traitement se fait par l'injection de plus de 200kg de l'hexamétaphosphate de sodium suivi d'une attente pour effet de 20 heures.

L'eau traitée par l'hexamétaphosphate a été chasse par pompage.



Figure II.26 : Les sacs de l'hexamétaphosphate.

II.13 Essai de pompage

Un essai de pompage est une opération dont l'objectif principal est de déterminer les paramètres hydrauliques (transmissivité T et coefficient d'emmagasinement S) d'un aquifère.

Une fois le forage terminé et l'avant-puits mis en place, un essai de pompage est effectué. Il a pour objectifs : (Youcef, 2017)

- La détermination des différentes caractéristiques hydrodynamiques de la nappe aquifère :
 - 1) La perméabilité K
 - 2) La transmissivité T
 - 3) L'étendue de la nappe : le rayon d'action R_a (rayon d'influence)
 - 4) Le coefficient d'emmagasinement S
- Le réglage optimal d'exploitation d'un forage pour éviter la surexploitation et l'assèchement de la nappe, à travers :
 - 1) La détermination du débit spécifique, du rabattement spécifique, la productivité de l'ouvrage, le débit maximum admissible et le rabattement maximum admissible.
 - 2) La détermination des durées et des périodes de pompage.
 - 3) La détermination de la position optimale pour l'emplacement de la pompe.

Les tests de pompage sont d'autant plus importants que le prélèvement envisagé est élevé. On distingue les essais de pompage par paliers et les Essais de pompage à débit constant. (Youcef, 2017)

II.13.1 Essais de pompage à paliers de débits de courte durée

Il s'effectue en réalisant des paliers de débit constant pendant une courte durée. On mesure le rabattement à la fin de chaque palier ainsi que le débit. Chaque palier est suivi par un arrêt d'une durée permettant la remontée de niveau d'eau. Par expériences, trois paliers avec débits croissants, dont chacun de deux heures sont Suffisants. (Benmarce, 2019)

II.13.2 Essais de pompage de longue durée

Ce type d'essais est à exécuter par un seul palier Il s'effectue en réalisant des paliers de débit constant pendant une courte durée. On mesure le rabattement à la fin de chaque palier ainsi que le débit. Chaque palier est suivi par un arrêt d'une durée permettant la remontée de niveau d'eau. Par expériences, trois paliers avec débits croissants, dont chacun de deux heures sont Suffisants.

Le débit (à débit constant) pendant 42 heures au moins avec un optimum de 72 heures. La remonté du niveau doit être observée pendant une durée égale. (Benmarce, 2019).

II.14 Conclusion

Le développement technologique qu'a connu ce domaine d'appareillage de forage et de sondage, afin de répondre au besoin de la recherche pétrolière, minière et de l'eau d'une part et pour la satisfaction aux exigences géotechniques d'une autre part, a ouvert la porte à une grande variété de sondeuse de performance accès compliquée et chacune à ces capacités de perforation.

Du battage au carottage passant par le rotary à circulation directe, puis le rotary à circulation inverse, on assiste à une évolution au niveau des performances de l'appareillage visant l'amélioration des techniques de forage de reconnaissance afin d'assurer la description la plus complète du sous-sol.

La dernière technique de foration en percussion au marteau fond de trou est jugé la plus valable pour l'étude hydrogéologique d'une région par forage de reconnaissance, alors que le forage par carottage reste toujours la meilleure technique et là plus précise.

L'implantation d'un tel forage de reconnaissance pour un tel objectif exige une étude préliminaire de tous les documents existants. De la part de maître d'ouvrage, il se sert de tous les documents disponibles (carte topographique, carte géologique, carte hydrogéologique, rapports...) et son étude se concentre sur la description de but de son projet en présentant un dossier où il spécifie les modalités dont il veut que son forage soit exécuté.

Chapitre III.

*SUIVI DE LA
REALISATION DE FORAGE*

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons mentionner les étapes et les équipements qui ont été utilisés au cours de la réalisation du forage, objet de notre étude. La technique de forage utilisée est celle au Rotary grâce à ses nombreux avantages qui s'adaptent à notre zone d'étude.

III.2 Destination du forage

Le forage est destiné à l'irrigation des périmètres agricoles a la localité Kef El-Doukhane commune de Atteuf dont la durée de réalisation est limitée de six (06) mois avec une profondeur totale de 500 m.

III.3. Implantation du forage

Pour choisir le meilleur site pour un forage, il faut prendre en compte les questions techniques, environnementales, sociales, financières et institutionnelles. Le processus d'implantation doit dépendre des caractéristiques en eau souterraine qui prévalent dans la zone considérée et conduire à un type de forage adapté aux conditions locales.

Le forage d'eau qui fait l'objet de ce suivi est situés dans une zone agricole qui s'appelle Kef El-Doukhane commune de Atteuf.

Les coordonnées de forage (GPS) :

X : 3.861871° Y : 32.455144° Z : 447 m

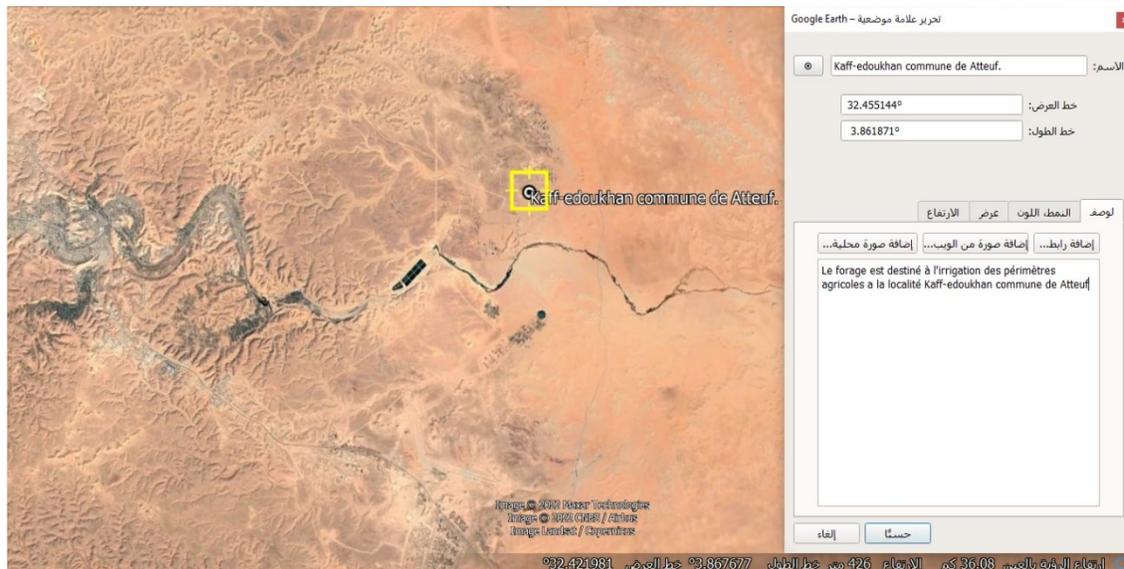


Figure III.1 : Implantation du forage (Google Earth pro, 2022).

III.4. Choix de la méthode de forage

Le choix d'une technique de forage se fait sur : la nature de terrain, son teneur en eau l'avancement de l'outil de forage, la quantité d'eau à utiliser, l'endroit du forage...etc.

La méthode utilisée pour réaliser ce forage c'est Rotary, cette méthode est largement utilisée par les foreurs, car elle est adaptée à la géologie de sol sédimentaire qui caractérise la région de Ghardaïa de plus, le niveau des eaux souterraines de la zone est situé à 300 mètres de la surface de la terre, pas plus.

III.5. Travaux de surface

Installation du chantier consisté à l'aménagement du site de telles façons du supporté la mise en place de l'appareille du forage est leur accessoire ainsi que le camp de travailleur.

- C'est' ainsi que l'appareille a été centré sur le point que nous l'avants choisie.

Parmi les travaux du surface l'entreprise à conçus deux bassins de dimension 3×3m pour chaque, le premier sert pour le malaxage de la boue et le deuxième pour la décantation du débris issus du trou, et l'aspiration de la boue nettoyée

III.6. Exécution du forage

Le forage de Kef El-Doukhane Atteuf-Ghardaïa a été exécuté par l'entreprise FORHYD., avec un appareil de forage rotary type SS 35 SPEED STAR (Figure III.1), et une boue à base de Bentonite.



Figure III.2 : Figure de chantier

III.7 Bassins Et Rigoles

III.7.1 Bassins

Les bassins à boue constituent une réserve de fluide de forage et permettent son recyclage par décantation. Elles se forment d'une fosse de décantation, d'une fosse de pompage et de canaux.

On a deux fosses à boue :

- Une fosse utilisée pour verser de la boue
- Une fosse utilisée pour le pompage de la boue

Le dimensionnement de la fosse à boue se fait en fonction de la profondeur du forage à réaliser (Plus la profondeur du forage est grande, plus la taille de la fosse est grande).



Figure III.3 : bassins à boue de bentonite.

Le dimensionnement de la fosse utilisée est :

- Largeur (m) = 4.1 m ;
- Profondeur (m) = 1.6 m ;
- Longueur (m) = 4.6 m ;
- Volume (m³) = 30.17 m³.

III.7.2 Rigoles

Le premier canal doit être assez long pour que la fosse soit en dehors du trottoir du futur point d'eau pour éviter le tassement différentiel sous la dalle (de largeur ≥ 2 m) et d'une section de (0,33x0,2 m).

L'axe du second canal doit être décalé de celui du premier pour favoriser la décantation. Sa section est de (0,33x0,2) m.

Les fosses et les canaux sont régulièrement curés et nettoyés des sédiments déposés en cours de forage.



Figure III.4 : Rigoles d'évacuation de la boue.

III.8 Les phases de Réalisation de forage

III.8.1 Phase A (type de guide)

Le trou a été foré par un outil de 26" de 0 à 10m de profondeur, puis ils ont descendu un tube API (American pétrolier institue) de diamètre de 20" sur une profondeur de 10m, le type a été fixé

au sol par la mise en place de ciment (HTS), suivi d'une attente d'une durée de 24 heures pour sa prise.

III.8.2 Phase de foration

Le forage du puits s'est poursuivi, en commençant de 10 à 300m avec un outil de 12"1/4 diamètres, après l'élargissement du trou avec un outil de 17"1/2.

III.8.3 Phase d'Analyse des échantillons (cuttings)

Les cuttings (échantillon) prise mètre par mètre, nettoyé et séchés, puis ils sont mis dans des petites sachées étiquetés selon leur profondeur de prélèvement, puis acheminés vers l'ingénieur hydrogéologue de l'administration.



Figure III.5 : calcaire blanc jaunâtre du turonien



Figure III.6 : Argile verdâtre du cénomaniens



Figure III.7 : Argile verdâtre du cénonanien



Figure III.8 : Sable fin perméable albien



Figure III.9 : Les cuttings (échantillon)

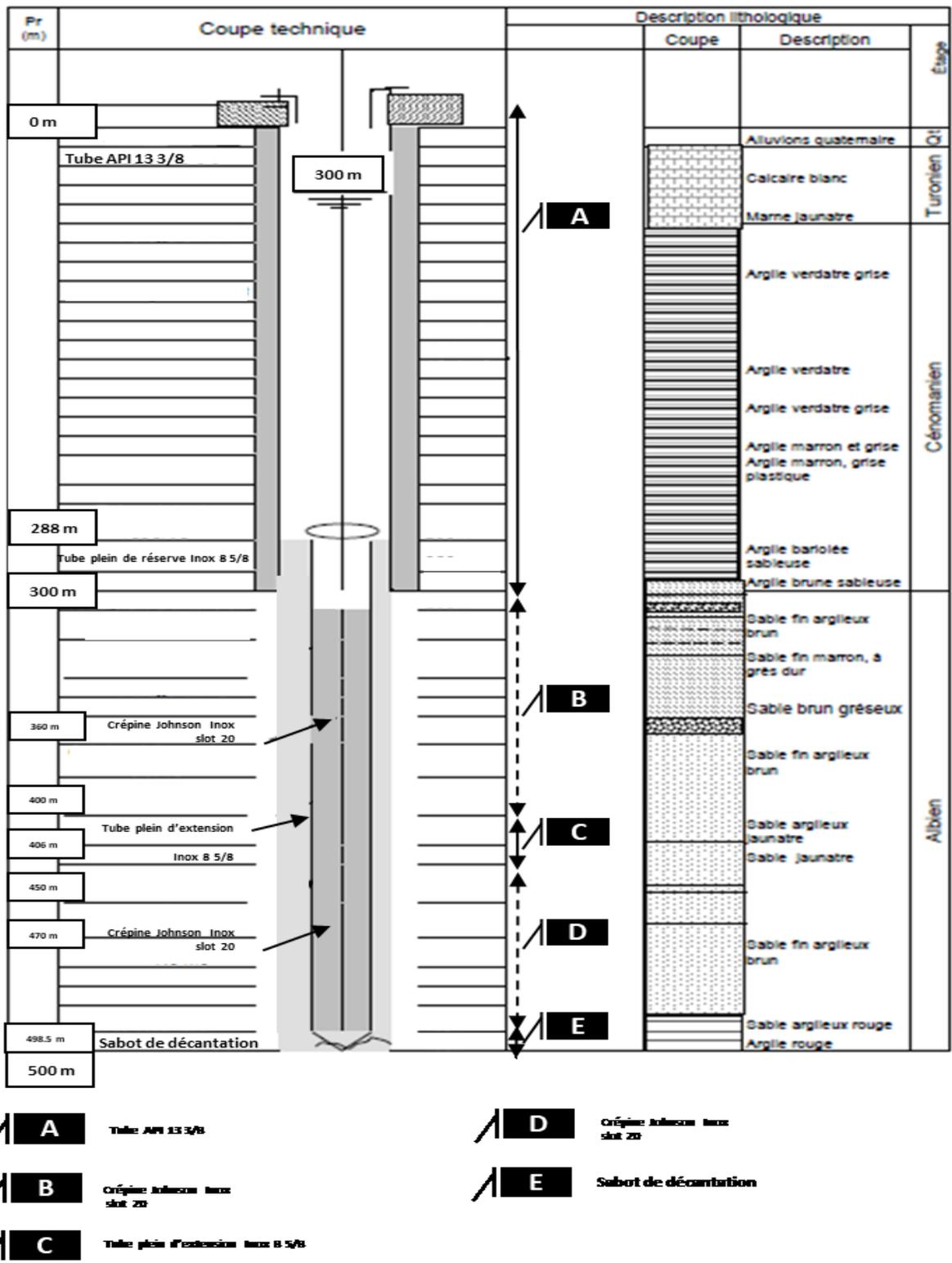


Figure III.10 : Coupe technique et description Lithologique du forage.

III.9 Tubages

Le débit d'exploitation espéré et la profondeur finale à atteindre conduisent à déterminer les caractéristiques des outils de forage et le diamètre des tubages à utiliser (Figure I.16). D'autre part, en fonction du débit souhaité, le choix de la pompe immergée imposera le diamètre des tubages.

Tableau III.1: Les tubages utilisé

Tubages (cusings)	Diamètre	Profondeur (m)	Les phases
API en ACIER	18"5/8	10 m	Tube guide
API en ACIER	13" 3/8	300 m	Tube de production

III.9.1 Mise en place du tubage

Après avoir terminé le processus de fonçage avec un outil de 17 "1/2 diamètres. 50 tubes ont été descendus dans le puits de 300 m de long (Figure I.16), les tubages ont été achevé après environ 8 heures, un tube en acier de 5 mm d'épaisseur.



Figure III.11 : Mise en place du tubage.

III.9.2 Calcul du volume de la cimentation

A- Le volume nécessaire du laitier de ciment est calculé par la formule :

$$V_L = \frac{H}{2} [d_1^2 - d_2^2]$$

V_L : Volume de laitier de ciment en litres

d_1^2 : Diamètre du trou (17 1/2)

d_2^2 : Diamètre du tubage (13 3/8)

H : Profondeur du trou (m).

Mode opératoire : $H = 300.7\text{m}$

$$d_1^2 = 13.75$$

$$d_2^2 = 17.25$$

$$V_L = 19.1$$

Le volume du laitier de ciment nécessaire est de 19103 litres, soit 19.103 m³

B- Volume d'eau de gâchage :

$$V_e = V_L * 0.46$$

$$= 19.1 \times 0.46 = 9 \text{ m}^3$$

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Volume tubage (m ³)=	27.2								
Volume de l'espace annulaire (l)=	19103.91				Volume de l'espace annulaire (l)=	3783.59			
Volume du laitier de ciment à injecter en litres	19103.91				Volume du gravier à injecter en litres	3783.59			
Soit en m ³	19.1				Soit en m ³	3.8			
Dosage de ciment									
100 kg ciment + 46 litres eau = 77,71 litres laitier d = 1,88									
Quantité de ciment en tonne (t)	25			soit	492	sacs			
Eau de gachage (m ³)	11.3								
Formule rapide									
Quantité de ciment en tonne (t)	22.5			soit	449	sacs			
Eau de gachage (m ³)	11.9								

Figure III.12 : feuille Excel de calcul.

III.9.3 Opération de cimentation

Suite à la descente du tubage qui a été effectué dans des bonnes conditions, le chef du chantier a ordonné d'installer la tête de cimentation (Figure I.12). et de procéder à la circulation de la boue pour bien l'espaces entre le trou et le tubage (espaces annulaires) (Figure I.17).

L'objection de la cimentation c'est d'ésoler le terrien mort et la venue d'eau de la surface (pollution de la nappes), l'opération à débit é le matin ont malaxant 407 sacs avec 12 m³ d'eau de gâchage, ce qui donne un volume de laitier de ciment 19.1 m³ d'une densité de d=1.75,

La mise en place du laitier de ciment a été effectué par son injection par la pompe à bous sous une forte pression suivie par la boue de chasse d'un volume de 27.2 m³. Qui est équivalent au volume de tubage mise en place. L'injection ne sera interrompue qu'avec l'apparition du laitier ciment à jour et fin de la quantité de boue de chasse calculée.



Figure III.13 : chasse le ciment par l'injection de boue

III.10 Choix du type de la crépine

Bien d'autres dispositifs sont offerts sur le marché, mais Dans notre travail, nous avons utilisé aux crépines JOHNSON, dont la conception et l'efficacité sont très nettement supérieures à toutes autres (Figure I.24).

Tableau III.2 : Mise en place de crépine

Cotes	Nature des tubes	Longueur	Nombre
0→300 m	Tubes pleins API 13 3/8	6	50
300→312 m	Tubes plein extension inox 8"5/8	6	2
312→400 m	Crépine Johnson Inox slot 20	6	15
400→406 m	Tubes pleins inox 8"5/8	6	1
406→498.5m	Tubes cripine inox (JOHNSON) 8"5/8	6	15
498.5→500 m	Sabot de decantation	1.5	1

III.11 Descente de massif filtrante

C'est une opération très importante dans la réalisation du forage parce qu'elle permet d'augmenter la perméabilité autour de la crépine aussi que l'augmentation de la productivité de forage (débit de la pompe) et de diminué le rabattement dans le forage.

Les articles techniques de cahier de charge ont exigé un gravier de nature siliceux à graine enrobé et de diamètre inférieur de 3mm (granulométrie de l'albien inferieur plus de 3mm).

Après un contrôle et vérification de la qualité et nature du gravier et une phase d'allègements de la boue ont ajoutent de l'eau, l'entreprise à commencer de mettre le gravier avec une quantité minime qui va descente sur l'effet de gravité jusqu'à le fond on remplisse l'espace annulaire (trou crepine).

Le volume du gravier nécessaire est calculé comme suite :

V gravier nécessaire = V de trou réalisé dans l'aquifère ($12''^{1/4}$) – V crépine ($08''^{5/8}$)

$$V_g = 0,785[(D_{tr}^2 - d_{exTub}^2) \cdot H_0]$$

Avec $H_0 = 466 - 266 = 200$

$$= 0,785[(12''^{1/4} - 08''^{5/8}) \cdot (H_0)] = 7.6 \text{ m}^3$$

III.11 Pompage d'essai

L'opération permet de tester assez rapidement les réactions du forage et de déterminer ainsi ses possibilités de production.

Le mode opératoire consiste de maintenir trois paliers de débit pendant une durée limitée (qlqs heures), tout en mesurant le débit pompé (Q) et le rabattement correspondant (S).

Chaque palier de débit est suivi d'un temps d'arrêt de pompage permettant la remontée stabilisée de la nappe (niveau statique). L'équation de Jacob, permet de déterminer le rabattement (S) dans le puits à l'instant (t) pour n'importe quel débit pompé de l'ouvrage. $S = B(Q) + C(Q_2)$.

III.11.1 Méthodologie

Un pompage d'essai par paliers se réalise généralement en quatre, parfois trois paliers de pompage. La courbe caractéristique est obtenue en représentant sur un graphique la relation débit-rabattement.

Sur le plan de la méthodologie de mise en œuvre plusieurs pratiques s'affrontent :

réalisation de l'essai en régime permanent.

C'est l'idéal, il s'agit de pomper à des débits Q_1 , Q_2 , Q_3 , etc., pendant un temps qui peut être plus ou moins long mais jusqu'à obtention d'une stabilisation (régime permanent).

On peut ainsi associer à un débit Q_1 un rabattement s_1 correspondant.

réalisation de l'essai en régime quasi-permanent.

À obtenir rapidement des données relatives mais comparables entre elles.

Le niveau statique initial sera mesuré avant la mise en marche de la pompe.

Pour chaque palier le niveau dynamique, ND, et le débit à intervalles réguliers seront mesurés comme indiqué dans le Tableau III.3.

III.11.2 Programme des essais de débit

Les essais de pompage (ou débit) ont été effectués en trois phases.

La première phase comporte un essai à blanc.

La deuxième phase comporte trois paliers enchainés de 08 heures chacun suivi d'une remontée du niveau initial de 12 heures.

Tableau III.3 : Les trois paliers enchainés

N1	$Q_1 = 15 \text{ l/s}$	Durée de 08 heures
N2	$Q_1 = 18 \text{ l/s}$	Durée de 08 heures
N3	$Q_1 = 23 \text{ l/s}$	Durée de 08 heures

La troisième phase comporte n essai définitif (longue durée) de 72 heures avec un débit constant de 40 l/s suivi d'une remontée du niveau initial de 12 heures.

Tableau III.4 : Les paliers de débit des essais

Paliers N°	Niveau dynamique (m)	s (m) observé	Débit Q(l/s)	Débit spécifique S/Q
P1	76.5	3	15	0.2
P2	77.9	4.4	18	0.24
P3	77.9	4.4	23	0.19
Pct	79	5.5	40	0.1375

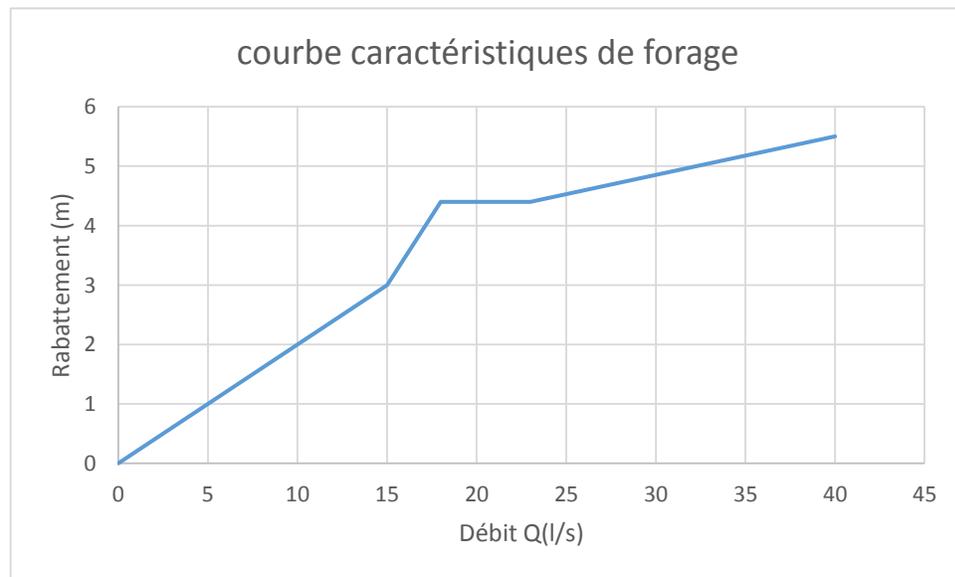


Figure III.14 : LA courbe caractéristiques de forage.

Le débit spécifique : correspond au débit pompé dans le puits rapporté à la hauteur de rabattement, unité l/s/m. rabattement : diminution de charge hydraulique sous l'effet d'un prélèvement d'eau, en pratique c'est l'abaissement du niveau piézométrique lié à un débit prélevé par pompage. Le rabattement spécifique : correspond à la hauteur de rabattement dans le puits rapporté à un débit pompé du puits, unité m/l/s.

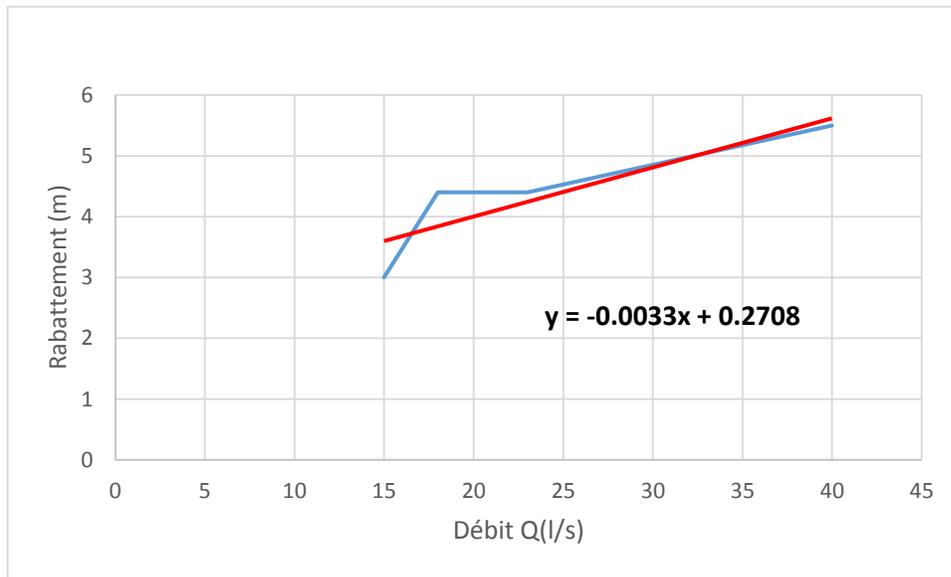


Figure III.15: Droite débit/rabatement.

Dans l'application numérique retenue $B = 0.2708$

□ le coefficient B est obtenu par l'intersection de la droite représentative avec l'axe des rabattements spécifiques.

□ le coefficient C est égal à la pente

$$C = 0.0033$$

L'équation spécifique du forage selon la loi de Jacob devient :

$$S = 0.2708 Q + 0.0033Q^2$$

Tableau III.5 : Le calcul des rabattements et les niveaux dynamiques nous obtenons.

Q (l/s)	Q (m ³ /h)	ND (m)	s (m) observé	s/Q spécifique	s (m) calculé	ND (m) Calculé
15	4.17	79.00	1.19	0.28	0.90	78.10
18	5.00	78.10	1.44	0.29	1.15	76.95
23	6.39	76.95	1.86	0.29	1.57	75.38
40	11.11	75.38	3.42	0.31	3.11	72.27

III.12 Caractéristiques du forage

- Niveau statique (NS) = 73.5 m

- Pomme immergée Ø8", calée à 60 m
- Débit de pompage (Q) = 40 l/s (144 m³/h)
- Niveau dynamique (ND) = 79 m
- Débit spécifique (Q/S) = 6.94 l/s/m
- Rabattement (S) = 5.83 m
- Rabattement spécifique (S/Q) = 0.31 m/l/s

Il ressort que pour un pompage d'un débit de 6.94 l/s/m, on provoque un rabattement d'un mètre dans le puits. Autrement dit un rabattement dans le puits de 0.31 m/l/s

III.13 Cout de la réalisation de l'ouvrage

III.13.1 Cout de la phase de foration

Tableau III.6 : Cout de la phase de foration

N	Travaux	Quantité realisee		Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
1	Amenée installation de chantier	1	Unite	2 000 000.00 DA	2 000 000.00 DA
2	Construction Platform bassins et rigoles	1	Unite	500 000.00 DA	500 000.00 DA
3	Fourniture et pose d'avant puits en 18"5/8	10	metres	50 000.00 DA	500 000.00 DA
4	Forage de reconnaissance en 12"1/4	466	metres	23 000.00 DA	10 718 000.00 DA
5	Elargissement et alésage de 12"1/4 17"1/2	254	metres	22 000.00 DA	5 588 000.00 DA
Total du montant des travaux					19 306 000.00 DA

III.13.2 Cout de la phase de complétion

Tableau III.7 : Cout de la phase de complétion

N	Travaux	Quantité realisee		Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
1	colonne de production en API 13"3/8	264	Unite	24 000.00 DA	6 336 000.00 DA
2	cimentation du tubage 13"3/8	300	M/M ³	2 500.00 DA	750 000.00 DA
3	tube plein en Inox 8"5/8 slot 20	35	metres	33 000.00 DA	1 155 000.00 DA
4	crépine Johnson en Inox 8"5/8 slot 20	184	metres	34 000.00 DA	6 256 000.00 DA
5	Injection du gravier siliceux	7	M3	20 000.00 DA	140 000.00 DA

6	Traitement a l'hexamétaphosphate	200	kg	500.00 DA	100 000.00 DA
7	Développement sans force motrice	48	H	4 000.00 DA	192 000.00 DA
8	Développement a l'air lift	72	H	4 500.00 DA	324 000.00 DA
Total du montant des travaux					15 253 000.00 DA

III.13.3 Cout des pompages d'essai

Tableau III.8 : Cout de pompage d'essai

N	Travaux	Quantité realisee		Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
1	Mise en place matériel essais de débits	1	Unite	100 000.00 DA	100 000.00 DA
2	Essais de debits	96	H	3 000.00 DA	288 000.00 DA
3	Observation de la remontée des eaux	48	H	2 500.00 DA	120 000.00 DA
4	Fourniture de forage avec plaque plein	1	Unite	25 000.00 DA	25 000.00 DA
5	Repli et fin de chantier et remise en état des lieux	1	Unite	100 000.00 DA	100 000.00 DA
Total du montant des travaux					633 000.00 DA

III.14 Durée totale de la réalisation

Les travaux de forage ont démarré le 28 juillet 2019, et ils ont été terminés le 28 janvier 2020. Ce qui donne un total de 184 jours

A savoir que l'entreprise s'est engagée de réaliser le forage dans un délai de 4 mois, soit une durée de 120 jours. Mais nous remarquons que la durée réelle de la réalisation est de 184 jours.

Ce qui implique que l'entreprise a connu un retard de réalisation de :

Durée réelle – durée d'engagement

$$184 \text{ jours} - 120 \text{ jours} = 64 \text{ jours}$$

Donc les travaux ont connu un retard de 64 jours

III.14.1 Calcul de la pénalité de retard

La pénalité de retard est le montant qui doit être tranché du coût total du projet, il est calculé par la formule suivante :

$$\text{La pénalité de retard} = \frac{M}{10 D}$$

Avec ;

M = Montant du marché

D = Délai d'exécution exprimé en jours

Donc nous avons :

M = phase de foration + phase de complétion + pompage d'essai

$$M = 19306000 + 15147460 + 633000$$

Le cout total de la réalisation est de 35086460 Dinars algériens.

En appliquant un délai de réalisation de 64 jours, la pénalité de retard est :

$$\begin{aligned} \text{La pénalité de retard} &= \frac{M}{10 D} \\ &= 35086460 \text{ DA} / 10 * 64 \text{ jours} \\ &= 54822.60 \text{ Dinars algériens} \end{aligned}$$

III.14.2 Cout totale de la réalisation du forage

En appliquant la pénalité de retard, le cout total de la réalisation de l'ouvrage sans taxe est de :

$$\begin{aligned} \text{Cout de réalisation} &= \text{Montant total} - \text{pénalité de retard} \\ &= 35086460 - 54822.60 \end{aligned}$$

Donc le cout de la réalisation du forage sans taxe est de 35031637.40 DA

En appliquant la taxe de la valeur ajoutée (TVA), qui est égale de 19% du montant, nous obtenons :

$$\begin{aligned} \text{Cout de réalisation avec taxe (TVA)} &= \text{Cout de réalisation} \times \text{TVA} \\ &= 35031637.40 \times 19\% \end{aligned}$$

Donc le cout total de la réalisation avec taxe comprise est de 41687648.5 DA.

Conclusion

Le forage de Kef El-Doukhane réalisé par l'entreprise FORHYD, pendant d'une durée de 06 mois, a été exécuté dans des bonnes conditions et selon les exigences techniques du cahier de charge élaboré par le maître d'ouvrage (ANRH Ghardaïa) et selon les règles de l'art.

La méthode utilisée pour réaliser un forage dans ce projet c'est ROTARY, cette méthode est largement utilisée par les foreurs dans la région, car il adapte à la géologie de la région, dont il existe des roches calcaires dures plus de 100 m d'épaisseur est des couches tendre et plastique d'une épaisseur de 300m (cénomaniens).



*Conclusion
générale*

Conclusion générale

L'objectif prioritaire des foreurs est la réalisation d'un puits, conformément au programme qui leur a été fourni, dans les meilleures conditions techniques et économiques avec un prix de revient le plus bas possible. C'est dans ce cadre que s'inscrit notre travail de fin d'étude.

La fiche technique de chaque forage réalisé que ce soit pour les formations superficielles, la couverture ou de socle est une information évidente sur la structure, la composition et les propriétés des différentes couches géologiques.

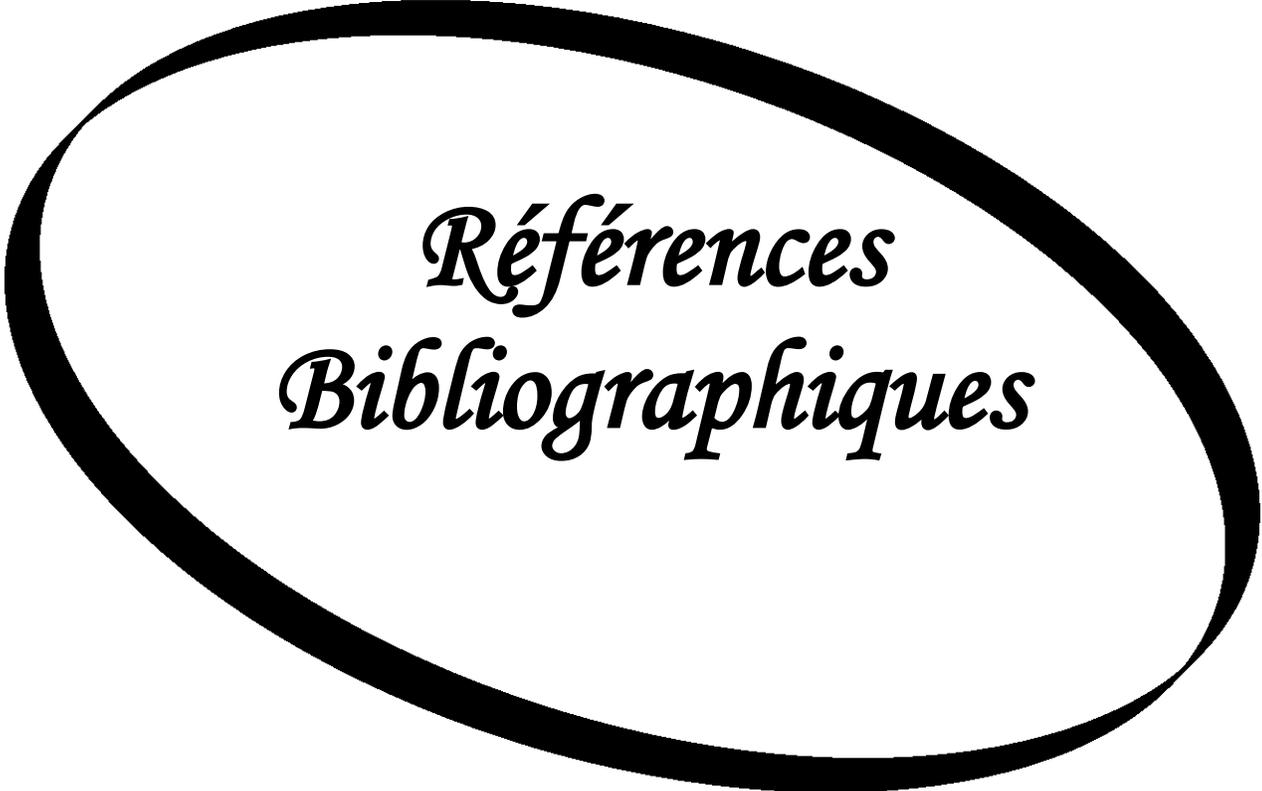
Selon la configuration hydrogéologique existante en Algérie, trois modes opératoires sont habituellement utilisés pour mobiliser les ressources en eau souterraine du pays :

- le forage au Rotary pour les terrains sédimentaires ;
- le forage par Battage pour les terrains durs
- le forage au Marteau Fond de Trou pour les terrains du socle.

La méthode utilisée pour réaliser le forage de Kaff-edoukhan est le mode Rotary, cette méthode est largement utilisée par les foreurs, car il s'adapte à la géologie de la région, caractérisée par la présence des argiles et des sables (gros et fin) et de quelques mètres de gypse dans la partie supérieur Le climat de la zone d'étude est de type saharien, caractérisé par un écart élevé entre la température de l'été et celle de l'hiver, une faible précipitation et une évaporation intense.

La réalisation des forages hydrauliques dans la région de Atteuf, passe par plusieurs étapes, suivant la profondeur et la pression de la nappe.

Cette opération de forage à plusieurs étapes, commençant par l'identification des objectifs du forage du puits jusqu'à l'exploitation de l'eau. Dans ce cadre de notre étude, nous avons suivi le forage d'un puits destiné à un périmètre agricole dans la région de Atteuf. Nous avons montré l'importance et les effets de l'étude géologique de la région dans l'identification de la couche adéquate au forage. L'étude tient aussi les étapes et les techniques du forage, qui commencent par mettre le tube guide et se terminent par le nettoyage et le développement. Puis, on passe à l'opération du pompage expérimental pour déterminer le débit et pompe adéquate à ce débit.



*Références
Bibliographiques*

Références

- ANRH. (2022). le rapport de l'Agence nationale des ressources hydrauliques. Ghardaïa: secteur de Ghardaïa.
- Boukaoud El Hachemi. (2020). Forages d'eau: procédés et mesures, UE0661. Constantine: Université Constantine.
- Bouselsal Boualem. (2001). forage d'eau procédés et mesures. *memoire*, 31.
- CHEHIMA Sofiane, D. h. (2020/2021). Etude et suivi technique d'un forage profond albien dans la region de sebseb/cas du forage de lehrith. ghardaïa: université de ghardaïa.
- Dr. Benmarce. (2019). Hydrodynamique souterraine 2 – Cours -. souk ahras: Master 1- Hydrogéologie – STU – IAST – UFAS1 -.
- Google Earth pro. (2022).
- Laid SENDJEL. (2015/2016). etude et suivi de la realisation d'un forage. memoire, 41.
- ONM Ghardaïa. (2022). office nationale météorologie, les données climatiques de la région de ghardaïa (2012-2022). ghardaïa: office nationale météorologie.
- SOUILEM MOHAMMED NADIR. (2019/2020). etude et suivi d'un forage profond albien (djaoua) el atteuf atteuf (wilaya de ghardaia). ghardaia: universite kasdi merbah ouargla.
- Youcef Seddiki, Moulay Omar Younes. (2016/2017). suivi d'un forage d'eau dans la région de bouhraoua (wilaya de ghardaïa). memoire, 31.



ANNEXES

An	mois	*TMini	*T Max	M.M.*t	Qlrr	evapo	insol	VX-ddiff	MMU	gelé
	Jan	28	219	123	1.8	80	250	220/24	49	0
	Fév	44	264	144	12.4	112	245	270/22	38	0
	Mars	70	274	158	0.2	172	266	300/24	33	0
2	Avril	96	384	227	nt	232	329	330/20	22	0
	Mai	148	415	268	14.6	308	339	060/19	24	0
0	Jun	158	440	301	7.3	323	340	210/24	22	0
1	Juill	244	460	355	1	417	306	310/24	13	0
	Aout	253	466	386	0.3	361	321	280/21	17	0
4	Sept	197	428	314	2.9	296	247	240/27	26	0
	Oct	140	380	244	0.1	232	292	340/21	28	0
	Nov	85	286	175	4.3	131	223	210/24	43	0
	Déc	33	201	114	1.9	87	246	010/20	51	0

Légende :

- *T Mini Température minimale du mois en 1/10 de °C
- *T Max Température maximale du mois en 1/10 de °C
- MM* T Moyenne mensuelle de température en 1/10 de °C
- Qlrr Quantité mensuelle de pluie en mm
- Nlrr nombre de jour de pluie pendant le mois
- VX-ddd Direction et force du vent fort du mois.ddd en degré et fren mis
- Moy -vn Moyenne mensuelle du vent en m/s
- MMU MOYENNE MENSUELLE D'HUMIDITE EN %
- nt NEANT
- TRC Pluie non mesurable.
- evapo évaporation mensuelle en mm.
- insol durée mensuelle d'insolation en Heures.

