

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**



UNIVERSITE DE GHARDAIA

N° d'ordre :
N° de série :

**FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE SCIENCES ET TECHNOLOGIE**

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

MASTER

Domaine : Science et Technologie

Filière : hydraulique

Spécialité : hydraulique urbain

THEME:

**ETUDE ET SUIVI DE LA REALISATION D'UN FORAGE
D'EAU DESTINE A L'AEP DANS LA LOCALITE DE
TAFILELT, COMMUNE DE BOUNOURA
WILAYA DE GHARDAÏA**

PAR:

M^r: Laid SENDJEL

Soutenu publiquement le :

Jury :

M^r: DAHEUR E.G.

M^r: NESSIL H.

M^r: CHOUIREB M.

M^r: ACHOUR M.

Maitre Assistant A

Magistère

Doctorant

Doctorant

Univ. Ghardaïa

Univ. Ghardaïa

Univ. Laghout

Univ. Oran

Président

Examineur

Examineur

Encadreur

Année universitaire: 2015/2016

œ Dédicace œ

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect

a :

- *mes parents*
- *Ma femme*
 - ✚ *mes frères et sœurs*
 - *toute ma famille*
 - *Mes amis*
 - *Tous les collègues de la direction de ressource en eau de la wilaya de Ghardaïa*

laid

∞ Remerciements ∞

Avant tout, je remercie DIEU qui a illuminé mon chemin et qui m'a armé de courage pour achever mes études.

Et « quiconque ne remercie pas les gens, ne remercie pas Dieu»

Je remercie fortement mon promoteur : M. Achour .M de m'avoir orienté par ses conseils judicieux dans le but de mener a bien ce travail.

Mes remerciements vont également à :

 *Tous les enseignants qui ont contribué à ma formation.*

Je tiens à remercier aussi :

** Les membres de jury pour avoir accepté d'évaluer mon travail*

** Les collègues de la direction de ressource en eau de la wilaya de Ghardaïa
surtouts M. : BEN ABDE RHMEN .Oumer .*

Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin dans l'élaboration de mon mémoire.

L'Aid

Résumé :

La localité de Tafilelt est située au sud de l'Algérie, elle est soumise à un climat aride saharien, dont les précipitations sont très faibles et à température très élevées. Pour s' satisfaire les demandes en eau pour l'alimentation en eau potable pour sa population, on recoure à l'exploitation de la couche du réservoir profond continue dans la formation sableuse de l'Albien. Cette formation aquifère représente l'unique ressource en eau exploitable dans la région.

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

Notre étude s'inscrit dans ce cadre au suivi technique de la réalisation d'un forage avec ces différentes étapes. Le suivi a été exécuté sur la base d'une étude géologique et hydrogéologique.

Les résultats nous a permis de déterminer les différentes caractéristiques hydrauliques et techniques du forage en question. Il sera destiné pour le renforcement du réseau d'eau potable de la localité de Tafilelt situé dans la commune de Bounoura wilaya de Ghardaïa.

Mots clés : forage, nappe, rotary, Tafilelt, ressources en eau.

ملخص:

يقع المجمع السكني تافيلالت جنوب الجزائر, بحيث يخضع لمناخ صحراوي جاف يتميز بارتفاع درجة الحرارة وقلة تساقط الأمطار. من اجل تغطية النقص في التزويد بالمياه الصالحة للشرب لسكانها نلجأ إلى استغلال طبقة الخزان العميقة ذات البنية الرملية, هذه الطبقة الجوفية(الأليمانية) تعد المورد الوحيد الذي يمكن استغلاله في المنطقة.

من اجل استغلال هذا الخزان الكبير نلجأ إلى تنفيذ آبار عميقة بواسطة الحفر بتقنية الروطاري التي تستخدم على نطاق واسع في المنطقة.

في هذا الإطار تهدف هذه الدراسة إلى المتابعة التقنية لعملية حفر البئر بمختلف مراحلها. تم إجراء هذه المتابعة على أساس الدراسة الجيولوجية والهيدروجيولوجية للمنطقة.

سمحت لنا النتائج بتحديد مختلف الخصائص الهيدروليكية والتقنية للبئر المذكور. بحيث سيتم تخصيصه لتعزيز شبكة المياه الصالحة للشرب للمجمع السكني تافيلالت الواقع ببلدية بونورة ولاية غارداية.

كلمات مفتاحية : الحفر, مستوى المياه الجوفية, روطاري, تافيلالت, الموارد المائية

Summary :

TAFILELT is situated south of Algeria, subjected to arid Saharan weather, where a very high temperature with very low rainfall.

To meet the water demands for drinking water supply for its population, one resort to the exploitation of the deep reservoir layer continues in the sand formation of the Albian.

This aquifer is the only usable water resource in the region, to achieve and exploit this great reservoir recourse is to the performance of deep wells by the Rotary technique that is widely used in the region.

Our study is in this context the technical monitoring of the drilling well with these steps.

The monitoring was performed on the basis of geological and hydro geological study.

The results allowed us to determine the various hydraulic and technical characteristics of the subjected drill.

It will be prompt for strengthen the drinking water network of the town of Tafilelt located in the municipality of Bounoura wilaya of Ghardaia

Keywords: Drilling, formation, Rotary, Tafilelt, water resources,

Table des matières :

Introduction générale.....	01
----------------------------	----

CHAPITRE I

CARACTERISTIQUE GEOGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE

I.1. caractéristique géographique.....	02
I.1.1. Présentation de la vallée du M'Zab.....	02
I.1.2. Le réseau hydrographique de Oued M'Zab	03
I.1.3. Situation géographique de la wilaya :	03
I.1.4. Présentation de Tafilelt :	04
I.1.4.1. La carte technique de Tafilelt:	05
I.2.Étude hydraulique des caractéristiques climatique.....	06
I.2.1.Objectif de l'étude	06
I.2.2.Les précipitations	06
I.2.2.1.Précipitations moyennes mensuelles (période : 2003 -2013)	07
I.2.2.2.Interprétation des résultats	07
I.2.3.Les Températures	08
I.2.3.1.Interprétation des résultats	08
I.2.4.Synthèse climatique de la région.....	09
I.2.4.1. Diagramme Ombro-Thermique	09
I.2.4.2. Détermination de l'aridité (indice d ARIDITE)	10
I.2.4.3..Diagramme d'Emberger	11
I.2.5. Humidité relative de l'air	12
I.2.6.Vitesse du vent	13
I.2.7.Conclusion	14

CHAPITRE II

ETUDE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

II.1.1. Géologie régionale.....	15
II.1.2. Description lithostratigraphique	15
II.1.2.1. Crétacé.....	15
II.1.2.2. Néogène.....	17
II.1.2.3 Quaternaire.....	17
II.1.2.4. La tectonique	17
II.2. Identification hydrogéologique	19
II.2.1 Nappe alluviale quaternaire	19
II.2.2 Nappe du Continental Intercalaire.....	19
II.2.2.1 Exploitation de la nappe du CL.....	21
II.2.2.2 Qualité des eaux de la nappe du CI de la région de Ghardaïa.....	22
II.3.Conclusion	22

CHAPITRE III

ETUDE BESOIN EN EAUX

III. Objectif	23
III.1.Période envisagée pour l'étude.....	23
III.2. Normes unitaires de la consommation	23
III.3. Évaluation des besoins en eau	23
III.3.1.Besoins Domestiques	24
III.3.2.Besoins d'équipements	24
III.4.Etude Des Variations Des Besoins.....	25
III.4.1.DEBIT MOYEN JOURNALIER.....	25
III.4.2.DÉBIT MAXIMAL JOURNALIER.....	25
III.4.3.DÉBIT HORAIRE.....	25
III.4.4.DÉBIT DE POINTE.....	26
III.4.5.Bases de calcul.....	29
III.5. conclusion.....	29

CHAPITRE VI

LES METHODES DES FORAGES

IV.1. Introduction	30
IV.2. Forage au marteau fond de trou (MFT).....	30
IV.3. Forage rotary circulation directe.....	31
IV.4. Forage en circulation inverse.....	32
IV.5. Forage par battage.....	33
IV.6. Les techniques de forage manuel.....	34
IV.6.1. Le forage a la tarière.....	35
IV.6.2 Le forage a la boue.....	35
IV.6.3 Le lançage à l'eau.....	36
IV.6.4 Le forage a la percussion.....	37
IV .7.LES COMPOSANTS D'UN APPAREIL DE FORAGE ROTARY.....	38
IV .7.1. Le mat de forage	38
IV .7.2. La garniture de forage.....	39
IV .7.3. Equipements d'entrainement de la garniture de forage.....	39
IV .7.4. La tête d'injection [swivell]	40
IV .7.5. Le top drive.....	40
IV .7.6. Générateur du courant	40
IV.7.7. L'outil.....	40
IV .8.La boue de forage.....	41
IV .8.Conclusion	41

CHAPITRE V

EXECUTION DU FORAGE TAFILALET

V.1.Introduction.....	42
V.2.Consistance du marchée	42
V.3.Chois de point d'eau	43
V.3.1.Les cordonné géographiques du forage	43
V.4.Installation du chantier et travaux de surface	43
V.4.1.Préparation de la boue de forage	43
V.5.déroulement des travaux du forage.....	43
V.5.1. exécution de l'avant puis (type de guide)	43
V.6.forage de reconnaissance	44
V.7.prélèvement des échantillons (cuttings).....	44
V.7.1. détection du toit de l'aquifère.....	44
V.7.2 cotes de tubage (colonne de production)	44
V.8. Alésage.....	44
V.9. descente du tubage de production	45
V.10.cimentation du tubage de production	45
V.10.1 .Attente prise de ciment.....	46
V.11-reprise des travaux du forage	47
V.12. Préparation et descente de la colonne de captage (crépine)	48
V.13. le gravillonnage.....	50
V.14. nettoyage et développement de forage.....	50
V.14.1. Traitement chimique.....	50
V.14.2. Traitement par air comprimé (AIR L'IFT).....	50
V.15. Les essais de puits.....	51
V.15.1.Détermination de l'équation caractéristique du forage.....	52
V.16Conclusion	56
Conclusion général.....	57

Liste des figures:

Figure 01 : Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa.....	04
Figure02 : photo satellite de la zone d'étude	05
Figure.03 : Carte représentant le site de la station pluviométrique de Ghardaia (Google Earth)...	06
Figure04: Répartition mensuelle des pluies moyennes annuelles, station de Ghardaïa (2003-2013). 07	
Figure.05 : Variations moyennes de températures (C), station de Ghardaïa (2003-2013).....	08
Figure.06 : Diagramme Ombro-Thermique de la station de Ghardaïa (2003-2013).....	09
Figure.07: Diagramme d'Emberger de la station de Ghardaia (2003-2013).....	12
Figure.08: Les variations de l'humidité relative de l'air (2003 -2013).....	13
Figure.09 : Valeurs moyennes de la vitesse du vent (m/s).....	14
Figure10 : Carte géologique de la wilaya de Ghardaïa	16
Figure 11: coupe géologique et schématique de la vallée du Mzab	18
Figure12 : coupe forage Tafilelt (description lithologique).....	18
Figure 13: aquifères du Sahara algérien	20
Figure.14 :variation du toit et de profondeur de l'aquifère de l'albien.....	21
Figure15 : bilans production –besoin (m ³ /j).....	28
Figure 16 : Forage au marteau fond de trou (MFT).....	30
Figure17: forage rotary	31
Figure18: forage a la terrière manuelle.....	35
Figure19: forage à la boue	36
Figure20: forage par percussion.	38
Figure21: les composants d'un appareil de forage rotary.....	41
Figure 22 : photo représente les tubes de tubage.....	45
Figure 23 : cimentation d'une colonne de tubage.....	47
Figure24 : architecteur de la crépine Johnson.....	48
Figure25 : crépine de Johnson	48
Figure26 : le Martin Decker.....	49
Figure27 : courbe caractéristique du forage de Tafilelt	52
Figure 28: courbe du rabattement spécifique en fonction du débit.....	53
Figure29 :Coupe technique et lithologique de forage Tafilelt.....	55

Liste des tableaux :

Tab.01 : Caractéristiques de station pluviométrique de région Ghardaia	06
Tab.02 : Répartition mensuelle des pluies moyennes annuelles (période : 2003 -2013).....	07
Tab.03 : Valeurs moyennes de températures (C) (période : 2003 -2013).....	08
Tab.04 : Valeurs moyennes mensuelles des précipitations et des températures (2003-2013)....	09
Tab.05 : Classification climatique selon l'indice d'aridité.....	10
Tab.06 : Indice d'aridité dans les stations de Ghardaia (période : 2003 – 2013).....	10
Tab.07:Présente les valeurs moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air(2003-2013)....	12
Tab.08 : Présente les valeurs moyennes mensuelles de la vitesse du vent (m/s) (2003 -2013).....	13
Tableau09 : concentration en élément chimiques contenues dans les eaux souterraines(ANRH)..	22
Tableau 10: Normes unitaires de la consommation.....	16
Tableau 11: Evaluation des besoins domestiques suivant le parc de logement.....	24
Tableau12: répartition provisionnelle de la consommation selon les usages en% de la consommation domestique.....	24
Tableau 13: tableau récapitulatif.....	25
Tableau14 : Valeurs de bêta en fonction du nombre d'habitants.....	27
Tableau 15: calcul hydraulique.....	27
Tableau 16: bilan production –besoins.....	28
Tableau 17: devis estimatif de forage Tafilet. Source	42
Tableau 18: essais de puis	51
Tableau 19: calcul du rabattement spécifique de Forage de Tafilet.....	53
Tableau20 : Calcul de rabattement spécifique.....	54

Liste des abréviations :

AEP : Alimentation en Eau Potable.

D R E : la Direction de Ressource en Eau

ANRH : Agence Nationale Des Ressources Hydrauliques.

ONM : l'Office National Météorologique

ETP : Evapotranspiration potentielle.

ETR : Evapotranspiration réelle.

EXD : Excédent.

OMS : Organisation Mondiale de la Sante.

CT : Le Complexe Terminal

CI : Le Continental Intercalaire

°C: Degré Celsius

ADE: Algérienne des eaux

GPS: Global Positioning System

OMS: Organisation Mondiale de la Santé

ORGM: Office national de Recherche Géologique et Minière

ND :Niveau dynamique

NS :Niveau statique

Q : débit

S : rabattement dans le forage pour un débit donné Q

API : American pétrolier institue

S/Q : Le rabattement spécifique

HTS : Haute Teneur en Sulfates

Introduction générale

Introduction générale

La wilaya de Ghardaïa 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.

Parmi les localités qui connaissent un déficit dans le système d'alimentation en eau potable le quartier de Tafilalet, qui est alimenté par le réservoir de la zone industrielle Bounoura ce qui influe sur la disponibilité de l'eau ainsi que le régime de distribution d'une part, et d'autre part le problème de l'éloignement de l'adduction vers le réseau de l'alimentation en eau potable de notre localité.

C'est dans ce contexte qu'il a été inscrit le projet de la réalisation d'un forage profond captant la nappe albienne, et qui sera destiné pour alimenter la population grandissante de la localité de Tafilalet.

L'objectif de notre travail consiste à une étude et suivi étape par étape la technique de la réalisation de cette 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 déterminé ces paramètres hydrauliques : son débit d'exploitation , sa courbe caractéristique, sa formule caractéristique du forage, son débit spécifique et son rabattement spécifique.

L'étude à été organisé en :

Chapitre 01 : caractéristique géographique et climatique.

Chapitre 02 : étude géologique et hydrogéologique de la zone d'étude.

Chapitre 03 : étude du besoin en eau.

Chapitre 04 : les méthodes de forage.

Chapitre 05 : exécution de forage Tafilalet.

CHAPITRE I

CHAPITRE I

*Caractéristique géographique
et climatique*

I.1. caractéristique géographique :**I.1.1. Présentation de la vallée du M'Zab :**

La vallée du M'Zab, fondée au XI^{ème} siècle, est un véritable musée à ciel ouvert situé en plein désert et couvrant une superficie de 50 km² (20 x 2.5 km). Elle est classée comme patrimoine national en 1971 et patrimoine de l'humanité par l'UNESCO depuis 1982. La particularité de cet héritage humain, est qu'il est de nos jours habité par sa population d'origine qui a mis au point un système ingénieux de structuration et d'aménagement de son territoire d'établissement, réputé par son aridité et son isolement. Cette maîtrise de l'occupation spatiale et la capacité de capitaliser les moindres ressources sont le fruit d'un savoir faire ancestral acquis depuis la fondation du premier état Algérien à Tihert au VII^{ème} siècle. Le secret de la réussite prouvée sur plusieurs plans de ce modèle de société, s'explique par l'esprit qui a animé ses bâtisseurs en étant parfaitement conforme à leurs idéaux sociologiques, politiques et religieux. Ceci a donné naissance à une civilisation à part entière qui a permis l'épanouissement de l'individu avec son environnement et son milieu naturel depuis déjà mille ans. Cette symbiose entre l'homme et son milieu naturel, connue particulièrement chez les berbères zénètes du sud, a été aiguisé chez les Ibadites au M'Zab depuis leur premier établissement humain, compte tenu de l'inhospitalité des lieux et de la rareté de l'eau. Mais le génie Mozabite, modelé par ses principes socioreligieux, a su extraire de ce milieu naturel stérile une multitude de richesses. Ainsi, il a instauré une économie du territoire pointue, basée sur l'exploitation rationnelle de l'espace au bénéfice d'une vie communautaire prospère. Ceci, s'est traduit par : - la mise au point d'un système ingénieux de captage, de stockage et de distribution des rares ressources hydriques - de créations de vastes étendues de palmeraies avec une culture à trois étages. - la construction d'un chapelet de ksour (cités fortifiées) d'une architecture avant-gardiste - la production d'un artisanat riche et varié couvrant les besoins de la vie quotidienne et développé au cours des siècles La vallée du M'Zab compte, à cet effet, plusieurs palmeraies, dont celle de la commune de Ghardaïa lieu de localisation de ce projet. Destinée à l'habitat d'été et à la culture sous palmiers, la palmeraie est assise sur un sol alluvionnaire, qui constitue un espace potentiellement inondable en cas de fortes crues, et fait partie de l'espace dont les ressources en eau sont gérées par le système de partage des eaux.

I.1.2. Le réseau hydrographique de Oued M'Zab :

La superficie du bassin versant du M'Zab est environ de 5000 Km². L'oued traverse la vallée de M'ZAB, se dirige du Nord-ouest vers le Sud-est jusqu'à la dépression de Ouargla, sur une longueur de 350 Km. Lorsque la crue est assez importante, il termine son parcours comme le ZEGRIR à la SABKHAT SAFIOUNE. En amont de Ghardaïa se trouvent ces deux principaux affluents, les Oueds LABIOD et Haimer (Ladira). Il est rejoint par d'autres en aval, particulièrement par le N'Tissa, qui traverse la palmeraie de BEN -ISGUEN et débouche sur le M'Zab sur sa rive droite. Plus loin sur sa rive gauche, c'est l'AZOUIL qui vient à sa rencontre après sa traversée des jardins de BOUNOURA.

I.1.3. Situation géographique de la wilaya :

La Wilaya de Ghardaïa se situe dans le Sahara Nord Central algérien s'étend sur une superficie de 84660,12 km². Elle est limitée :

- Au Nord par la wilaya de Laghouat ;
- Au Nord Est par la wilaya de Djelfa ;
- A l'Est par la wilaya d'Ouargla ;
- Au Sud par la wilaya de Tamanrasset ;
- Au Sud-ouest par la wilaya d'Adrar ;
- A l'Ouest par la wilaya d'El Bayadh.

Elle est limitée administrativement au :

- Nord par la Wilaya de Laghouat (200 Km) ;
- Nord Est par la Wilaya de Djelfa (300 Km) ;
- L'Est par la Wilaya de Ouargla (200 Km) ;
- Sud par la Wilaya de Tamanrasset (1470 Km) ;
- Sud- Ouest par la Wilaya d'Adrar (850 Km) ;
- L'Ouest par la Wilaya d'El-Bayadh (350 Km) (D.P.A.T., 2009)

La ville de Ghardaïa, chef lieu de wilaya qui porte ce nom, et par ailleurs située à la tête des cinq cités historiques que compte la pentapole (Ghardaïa, Mélika, Beni-Isguen, Bounoura, El Atteuf) : villes regroupées en série sur les berges d'une même vallée, qui prend, de part et d'autre de ce groupement.

Les altitudes varient de 650 à 550 m au Nord et le Nord - Oued, et de 450 à 330 m au Sud et le Sud – Est. Elle comporte 13 communes parmi lesquelles la commune de Bounoura qui fait l'objet de notre étude (localité de Tafilelt).

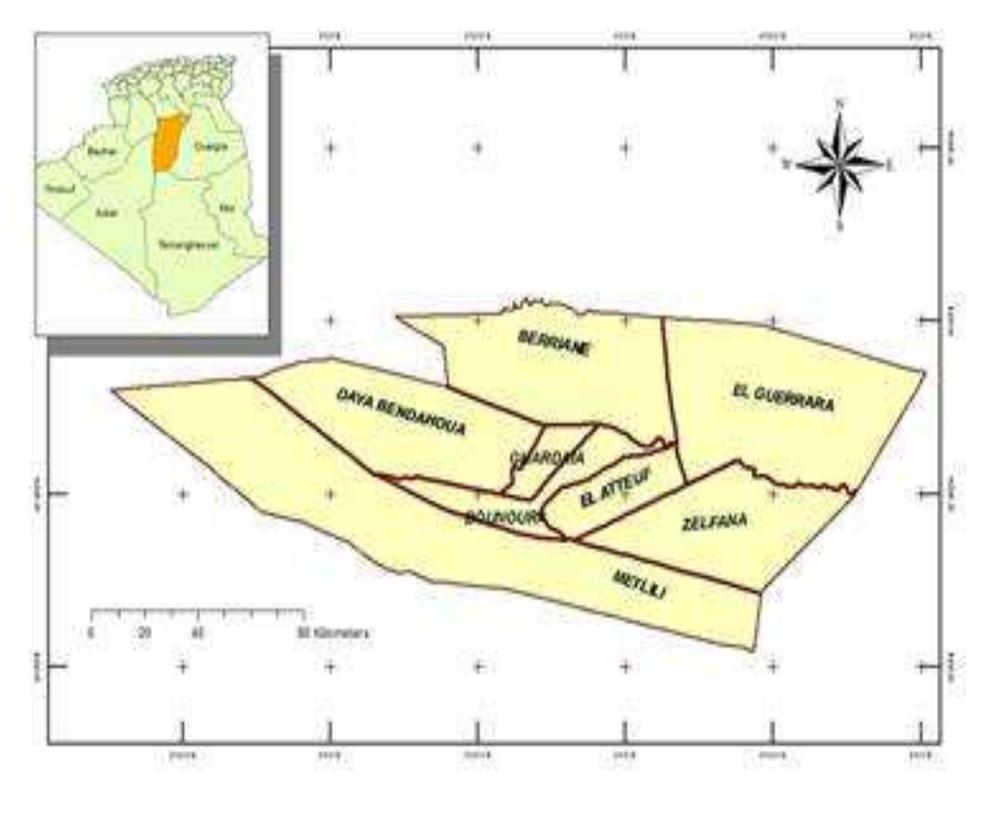


Figure 01 : Communes de la vallée de la wilaya de Ghardaïa. (Source ANRH)

I.1.4. Présentation de Tafilelt :

Une fois arrivé à BENI IZGUEN, l'un des plus vieux ksars de Ghardaïa, il faut encore emprunter le chemin en lacets qui mène vers le sommet de la ville pour pouvoir enfin apercevoir le nouveau bijou de la vallée du M'ZAB : le ksar TAFILALT TAJDIDT. Des îlots de 22 à 28 maisons peintes en rouge brique, disposées en pente et dotées de larges allées, d'accès facile et de grandes placettes aérées ornent cette belle cité.

Le projet « Ksar Tafilelt » est une expérience humaine très particulière, par ses approches : sociale, urbanistique et écologique.

I.1.4.1. La carte technique de Tafilet:

Projet : Réalisation de la nouvelle cité « Tafilet »

Promoteur : Société civile Immobilière AMIDOUL.

Superficie globale du terrain : 22.5 Ha.

Surface résidentielle : 79.670,00 m²

Nombre de logement : 870 logements.

Date de début des travaux de construction : 15 mars 1997

Lieu : ville BENI-ISGUEN –Ghardaïa -Algérie

Site naturel : Terrain rocheux et une pente : 12 à 15 %

Climat : Climat Saharien



Figure02 : photo satellite de la zone d'étude

I.2.Étude hydraulique des caractéristiques climatique

I.2.1.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 (nappe phréatique) 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.

Tableau.01 : Caractéristiques de station pluviométrique de la région de Ghardaïa

La station	Code de la station	Coordonnées		
		Latitude	Longitude	Altitude
Ghardaïa	60-56-60	32° 42' 35"	03° 81' 26"	450 m



Figure.03: Carte représentant le site de la station pluviométrique de Ghardaïa (Google Earth-2010).

I.2.2.Les 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**).

I.2.2.1. Précipitations moyennes mensuelles (période : 2003 -2013)

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 le tableau suivant :

Tableau 02 : Répartition mensuelle des pluies moyennes annuelles (période : 2003 -2013)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Année
P (mm)	25,91	10,55	5,07	4,23	13,71	1,81	11,86	9,85	1,52	3,16	3,30	9,42	100,39

Source : Station de Ghardaia (code 60-56-60)

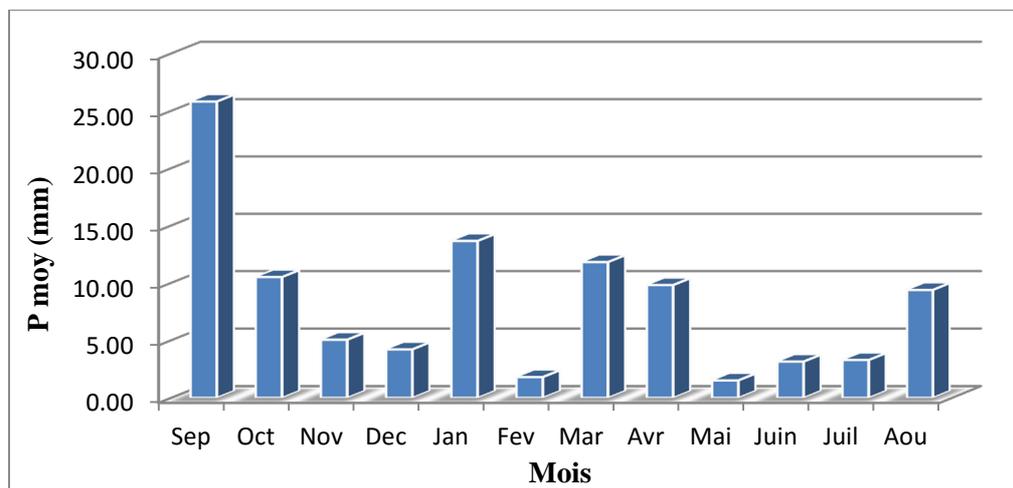


Figure04: Répartition mensuelle des pluies moyennes annuelles, station de Ghardaïa (2003-2013). Source : Station de Ghardaïa (code 60-56-60)

I.2.2.2. Interprétation des résultats :

L'histogramme de répartition des moyennes mensuelles précipitations montre 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**.

I.2.3. Les Températures :

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 (2003-2013) sont représentées graphiquement par la figure (10).

Tableau03 : Valeurs moyennes de températures (C) (période : 2003 -2013)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou
T (°C)	28,79	23,7	16,75	11,87	11,29	12,8	14,42	17,68	21,67	30,83	35,21	34,15

Source : Station de Ghardaia (code 60-56-60)

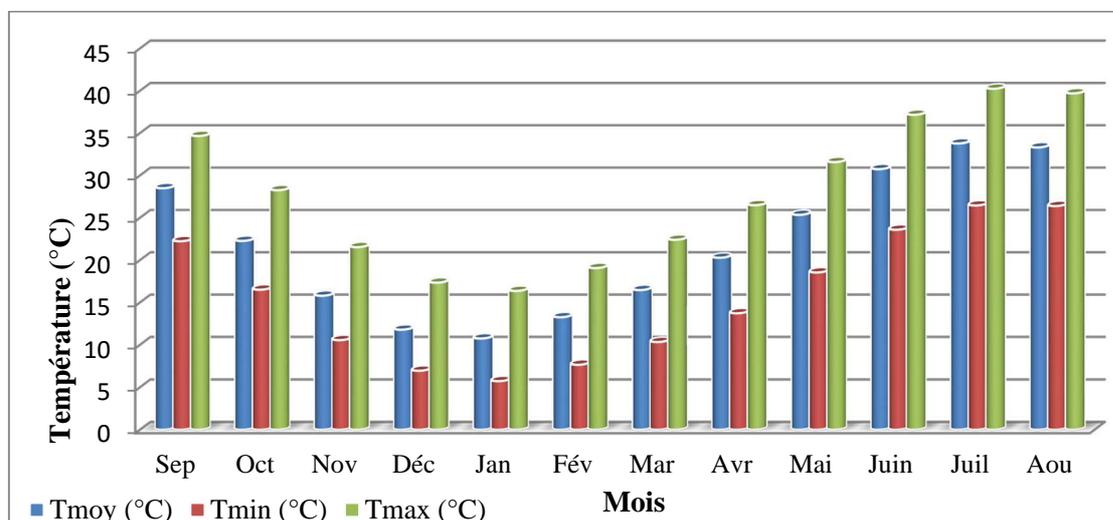


Figure05 : Variations moyennes de températures (C), station de Ghardaïa (2003-2013).

Source : Station de Ghardaïa (code 60-56-60)

I.2.3.1. Interprétation des résultats :

D'après le graphe, 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.2.4.Synthèse climatique de la région

I.2.4.1. 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 ($P \leq 2T$) ; la période est dite sèche.

Tableau04 : Valeurs moyennes mensuelles des précipitations et des températures (2003-2013. Source : Station de Ghardaïa (code 60-56-60)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou
T (°C)	34,66	28,26	21,54	17,34	16,37	19,07	22,41	26,49	31,58	37,17	40,24	39,70
Pmoy (mm)	25.91	10.55	5.07	4.23	13.71	1.81	11.86	9.85	1.52	3.16	3.30	9.42

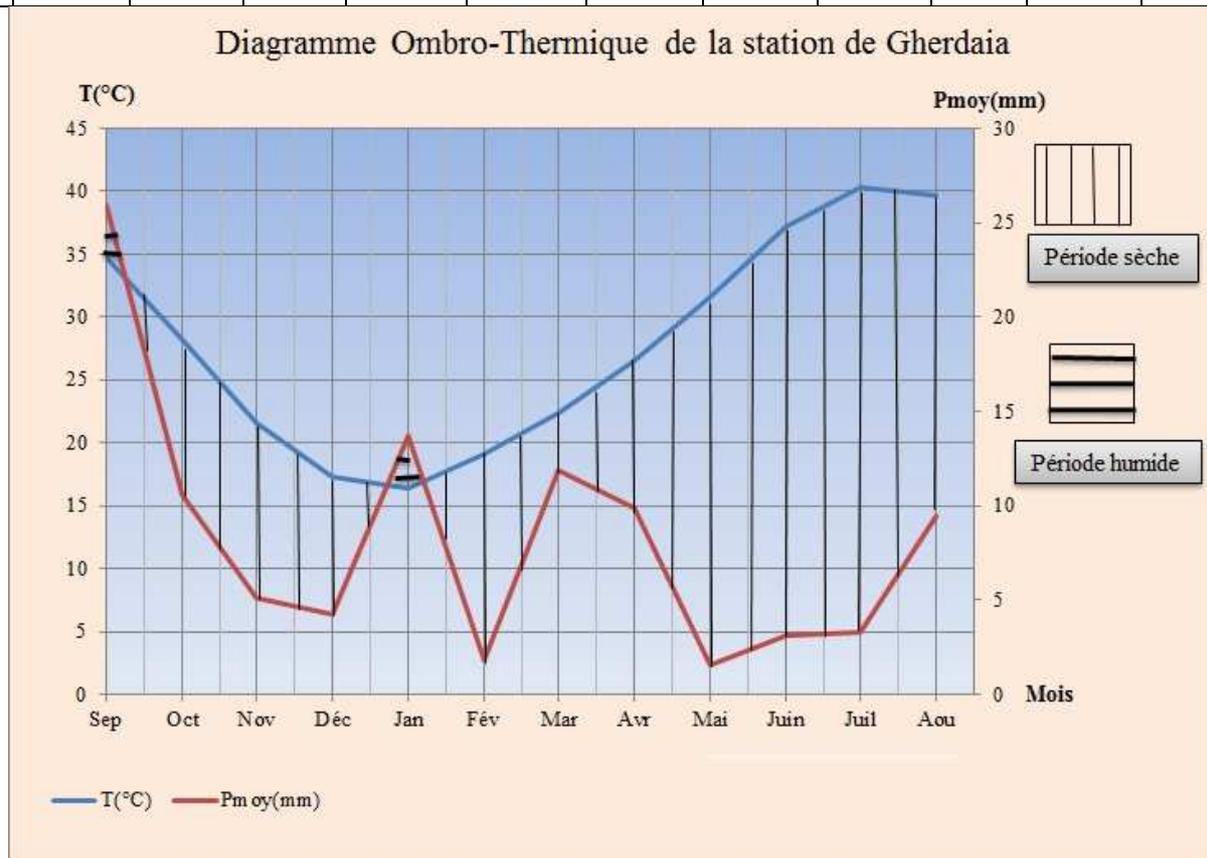


Figure.06 : Diagramme Ombro-Thermique de la station de Ghardaïa (2003-2013)

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.2.4.2. Détermination de l'indice d'aridité de Martonne :

En 1923, le géographe De Martonne a défini l'indice de l'aridité qui est fonction de deux paramètres climatiques : la température (°C), et la précipitation (mm) selon la formule suivante :

$$I = P / (T+10)$$

Avec :

I : indice de De Martonne.

P : précipitations moyennes annuelles (mm).

T : température moyenne annuelle (°C).

Tableau.05 : Classification climatique selon l'indice d'aridité.

Valeurs Indice d'Aridité	Type de climat	Irrigation
$I < 5$	Désertique	Indispensable
$5 < I < 10$	Très sec	Indispensable
$10 < I < 20$	Sec	Souvent Indispensable
$20 < I < 30$	Humide	Parfois utile
$I > 30$	Très humide	Inutile

<i>P (mm)</i>	<i>T (°C)</i>	<i>I</i>	<i>Classement</i>
100.39	21.59	3.18	Région Désertique

Tableau.06 : Indice d'aridité dans les stations de Ghardaïa (période : 2003 – 2013)

Selon de Martonne une valeur de I est inférieure à 5 caractérise un milieu Désertique et donc c'est le cas de la région de Bounoura.

I.2.4.3.Diagramme d'Emberger

Pour préciser le climat de la région nous employons le "climat gramme" de L. Emerger (figure.7) sur lequel nous avons reporte les données relatives à la station de Ghardaia avec en abscisse la moyenne des minima de la saison froide en (°C) et en ordonnée Q donne par la formule suivante :

$$Q_3 = \frac{3.43 \times P}{M - m}$$

Où :

Q_3 : 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 : $Q_3 = 14,39$ mm/°C

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

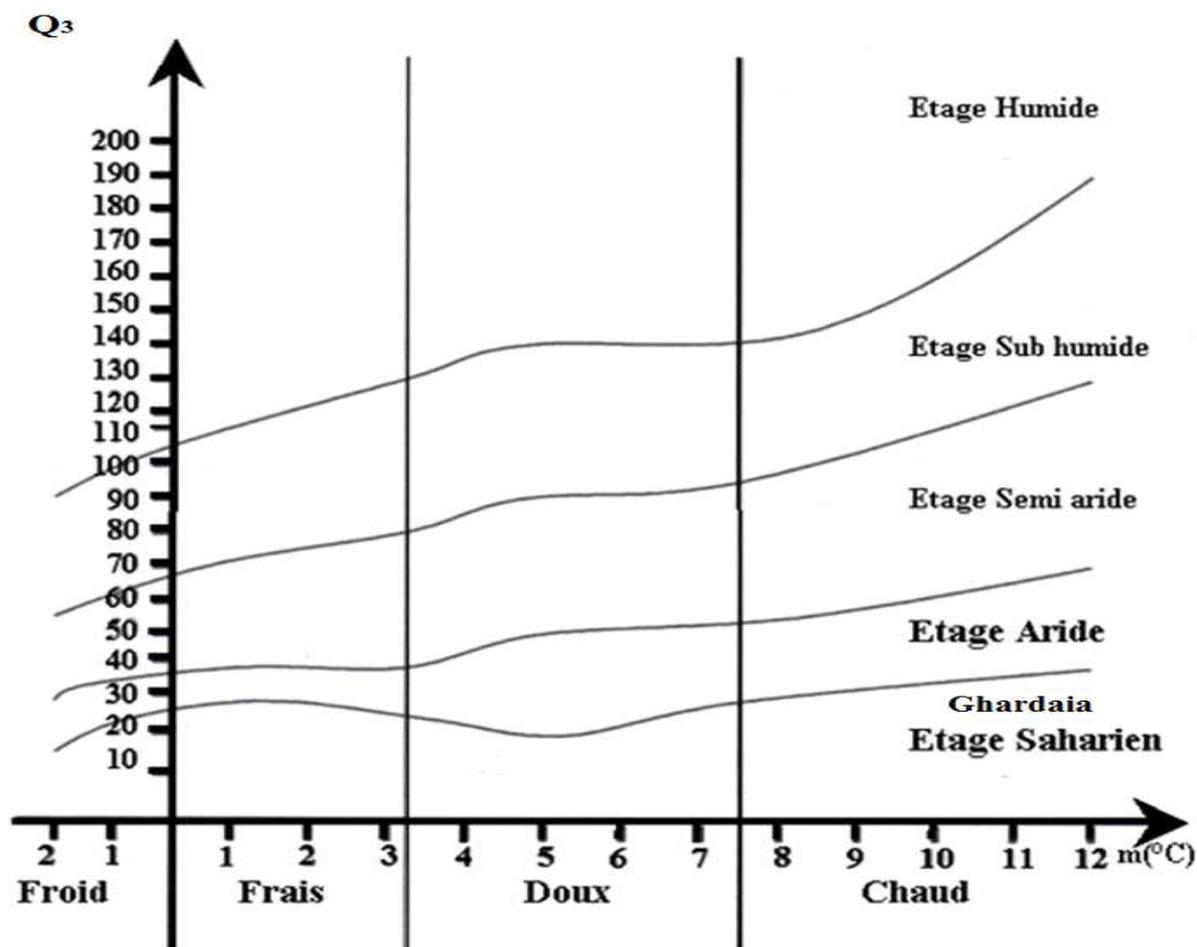


Figure.07:Diagramme d’Emberger (2003-2013). Source : Station de Ghardaïa (DAUG, code 60-56-60)

I.2.5. Humidité relative de l’air

Les variations de l’humidité relative de l’air sont fondamentalement conditionnées par les variations de la température et par la nature des masses d’air locales. On admet que la variation de la température de l’air provoque, en règle générale, une variation contraire de l’humidité relative de l’air. La distribution spatiale des valeurs de l’humidité de l’air et variations journalières et annuelles, peuvent être modifiées par l’action des facteurs locaux.

Tableau.07:Présente les valeurs moyennes mensuelles de l’humidité relative de l’air (2003-2013).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû
H(%)	34,57	43,65	52,94	56,91	55,06	46,91	40,50	35,16	30,76	26,58	23,29	25,01

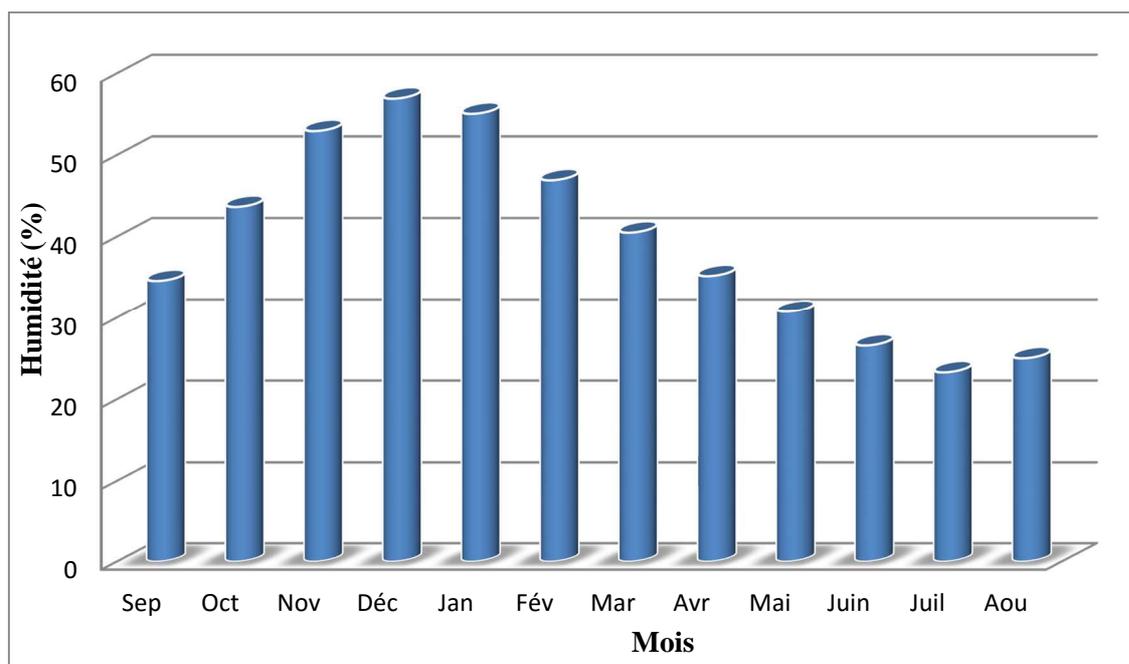


Figure08: Les variations de l’humidité relative de l’air (2003 -2013). Source : Station de Ghardaïa (DAUG, code 60-56-60)

Le mois durant lequel on enregistre les valeurs les plus basses sont le mois de Juillet avec une valeur d’humidité relative de 23.29%. C’est pour les mois de novembre et décembre qu’on enregistre les valeurs les plus élevées, autour de 56.91%.

I.2.6.Vitesse du vent

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou
V (m/s)	12,49	11,43	11,61	12,74	13,46	14,70	15,80	17,43	16,71	15,64	13,45	12,43

Tableau.08 : Présente les valeurs moyennes mensuelles de la vitesse du vent (m/s) (2003 - 2013). Source : Station de Ghardaïa (code 60-56-60).

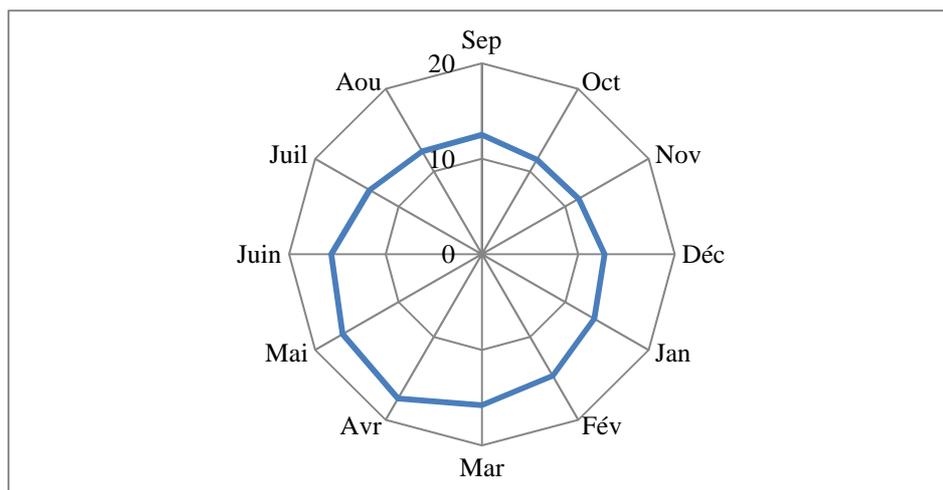


Figure 09: Valeurs moyennes de la vitesse du vent (m/s). Source : Station de Ghardaïa (code 60-56-60).

La vitesse moyenne du vent présente une petite variation pendant toute l'année, en oscillant entre une valeur minimale en Octobre de l'ordre de 11.43 m/s, et une valeur maximale de 17.43 m/s mois d'Avril. Le graphique ci-après présente une illustration de ce paramètre sur l'année.

I.2.7. 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.

La très faible pluviosité à l'extrême fait disparaître la couverture végétale et fait accroître l'importance du moindre souffle de vent et lui permet des actions mécaniques toujours notables.

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 et en automne 1994 de violentes crues ont déferlé sur la vallée en causant de sérieux dégâts.

CHAPITRE II

CHAPITRE II

Etude Géologique et
Hydrogéologique de la zone
d'étude

II.1.les caractéristiques géologiques de la région

II.1.1. Géologie régionale :

La wilaya de Ghardaïa est située aux bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Sahara, sur un grand plateau subhorizontal de massifs calcaires d'âge Turonien appelé couramment "la dorsale du M'Zab". L'épaisseur de ses massifs calcaires recoupés par les sondages est de l'ordre de 110 mètres. Sous les calcaires turoniens on recoupe une couche imperméable de 220 mètres formée d'argile verte et de marne riche en gypse et en anhydrite; elle est attribuée au Cénomaniens. L'étage de l'Albien est représenté par une masse importante de sables fins à grès et d'argiles vertes. Elle abrite des ressources hydrauliques considérables, l'épaisseur est de l'ordre de 300 mètres.

Les alluvions quaternaires formées de sables, galets et argiles tapissent le fond des vallées des oueds de la dorsale, d'une épaisseur de 20 à 35 mètres. Ces alluvions abritent des nappes superficielles d'Inféro-flux (nappes phréatiques).

L'agglomération de Tafilelt, notre secteur d'étude, a été édifée sur un monticule de la berge droite de l'affluent de oued N'tissa. A terrain franchement calcaire imperméable d'âge turonien.

II.1.2. Description litho stratigraphique

Le territoire de la wilaya de Ghardaïa est localisé dans le domaine du craton Nord Africain composé essentiellement de dépôt du Crétacé, du Néogène et du Quaternaire.(A.N.R.H ,2010).

II.1.2.1. Crétacé

Cette formation qui caractérise une grande partie de la région de la chebka du M'Zab, est constituée d'une double dalle claire, dure, de calcaire plus ou moins dolomitique parfois pétries de coquilles. Il est représenté par :

- **Cénomaniens** Le Cénomaniens est formé par une alternance de bancs d'argile, de dolomie, de calcaire dolomitique, et d'évaporite (gypse) avec une nette dominance des argiles et des évaporites. Les argiles cénomaniennes constituent l'imperméable de la nappe du Turonien tandis que les calcaires sommitaux du Cénomaniens sont en continuité hydraulique avec cette même nappe.

- **Turonien** La série turonienne entièrement carbonatée, forme l'ossature de la chebka du M'Zab et constitue le réservoir aquifère principal. C'est dans sa masse que les oueds ont creusé leurs lits.

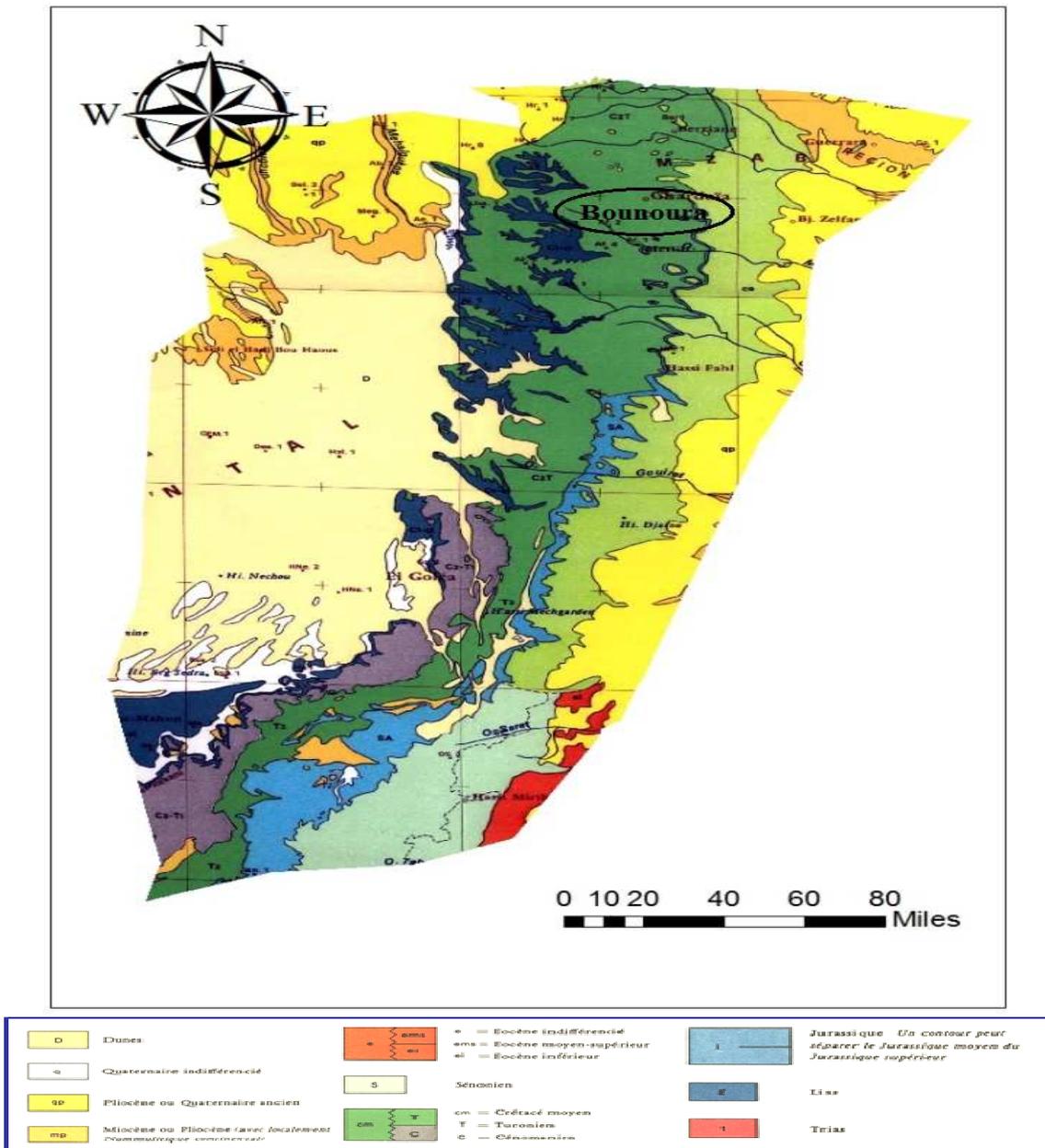


Figure10 : Carte géologique de la wilaya de Ghardaïa (extrait modifié de la carte géologique 1/500000 de l'Algérie) (A.N.R.H ,2010)

La base du Turonien n'est connue que dans la région Ouest de la chebka du fait du plongement général des couches vers le Sud-Est. De faciès carbonaté dans cette région, il est constitué à la base par des calcaires dolomitiques massifs, au sommet par des calcaires crayeux blancs, le tout formant d'importantes falaises (Oued El Abiod), bordure de l'oued El Louha et Berriane). Le Turonien est érodé à l'affleurement, il a plus de 100 m à Ghardaïa.

- **Sénonien** Le Sénonien affleure partout sur les bordures Est et Nord de la Chebka. Il est représenté par un Sénonien à assises marines ou lagunaire avec une alternance de calcaire et marnes dolomitisées et argiles gypsifères.

II.1.2.2. Néogène

Le Néogène est développé à l'Est de la région et repose en discordance sur les formations sous-jacentes du crétacé. Ce sont des formations détritiques récentes qui occupent les dépressions de l'Atlas Saharien, et qui s'étendent largement au Sud, sont rattachées au Miocène supérieur et au Pliocène, sans que l'on puisse établir une détermination exacte. Ce sont, en majeure partie, des produits d'altérations superficielles, rubéfiés (argile et terre argilosableuse plus ou moins mêlées de fragments anguleux) que l'on ne saurait assimiler à des galets fluviaux.

II.1.2.3 Quaternaire

Le Quaternaire apparaît surtout sous forme de dépôts alluvionnaires au niveau des lits d'oued et dépressions fermées (Daïas). Le Quaternaire largement répandu à travers tout le territoire est représenté par des poudingues, des dépôts sablo-graveleux et argileux.

II.1.2.4. La tectonique

Durant le secondaire, la partie centrale du Sahara septentrional a subi des mouvements verticaux d'ensemble qui se sont traduits par un effondrement progressif. Au début du Crétacé, cet affaissement est comblé par un dépôt lagunaire accusant au centre de la cuvette des épaisseurs considérables, le mouvement de descente se poursuit très lentement pendant le Turonien et une partie du Sénonien les deux étages présentent des épaisseurs et des faciès peu variables sur toute l'étendue de la cuvette saharienne

A l'Eocène moyen réapparaît un dépôt lagunaire qui correspond au comblement définitif de la cuvette saharienne, par la suite, les mouvements dans cette dernière se sont traduits par : Un exhaussement d'ensemble suivi d'un mouvement de descente qui a débuté au Miocène et qui dure encore actuellement correspondant à la sédimentation continentale du Mio-Pliocène et du Quaternaire. la structure géologique de la région présente une tectonique étagée qui se traduit par : - l'étage de plissement modéré des différentes roches du Trias à l'Eocène ; - l'étage subtabulaire des roches principalement meubles de l'Oligocène au Quaternaire

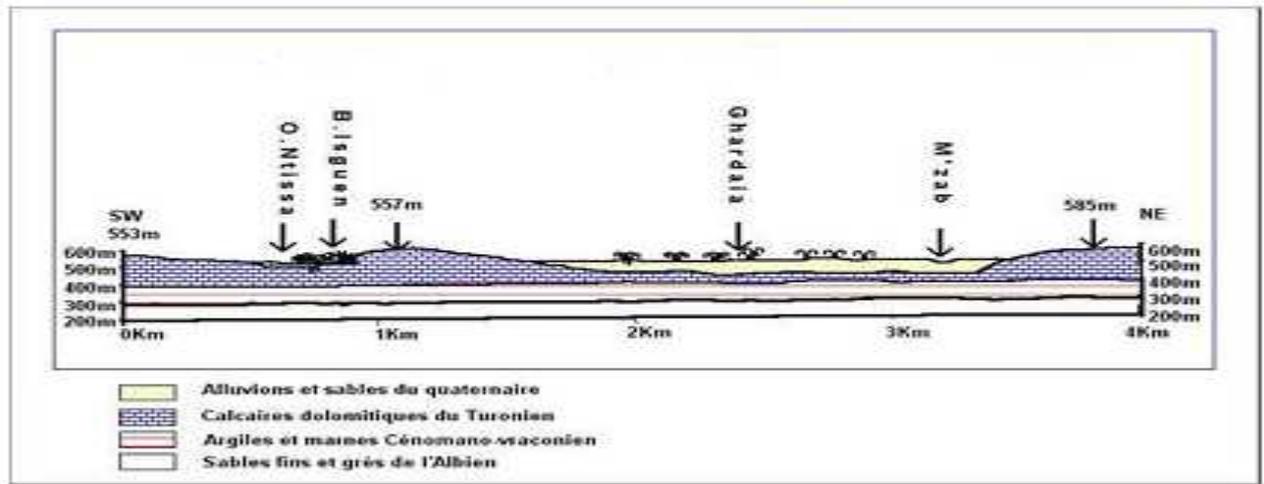


Figure 11: coupe géologique et schématique de la vallée du Mzab. Source : ANRH 2007

Coupe hydrogéologique Synthétique de la région			
	Coupe	Description	Étage
	0	Calcaire gris, blanc dur	Turonien
	25	Calcaire marneux	
	50	Argile marron et grise	Cénomaniens
	75	Argile marron, grise plastique	
	100	Marne jaunâtre	
	125	Marne jaunâtre	
	150	Argile verte	
	175	Argile marron, grise plastique	
	200	Argile marron et grise	
	225	Argile briolée	
	275	Argile brune sableuse	
	300	Sable fin brun et argile	
Épaisseur de l'aquifère	300	Argile grise sableuse	
	325	sable rose à rognons de grès	
	325	Sable fin marron, à grès dur	
	350	Sable fin argileux brun	
	350	Grès et sable	
	375	Sable argileux jaunâtre	
	400	Sable grossier à gravier	
	400	Sable grossier jaunâtre	
	425	Grès brun à jaunâtre	
	425	Sable rouge à grès	
	450	sable rose à rognons de grès	
	475	Sable rouge grossier	
	522	Sable rouge argileux	fin du sondage
			Formation imperméable
			Formation aquifère

Figure12 : coupe forage Tafilet (description lithologique). Source :DRE Gharāia

II.2. 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.

II.2.1 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 (A.N.R.H., 2003). 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 . 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. (2007), 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.

II.2.2 Nappe du Continental Intercalaire

Dans la plate-forme saharienne, la nappe dite albienne 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 (A.N.R.H., 2007). La nappe du continental intercalaire, selon l'altitude de la zone et la variation de l'épaisseur des formations postérieures au Continental Intercalaire, est (A.N.R.H, 2007) : - Jaillissante et admet des pressions en tête d'ouvrage de captage (Zelfana. Guerrara et certaines régions de Goléa);

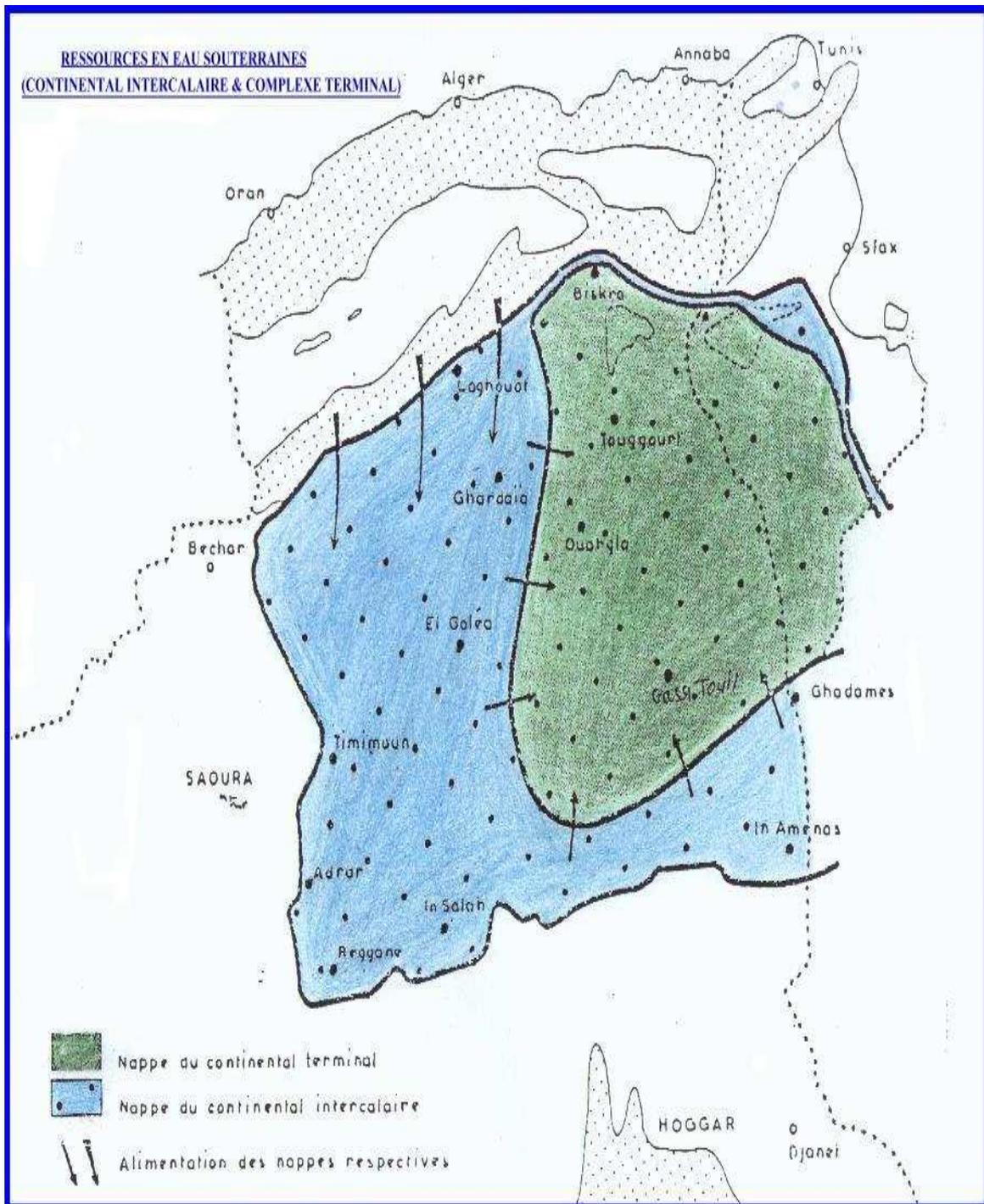


Figure 13: aquifères du Sahara algérien (ANRH OUARGLA)

-exploité par pompage à des profondeurs importantes (Ghardaïa, Metlili, Berriane et certaines régions de Goléa)

La profondeur de la couche exploitée est d'environ 200 m à Goléa, 300 m à Mansoura, 400 à 450 m dans la vallée du m'zab et autour de 800m et plus à Guerrara et Zelfana.

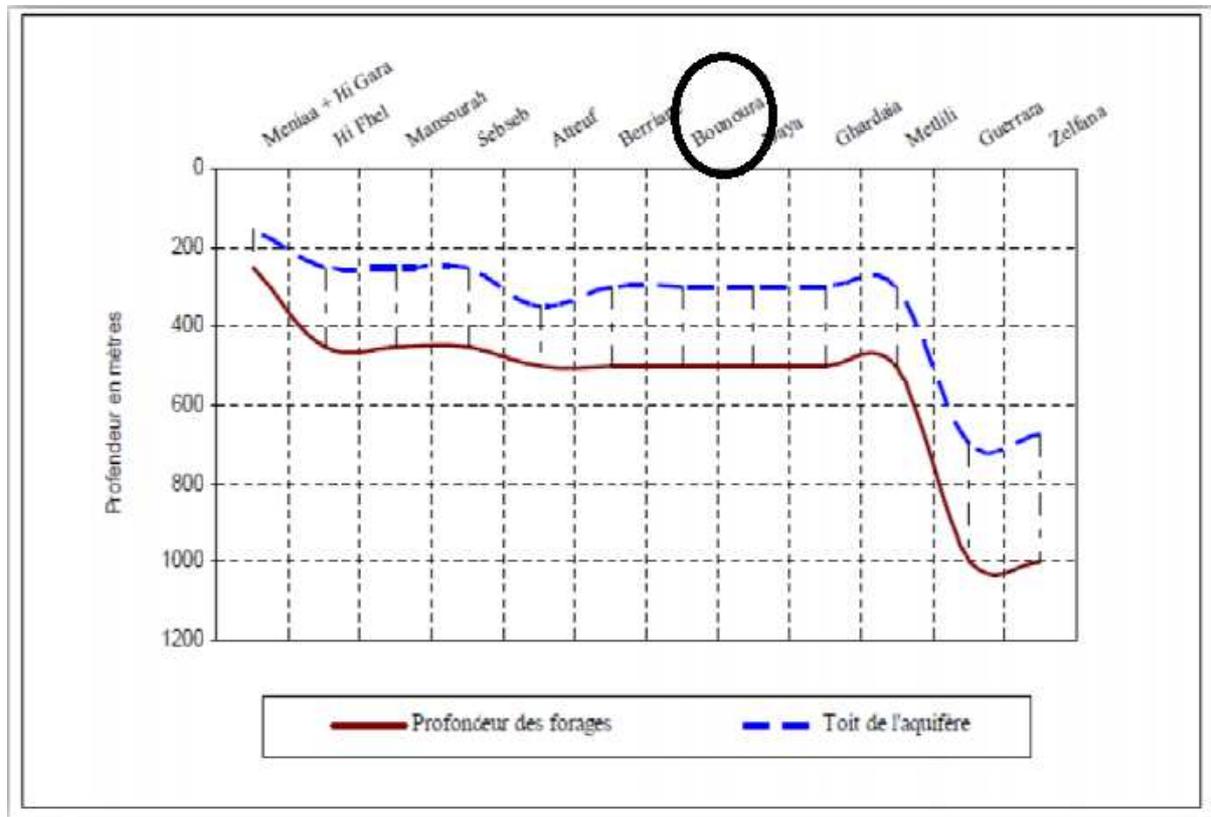


Figure 14: variation du toit et de profondeur de l'aquifère de l'albien (A.N.R.H, 2005)

II.2.2.1 Exploitation de la nappe du Continental Intercalaire (Albien) à Ghardaïa

Le premier ouvrage exploitant la nappe albienne dans la région de Ghardaia, date du 1/05/1891, situé dans la vallée de Goléa avec une profondeur de 55,15m (A.N.R.H ,2005), et le premier forage albien exécuté dans la vallée du M'Zab date de 1938. A partir de cette période, le nombre de forage n'a cessé d'augmenter.

La wilaya compte actuellement plus de 565 forages, ils se répartissent comme suite (A.N.R.H ,2011) :

- 99 forages d'alimentation en eau potable avec un volume annuel soutiré de 68,71hm³
- 299 forages d'irrigation avec un volume annuel soutiré de 302,02 hm³.
- 17 forages d'alimentation en eau industrielle avec un volume annuel soutiré de 6,71hm³
- Pour la commune de Bounoura : 17(08 AEP- 02 industriels – 08 irrigation).

II.2.2.2 Qualité des eaux de la nappe du CI de la région de Ghardaïa :

La comparaison des quantités de minéraux contenus dans les eaux de la région et les normes nationales et celles de l'OMS montre que ces eaux sont bonnes pour la consommation (A.N.R.H., 2007). Le tableau 2 montre que les eaux, à l'exception de celles de Goléa qui sont extrêmement douces, ne sont pas trop chargés (Résidu sec variant entre 1 et 1,8 g/l) et présentent un faciès chimique de type sulfaté magnésien et parfois sulfaté chloruré magnésien.

Localités	Ca ⁺⁺	Mg ⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	R.S
	mg/l								
Berriane	67	105	145	8	270	325	170	26	1068
Guerrara	98	170	212	16	470	536	140	21	1840
Ghardaia	21	149	145	13	265	400	128	10	1226
Zelfana	126	169	112	20	135	950	153	0	1832
Metlili	35	241	145	8	180	796	275	20	1424
Mansourah	60	110	132	7	230	305	163	21	987
El Goléa	39	13	63	7	40	45	210	7	370
Normes nationales	100	200	150	12	200	250	-	50	1500
Normes de l'OMS	100	250	200	-	250	400	-	44	2000

Tableau09 : Concentration moyenne des éléments chimiques de l'eau de l'Albien et comparaison avec la réglementation nationale et de l'OMS. (ANRH, 2005).

- Les valeurs élevées du Ca, K et Cl ont enregistré à Zelfana avec respectivement 126 mg/l, 20 mg/l et 950 mg/l; - La région de Guerrara caractérise par les valeurs les plus élevées en Na (212 mg/l) et HCO₃ (470 mg/l), alors que la valeur la plus élevée en sulfate est enregistrée à Goléa avec 210 mg/l; - La valeur la plus élevée du Mg (241 mg/l) est signalée au niveau de Metlili, et celle du NO₃ avec 26 mg/l à Berriane.

II.3.Conclusion :

La localité de TAFILET satisfait ses besoins en eau (AEP), à partir de la nappe du continentale intercalaire (l'Albien), qui est la principale ressource en eau de la région exploitée actuellement par 345 forages dans l'ensemble de la wilaya ;

Les eaux de la nappe profonde contenue dans les couches perméables des sables et des grès de l'albien à 300 mètres.

La nappe captive (Complexe Intercalaire CI) est composée de sables, grès et d'argiles sableuses d'âge Albien

La qualité de ses eaux est bonne pour la consommation et répondant aux normes de l'OMS.

CHAPITRE III

CHAPITRE III

Etude du besoin en eau

III. Objectif:

D'après notre diagnostic, nous avons constaté que la localité de Tafilelt est alimentée par le réservoir situé dans la zone industrielle de Bounoura ce qui influe sur la disponibilité de l'eau ainsi que le régime de distribution d'une part, et d'autre part le problème de l'adduction, largement distant, vers le réseau de notre localité. C'est dans ce contexte que s'inscrit ce projet de la réalisation d'un forage d'eau profond, qui sera destiné pour renforcer l'alimentation en eau potable de la localité de Tafilelt, et de réduire l'adduction en vers le réseau.

III.1.Période prise en compte pour l'étude du besoin en eau :

L'étude du besoin en eau de la localité de Tafilelt s'étale sur une période de 20 ans de l'an 2016 jusqu'à l'an 2036. Au-delà de cette période, l'estimation devient grossière en raison des incertitudes sur les différentes évolutions de l'agglomération, qui vont altérer largement les calculs du besoin en eau.

III.2.Normes unitaires de la consommation :

Nous avons jugé nécessaire d'adopter les dotations suivantes pour prendre en compte l'évolution démographique et sociale de l'agglomération.

L'estimation des besoins en eau pour différents horizons nécessite des normes de consommations unitaires, celles-ci sont établies sur la base de certains critères socio-économique et sanitaires, elles doivent répondre à une politique de redressement du niveau de vie des populations aux quels elles sont plus ou moins liées et elles doivent leur assurer une vie saine et hygiénique.

PERIODE	ANNEE	2016	2021	2026	2031	2036
DOTATION	l/J/Hab.	200	200	200	200	200

Tableau 10: Normes unitaires de la consommation.

III.3. Évaluation des besoins en eau :

Pour établir un projet d'alimentation en eau potable, et donc son exploitation ultérieure, il faut savoir la quantité d'eau globale qu'on exige et le régime des consommations de cette quantité, donc il est nécessaire de procéder à un recensement de toutes les catégories de consommations rencontré au niveau de la localité de Tafilelt.

III.3.1. Besoins Domestiques :

Vue le Manque des données réelles sur la communauté des cette localité, On est été obligé de prendre le mode du parc de logement pour le calcul de nombre d'habitant et leurs besoins en eau potable comme représenté sur le tableau suivant :

Nombre des logements	Nombre d'habitants équivalent (07per/log)	Consommation 200L/J/H	
		m ³ /j	L/S
Actuelle- M.Terme- L.Terme	Actuelle- M.Terme- L.Terme		
870	6090	1218	14.097

Tableau 11: Evaluation des besoins domestiques suivant le parc de logement

III.3.2. Besoins d'équipements :

Suite au manque des données sur le programme d'équipements projeter et manque d'un POS (plan d'occupation sol) sur la localité de Tafilelt, Les calculs de besoin d'équipements se basé sur la méthode PNE (plan nationale d'eau).

Ils s'adopté sur la répartition provisionnelle de la consommation selon les usages en% de la consommation domestique (volet eau potable et industrielles évaluation de la demande en eau / rapport méthodologie page 45.mars 1997)

Type d'agglomération	administration	commerce	industrie
Métropole nationale	30 %	15 %	10 %
Métropole régionale	20 %	10 %	10 %
Agglomération urbaine	15 %	08 %	10 %
Agglomération semi rurale	10 %	05 %	05 %
Agglomération rurale	05 %	03 %	02 %

Tableau12: répartition provisionnelle de la consommation selon les usages en% de la consommation domestique.

A prendre en considération que les besoins industriels en eau ne sont pas pris dans les calculs, étant que notre localité a pour limite de la zone industrielle de Bounoura, et cette dernière est dotée d'un forage qui lui assure ces besoins en eau.

Les résultats d'après l'application de la méthode PNE seront résumés dans le tableau n°13 suivant :

Type de consommation	Agglomération urbaine	Consommation moyenne Journalière m ³ /j
Besoin domestique	100%	1218
Besoin administratifs	15%	182.7
Besoin commerce	08%	97.44
TOTAL		1498.14 m³/j
		17.34 l/s

Tableau 13: tableau récapitulatif des besoins domestique et d'équipements

III.4. Etude Des Variations Des Besoins :

Généralement le débit consommé par les habitants n'est pas constant, il varie selon la consommation due aux variations : Annuelles, mensuelles, horaire et journalières

- Annuelles : suivant le développement de l'agglomération.
- Mensuelles : sont dues à l'importance de la vie (villes touristiques, grande ville....).
- Horaire : représentant la variation la plus importante à l'heure de pointe de la journée.
- Journalier : variée suivant les jours de la semaine.

III.4.1. DÉBIT MOYEN JOURNALIER :

Le débit moyen journalier représente la somme de tous les besoins

$$Q_{\text{moyj}} = \sum (\text{Besoins domestique} + \text{Besoins des équipements}) + \text{pertes dans le réseau (30\%)}$$

III.4.2. DÉBIT MAXIMAL JOURNALIER :

Représente la demande maximale en eau pour une agglomération donnée par :

$$Q_{\text{MAXJ}} = Q_{\text{moyj}} \times K_j$$

K_j : coefficient de variation journalier, en générale, $1,1 < K_j < 1,3$

Vue l'aspect urbain de la zone On prend : $K_j = 1,2$

III.4.3. DÉBIT HORAIRE :

Il est calculé par la formule suivante $Q_h = \frac{Q_{\text{moy.j}} \times K_h}{24}$

- Q_h : Débit horaire.
- Q_{moyj} : Débit moyen journalier
- K_h : coefficient de variation horaire

Le Coefficient de variation horaire K_h : Il exprime l'irrégularité de la consommation pendant les heures de la journée, il est donné par la formule.

$$K_H = \alpha_{\max} \times \beta_{\max}$$

α_{\max} : coefficient qui dépend du niveau de confort de la population ainsi que régime de travail
 $1.2 < \alpha_{\max} > 1.4$ (on prend $\alpha_{\max} = 1.2$)

β_{\max} : coefficient qui dépend du nombre d'habitants.

III.4.4.DÉBIT DE POINTE :

Il représente la demande en eau dans les heures de pointe ; il est déterminé par la relation suivante : $Q_P = Q_{moyj} \times K_P$

- K_P : coefficient de pointe, donné par la relation suivante : $K_P = K_J \times K_H$
- K_J = Coefficient de variation journalière
- K_h = Coefficient de variation horaire

Les résultats des calculs sont résumés sur les tableaux suivants :

Pop x10 ³	1.00	1.50	2.50	4.00	6.00	10.00	20.00	30.00	100.00	300.00	>1000
Beta max	2.00	1.80	1.60	1.50	1.40	1.30	1.20	1.15	1.10	1.03	1.00
Beta min	0.10	0.10	0.10	0.20	0.25	0.40	0.50	0.60	0.70	0.83	1.00

Tableau14 : Valeurs de bêta en fonction du nombre d’habitants[10]

Les résultats de calcul hydraulique se résumé sur le tableau suivant :

periode	Nbre d'hab	Dotation	Domestiqu e + équipement	Qmoyj	alph a	beta	K h	KJ	Qmaxj	Qh	Kp	Qp	Qp
AT-MT- CT	hab	l/j/hab	m3/j	m3/j					m3/j	m3/h		m3/j	l/s
2016- 2036	6090	200	1498.14	1947.58	1.30	1.3	1.69	1.20	2337.1	105.49	2.03	3952.8	45.75

Tableau 15: tableau de calcul des besoins

<i>periode</i>	<i>Qmoyj</i>	<i>Qmoyj</i>	<i>Qmaxj</i>	<i>Qmaxj</i>	<i>Qp</i>	<i>Qp</i>	<i>Prod-Source</i>		<i>Déficit</i>	
<i>année</i>	<i>m3/j</i>	<i>L/S</i>	<i>m3/j</i>	<i>L/S</i>	<i>m3/j</i>	<i>L/S</i>	<i>l/s</i>	<i>m3/j</i>	<i>l/s</i>	<i>m3/j</i>
2016	1947.58	22.54	2337.10	27.05	3952.80	45.75	17.50	1512.00	-28.25	-2440.80
2021	1947.58	22.54	2337.10	27.05	3952.80	45.75	17.50	1512.00	-28.25	-2440.80
2026	1947.58	22.54	2337.10	27.05	3952.80	45.75	17.50	1512.00	-28.25	-2440.80
2031	1947.58	22.54	2337.10	27.05	3952.80	45.75	17.50	1512.00	-28.25	-2440.80
2036	1947.58	22.54	2337.10	27.05	3952.80	45.75	17.50	1512.00	-28.25	-2440.80

Tableau16: bilan production -besoins

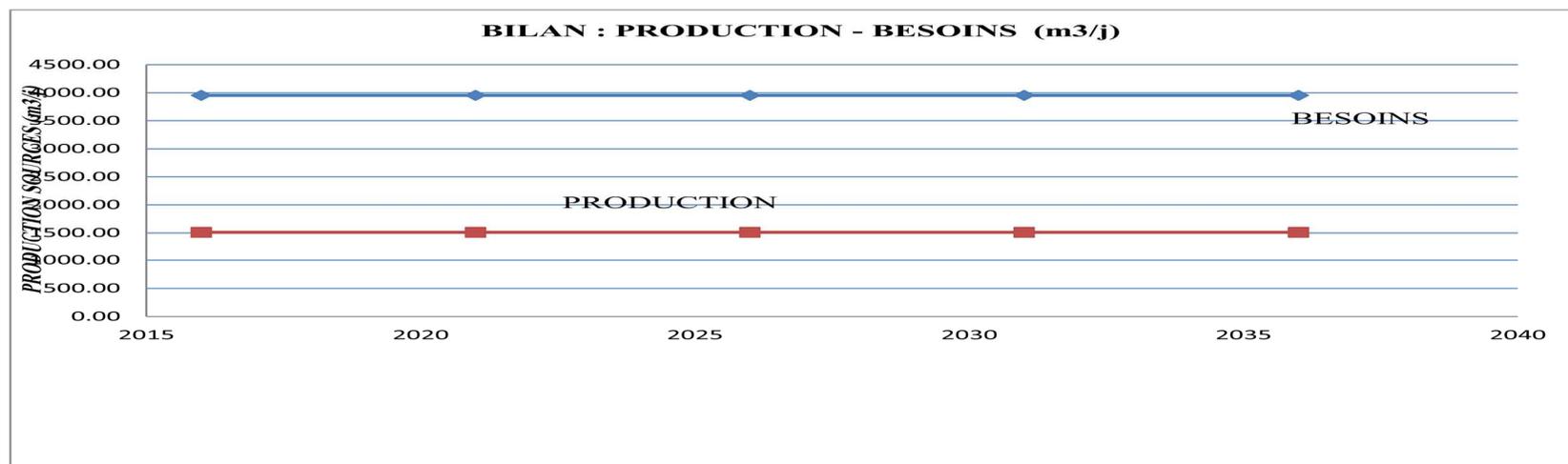


Figure15 : bilans production –besoin (m³/j)

En remarque que la période déficitaire dans le billon de production s'allonge à partir de l'année 2016-2036

Actuellement l'alimentation de la localité de Tafilelt ce fait a partir du forage de la zone industrielle de Bounoura qui donne un débit de 35 l/s (fiche inventaire des forages – DRE Ghardaïa) qu'il assure l'alimentation en eau potable pur la zone industrielle et la localité de Tafilelt au mêmes temps, et a partir de manque des donnés réelle de débit mobilisé pour notre localité on était obligé de prendre le moitié (17.5l/s) de débit de forage pour le calcul le débit produit pour Tafilelt.

En remarque un déficit de tous les périodes, donc vue le manque remarquable de débit de la ressource actuel (forage de la zone industrielle) le renforcement de débit produit est obligatoire.

III.4.5.Bases de calcul :

Taux de pertes : 30 %

Kj : coefficient maximum journalier =1.10

kmax h =alpha x bêta (coef maximum horaire)

alpha est prise = 1.2

III.4.Conclusion :

Vu les calculs hydrauliques qu'on a effectué, nous remarquons qu'il y a un déficit dans le bilan de la production, ce qui nous laisse dire qu'il est préférable que les autorités locales s'engagent de renforcer la localité par la réalisation d'un nouveau forage d'eau profond afin de couvrir les besoin en eau potable de la localité de Tafilelt.

CHAPITRE IV

CHAPITRE IV

Les méthodes de forage

IV. les méthodes de forage

IV.1. Introduction 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 minérale

IV.2. Forage au marteau fond de trou (MFT)

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).

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).

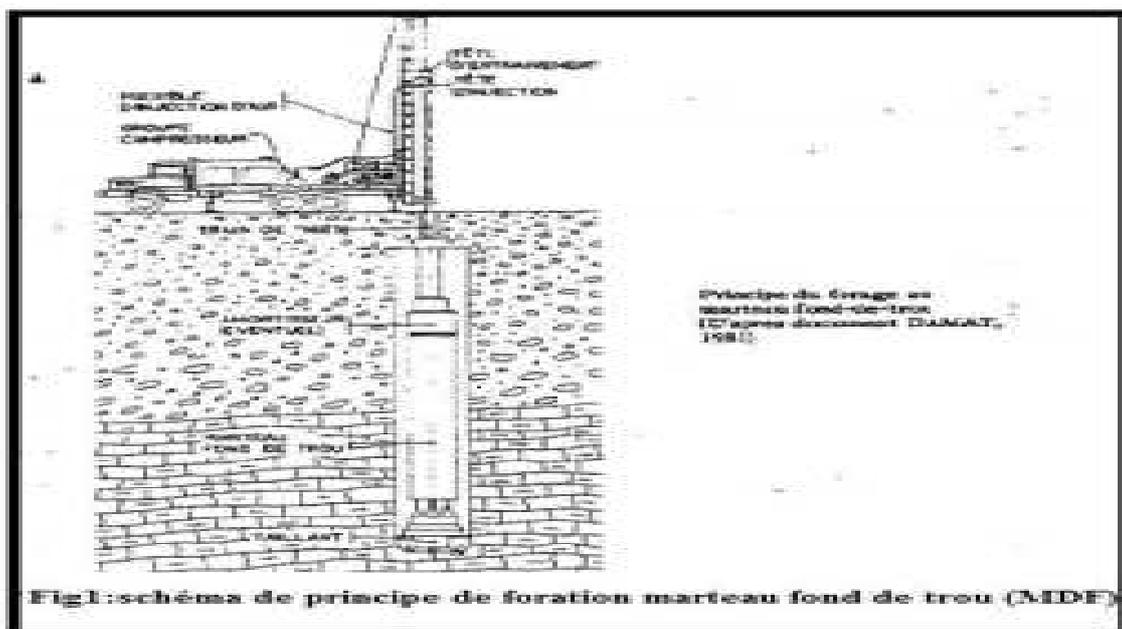


Figure 16 : Forage au marteau fond de trou (MFT). [7]

injecté en continu sous pression dans les tiges creuses de la ligne de sonde, il sort par les événements de l'outil et remonte à la surface dans l'espace annulaire (entre les tiges et les parois du trou).

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.

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.

IV.4. Forage en circulation inverse**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 cuttings 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.

Avantages

- Information géologique plus précise et quasi instantanée. Les cuttings recueillis en surface proviennent du seul fond du trou sans mélange avec des cuttings 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 cuttings par le train de tiges diminue fortement les risques de pertes de fluide et de cuttings 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.

Inconvénients

- Présence d'un fluide de forage et de risque de colmatage (idem circulation directe).
- S'agissant d'une reconnaissance de niveaux producteurs au moment de sa foration, le suivi d'un chantier en circulation inverse nécessite un contrôle continu et des prises de décision adéquates pour caractériser les différents niveaux (arrêt de foration et circulation ou pompage dès observation particulière). Il existe un risque d'occulter des informations importantes sur un niveau producteur d'épaisseur réduite par passage trop rapide.

IV.5. Forage par battage**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 (cuttings). Ce procédé permet de réaliser des forages sans utilisation d'eau ou de boue.

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, reforgé 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).

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.

IV.6. Les techniques de forage manuel

Pour forer à travers tous ces différents types de formations (sols), de nombreuses techniques de forage manuel ont été développées et sont utilisées de par le monde. Dans tous les cas, la technique de forage doit (a) casser ou couper la formation, (b) dégager les matériaux coupés (le sol) du trou, et (c) si nécessaire, fournir un support aux parois du trou, pour éviter qu'il ne s'effondre pendant le forage. Voici une brève présentation des principales techniques :

IV.6.1. Le forage a la tarière

Le forage à la tarière consiste à un ensemble d'allonges en acier qui est tourné par une poignée.

Différents types de tarières peuvent être fixées à l'extrémité des allonges. Les tarières sont tournées dans le sol jusqu'à ce qu'elles se remplissent et sont ensuite sorties du trou pour être vidées. Le modèle des tarières varie en fonction du type de formation (type de sol) à forer. Généralement au-dessus du niveau statique, le trou du forage reste ouvert sans avoir besoin d'être soutenu. Une fois dans la nappe, un pré-tubage temporaire peut être utilisé pour empêcher l'effondrement des parois du trou du forage. Le fonçage se poursuit à l'intérieur de ce pré-tubage à l'aide d'une tarière de mise en eau jusqu'à ce que la profondeur désirée soit atteinte. Puis, le tubage permanent est installé et le pré-tubage temporaire remonté à la surface. Le forage à la tarière peut être utilisé jusqu'à une profondeur d'environ 15 à 25 mètres, cela dépend de la géologie.

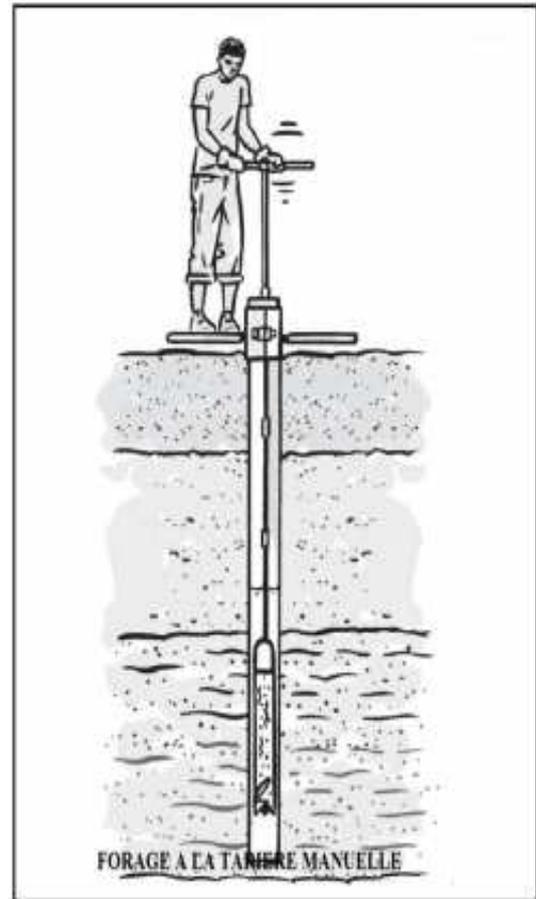


Figure18 : forage a la terrière manuelle. [7]

Avantage : facile à utiliser au-dessus du niveau de la nappe. Equipements bons marchés.

Inconvénient : il est parfois très difficile d'enlever le pré-tubage temporaire.

Application géologique : sables, limons & argiles tendres.

IV.6.2 Le forage a la boue

Le forage a la boue (ou forage rotatif à boue lorsqu'un mouvement de rotation de l'outil de fonçage est actionné) utilise la circulation de l'eau pour faire remonter à la surface du sol les matériaux forés. Le train de tiges de forage est actionné de haut en bas. Pendant la descente des tiges, le choc créé par le trépan fixé au bout du train de tiges ameubli/fragmente les

matériaux du sol et pendant le mouvement de remontée, l'extrémité du train de tiges est obturée avec la main (effet de soupape), créant ainsi une aspiration de l'eau et des débris qu'elle contient jusqu'à la surface. Au cours du mouvement de descente suivant, la main est retirée du train de tiges et l'eau gicle dans le bassin préalablement creusé à côté du forage. Dans ce bassin de décantation, les débris se séparent de l'eau pour se déposer au fond du bassin alors que l'excédent d'eau redescend à nouveau dans le trou. La pression de l'eau sur les parois du forage évite l'effondrement de ces dernières. Le forage à boue (avec ou sans rotation) peut être utilisé jusqu'à une profondeur d'environ 35 mètres.

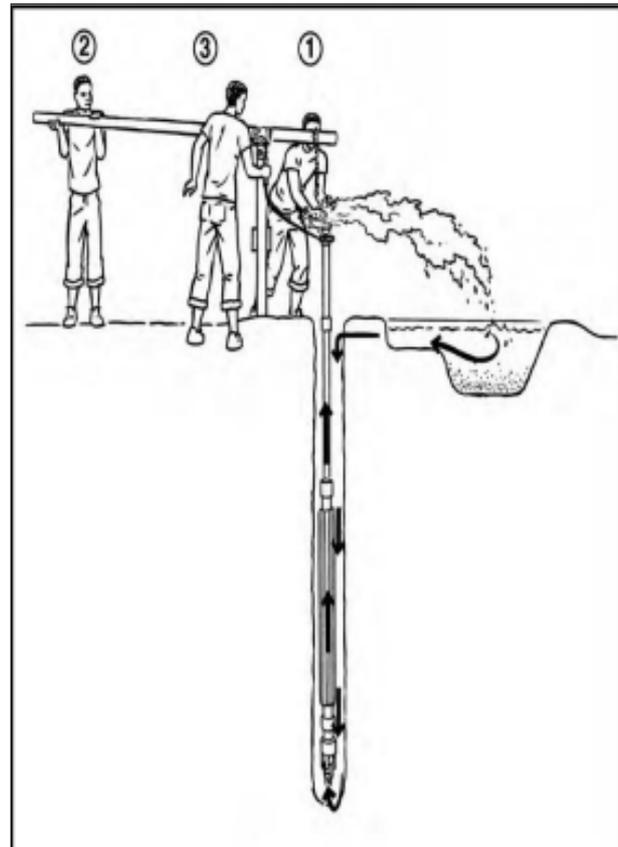


Figure 19: forage à la boue. [7]

Avantage:

Simple d'utilisation et pas besoin de pré-tubage.

Inconvénient:

Le niveau d'eau dans le trou doit être maintenu tout au long de l'opération de forage.

Le niveau de la nappe n'est pas connu avec précision pendant le forage.

Application géologique :

Sables, limons, argiles, argiles dures et des formations légèrement consolidées (latérite altérée).

IV.6.3 Le lançage à l'eau

Le lançage à l'eau est également basé sur la circulation et la pression de l'eau. A la différence du forage à boue, l'eau est désormais injectée à l'intérieur du train de tiges et la boue (eau et débris) remonte le long des parois du forage. Afin d'obtenir une pression d'eau suffisante, on utilise une motopompe. On peut laisser l'extrémité inférieure du tuyau de forage simplement

ouverte, ou on peut y rajouter un outil de fonçage (trépan). On peut également faire tourner totalement ou partiellement le train de tiges.

Un fluide de forage (additif) peut être mélangé à l'eau pour éviter l'effondrement des parois du trou et la perte incontrôlée de l'eau par infiltration. La technique du lançage à l'eau (avec rotation) peut être utilisée jusqu'à une profondeur d'environ 35-45 mètres.

Avantage :

Très rapide dans le sable.

Inconvénient :

Nécessite beaucoup d'eau à la fois. Le niveau de la nappe d'eau n'est pas connu avec précision pendant le forage.

Application géologique : limitée aux sables et fines couches d'argile tendre.

IV.6.4 Le forage a la percussion

Le forage a la percussion utilise un lourd trépan (ou cuiller) attaché à une corde ou un câble, lequel est descendu dans le trou du forage ou à l'intérieur d'un pré-tubage. Un trépied (ou chèvre) est en général utilisé pour suspendre l'équipement. En actionnant la corde ou le câble de haut en bas, le trépan ameublie et fragmente le sol ou la roche consolidée dans le trou de forage, dont les débris sont ensuite extraits grâce à la cuiller. Comme pour le forage à la tarière, un pré-tubage en métal ou PVC peut être utilisé pour éviter l'effondrement du trou. Une fois le tubage définitif (tuyaux et crépines en PVC) installé, le pré-tubage doit être enlevé. Le forage à percussion est généralement utilisé jusqu'à une profondeur de 25 mètres.

Avantage :

Permet de forer dans les formations dures.

Inconvénient :

L'équipement peut être très lourd et relativement cher. Cette méthode est lente en comparaison aux autres méthodes.

Application géologique :

Sables, limons, argiles dures, calcaire tendre, latérite, les couches contenant des graviers et des petits cailloux.

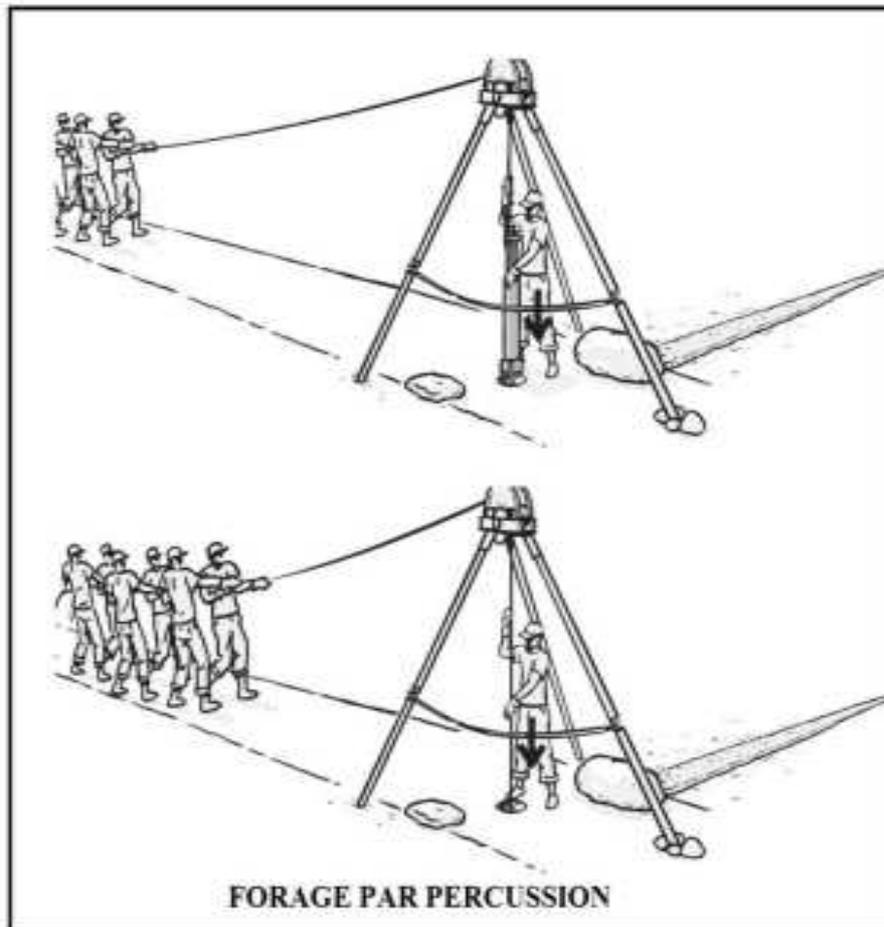


Figure 20: forage par percussion. [7]

IV .7.LES COMPOSANTS D'UN APPAREIL DE FORAGE ROTARY**IV.7.1. Le mat de forage :**

Le mât de forage [mast] sert aux manœuvres des garnitures de forage ou des tubages. 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.

IV .7.2. La garniture de forage :

Le forage rotary exige l'utilisation d'un arbre de forage creux appelé garniture, qui a pour principales fonctions :

- entraîner l'outil en rotation.
- appliquer un certain effort sur l'outil.
- apporter l'énergie hydraulique nécessaire à l'évacuation des déblais (canaliser la boue de forage). Une garniture de forage est constituée de deux principaux éléments suivants :

a. Les tiges

b. Les tiges de forage permettent la transmission de la rotation de la table à l'outil et le passage du fluide de forage jusqu'à ce dernier.

c. b. 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.

IV .7.3. Equipements d'entraînement de la garniture de forage**a. La table de rotation**

En cours de forage, la table de rotation [rotary table] transmet le mouvement de rotation à la garniture de forage, 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 de coins de retenue.

b. Le carré d'entraînement et les fourrures

Le mouvement de rotation est transmis par la table à la tige d'entraînement par le biais d'un carré d'entraînement [kellybushing] rendu solidaire en rotation de la table par l'intermédiaire d'une fourrure principale [master bushing]. Pendant les manœuvres, des fourrures intermédiaires [adapter bushings] sont mises en place à l'intérieur des fourrures principales pour pouvoir caler la garniture de forage.

c. 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.

IV .7.4. 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.

IV .7.5. Le top drive

- Le top drive est une tête d'injection motorisée qui, en plus de l'injection, assure la rotation de la garniture de forage.
- 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. En plus, pendant le forage, au lieu de faire les ajouts simple par simple, on peut les faire longueur par longueur.

IV .7.6. Générateur du courant :

Les moteurs de diesel, qui produit un courant continue ou alternative, assurent les fonctions levage, rotation, pompage, éclairage et auxiliaires.

IV .7.7. 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. 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. Les outils se classent en trois catégories :

- Les outils à lames : Ces outils travaillent comme une fraise dans le métal, ils font des copeaux dans les terrains, ils sont employer dans les terrains sédimentaires a structures fines, peu dure.
- Les outils à molettes : ils sont constitués de trois cônes tournant de façon indépendante et montés sur trois bras réunis entre eux par soudure constituant le corps de l'outil

- Les outils diamant (outils à éléments de coupe fixes) ils ne possèdent pas de pièces tournantes ; ce sont des outils monobloc. Des diamants naturels et de synthèse sont utilisés pour leur fabrication.

IV .8.La boue de forage :

C'est une mélange colloïdale ou non pas une solution leur produit est de variété d'argile dite bentonite (son nom front benton localité des USA) c'est une roche argileuse de densité 2.6 voisinage de kaolin de grain très fine ; l'hydratation de cette roche c'est la présence des quantités d'eau donne une produit visqueux ex

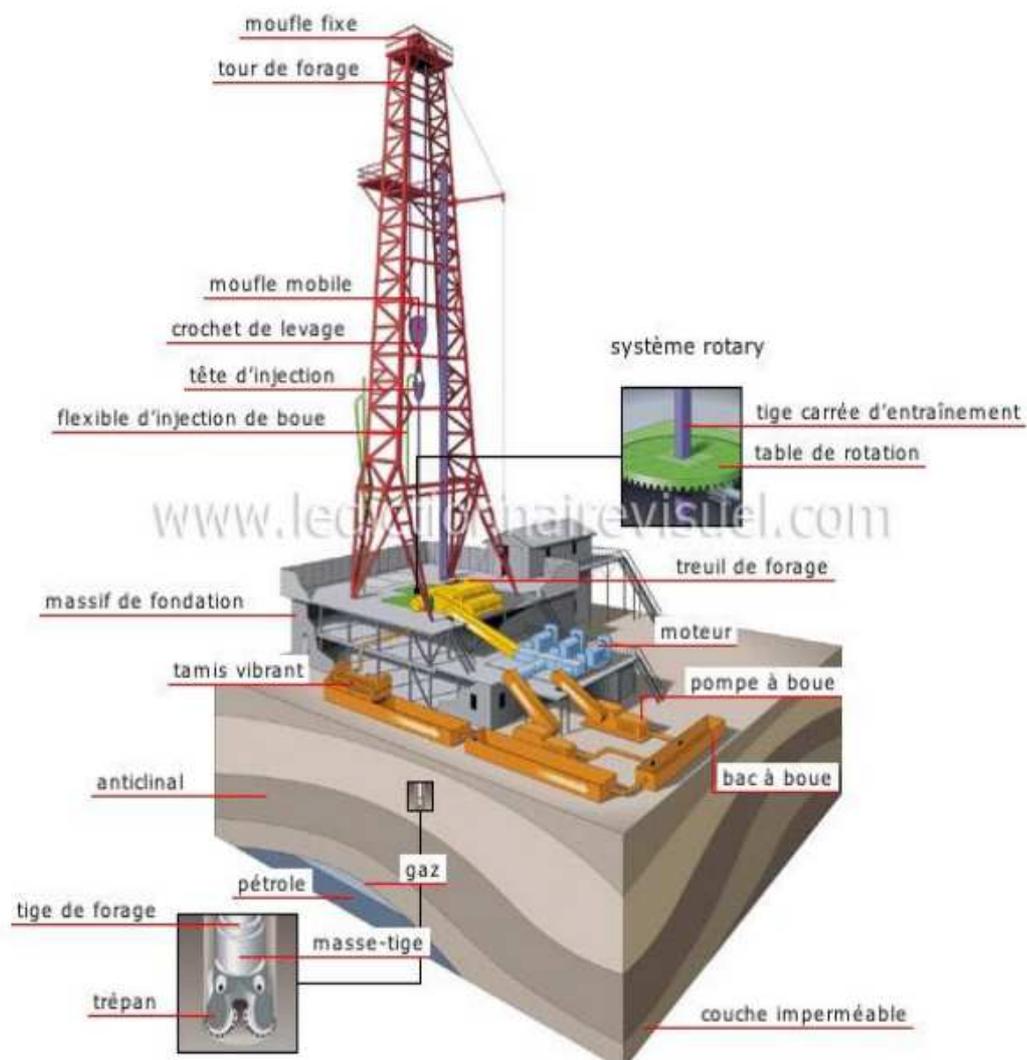


Figure21: les composants d'un appareil de forage rotatif. [7]

IV .9.Conclusion :La méthode de réalisation de forage pour ce projet c'est ROTARY, cette méthode est largement utilisée par les foreurs dans la région, il adapter à la géologie de la région, qu'il existe des roches dure calcaire plus de 100 m d'épaisseur est des couches tondre et plastique d'une épaisseur de 300m (cénomanién).

CHAPITRE V

CHAPITRE V

Exécution du forage Tafilelt

V.1.Introduction

L'exécution des travaux du sondage dans le cadre de ce projet, s'effectuera au rotary. Cette méthode est largement utilisée par les foreurs dans la région, car elle s'adapte largement avec la géologie de la région, où il y a la présence des roches dures du calcaire turonien sur plus de 100 m d'épaisseur, parfois elles sont karstiques (fissurées), ainsi que des couches tendres et plastiques d'une épaisseur de 300m, représentées par les argiles vertes du Cénomaniens.

V.2.Consistance du marché :

L'ouvrage a été lancé dans le cadre d'un appel d'offre par la Direction des Ressources en Eau de la wilaya de Ghardaïa (DREW Ghardaïa), et à été attribué à l'entreprise FORHYD BEN OMAR (Amara Ben Omar).

N°	DESIGNATION DES TRAVAUX	U	QT	PU	MONTANT
1	Amenée et installation du chantier,	FT	1		
2	y compris plate forme.bassins et rigoles	FT	1		
3	Exécution d'un avant puits en 24", tubé en 18 5/8" et cimenté en HTS.	ML	10		
4	Forage de reconnaissance en 12 1/4"	ML	490		
5	Alésage en 17" 1/2	ML	290		
6	F/P tubage casing API grade J-55 en 13 3/8"	ML	300		
7	Fourniture et injection de ciment HTS	ML	300		
8	F/P tube plein Inox en 8 5/8"	ML	24		
9	F/P crépine Johnson Inox, slot 20 en 8 5/8"	ML	194		
10	Gravier	M3	10		
11	Fourniture et injection Hexasétophosphate	Kg	200		
12	Régie sans force motrice	H	48		
13	Régie avec force motrice	H	72		
14	F/Essai de pompage	FT	1		
15	Essai	H	96		
	Remontée	H	48		
16	Fermeture puits	U	1		
17	Repli en fin de chantier	FT	1		
Montant en HT					
TVA 17%					
Montant en TTC					

Tableau 17: Devis estimatif du forage Tafilelt. Source : DRE Ghardaïa

V.3.Choix de point d'eau :

Le point a été choisie de telle façons à respecter l'interférence entre les forages existant (1km) est de telle façon l'adduction au réseau AEP doit être d'une distance minimale.

V.3.1.Les coordonnées géographiques du forage :

Les coordonnées géographiques du forage prise par un appareil GPS type MAGILAN sont :

Longitude X : 32° 27' 34''

Latitude Y : 03 ° 41' 18''

Z : 534 m

V.4.Installation du chantier et 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 accessoires 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 bassin 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 nettoyé.

V.4.1.Préparation de la boue de forage :

La boue est confectionnée par le malaxage de l'argile et de l'eau, jusqu'à atteindre une densité de $d = 1.20$. L'argile utilisée est de la Bentonite.

V.5.déroulement des travaux du forage :**V.5.1. exécution de l'avant puis (type de guide) :**

Le type de guide sert pour maintenir la stabilité de la paroi de trou.

Le trou a été foré par un outil de 26" de 0 à 10m de profondeur, puis ils ont descende 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 24 heure pour sa prise.

V.6. forage de reconnaissance :

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

Pour exécuté cette phase l'entreprise a procédé du foré avec un outil de forage du diamètre 12ⁿ1/4.

V.7. prélèvement des échantillons (cuttings) :

A chaque un mètre foré lors de la phase de reconnaissance, des échantillons de terrain sont prélevés, 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.

L'analyse microscopique et macroscopique par l'hydrogéologue de l'administration permis de déterminer la nature des couches géologiques traversées, leur composition lithologique, leur caractère hydraulique, l'étage géologique, et par la suite de fixer le toit de l'aquifère a capté.

V.7.1. détection du toit de l'aquifère :

D'après l'analyse des cuttings effectué par l'hydrogéologue, ils à été constaté que le sable de la couche albien vienne d'être détecté à partir de la profondeur de 317m est en prenent une marge d'erreur de 5m pour sa 'assuré d'un ancrage parfait de tubage avec la formation aquifère, et d'évité tous venus d'eau.

V.7.2 cotes de tubage (colonne de production) :

Suivent l'analyse des cuttings ainsi que le jeu de la marge d'ancrage l'hydrogéologue à fixé la cote finale du tubage à la profondeur de 322m.

V.8. Alésage :

C'est une opération qui consiste à élargir et de dresser les parois du trou.

L'opération de l'alésage du forage du Tafilelt à été exécuté jusqu'à la profondeur de 300m, cote final de l'équipement de tubage de production.

Les Aléseurs on un diamètre de 17ⁿ1/2 qui équipé sur un outil du forage de diamètre de 17ⁿ1/2.

Cette opération à été exécuté plusieurs fois pendant une semaine dans des mouvements montée et descente jusqu'à l'obtention d'un trou rectiligne.

V.9. descente du tubage de production :

Après la fin de l'opération, qui est approvisionné au matières du tubage de production du type API normalisé et de grade J55 du diamètre 13^{3/8} .

Après la vérification de la conformité de la matière du tubage et les nombre des tubes donnent la longueur 322m selon le programme établi par l'hydrogéologue, ce dernier à donné l'ordre de commencé le filetage et la descente de ces tubes dans le trou.

Cette opération à été menue péniblement par les ouvriers et que duré plus de 10 heurs de manouvre.



Figure 22 : photo représente les tubes de tubage

V.10.cimentation du tubage de production :

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

L'objection de la cimentation c'est d'désoler le terrien mort et le venue d'eau de la surface (pollution de la nappes), l'opération à débit é le matin ont malaxant plus de 25 tonne de

ciment sec (HTS), soit 450 sac avec 11m³ d'eau de gâchage , ce qui donne une volume de laitier de ciment de 19 m³ d'une densité de $d=1.68$, le volume de laitier ciment nécessaire à été déterminé suivant la formule suivant(conventionnel) :

$$V=H/2[d_1^2- d_2^2] \text{ (en litres)}$$

H= profondeur de trou

d_1 =diamètre de trou en puce. d_1 =diamètre de trou en puce.

d_2 =diamètre de tubage en puce.

La mise en place du laitier de ciment à été effectué par son injection par la pompe à bous sous une forte pression suivie par la bous de chasse d'un volume de 46 m².qui est équivalent au volume de tubage mise en place.

L'injection ne sera interrompue qu'avec l'apparition du laitier cimentà jour et fin de la quantité de bous chasse calculé.

V.10.1 .Attente prise de ciment :

A la fin du l'injection de laitier de ciment et la fermeture de la vanne de tête d'injection pour évité le retour de ciment, l'entreprise à entreprise une attente de 48 heur ce qui permet une meilleur prise de ciment dans l'espace annulaire.

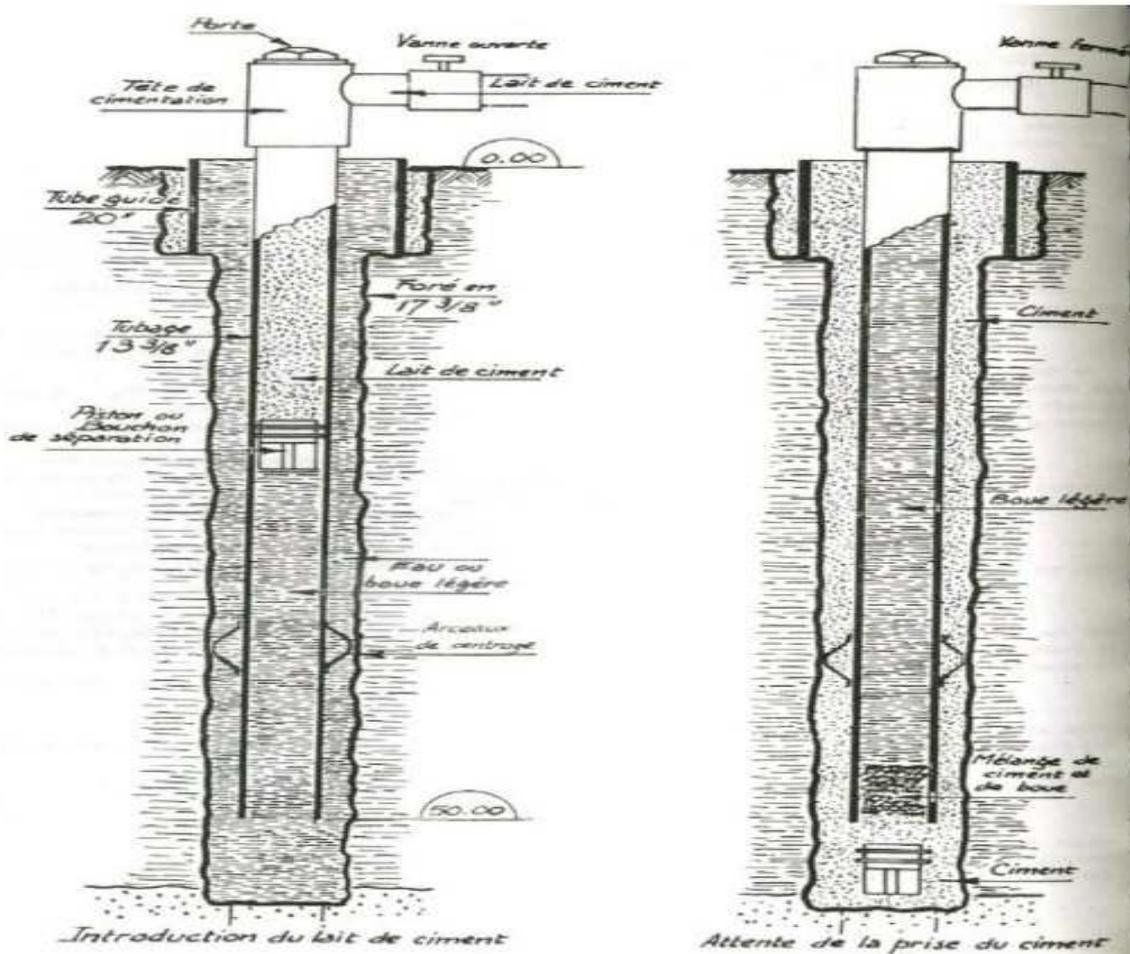


Figure 23 : cimentation d'une colonne de tubage

V.11-reprise des travaux du forage :

Après un Arrêt des travaux de 2 jour (48h) qui a permis la prise de ciment et ciment et de bien fixé le tubage de production, l'entreprise à reprise de nouveau les travaux de sondage de 322m jusqu'à la profondeur de 522m.

La formation ainsi traversé et composé de sable fin à moyen mélangé avec des argiles caractéristique de l'étage albien, et que s'entend jusqu'à à la cote de 512m.

A partir de la cote 512m les sables deviennes de plus en riche en argile jusqu'à la cote de 522m, c'est une formation imperméables qui indique que nous avons atteint le mur de l'aquifère de l'albien, c'est un c'est que l'hydrogéologue à ordonné d'arrêté les travaux de fonçage et de porcidé la préparation de la descente de la crépine.

V.12. Préparation et descente de la colonne de captage (crépine) :

La colonne de captage reprend son rôle de filtrer et d'empêcher la venue des grains de sable à l'intérieur de la colonne ce qui permis d'avoir une eau claire pendant le pompage.

Il existe plusieurs type de crépine sur le marché, sur notre ouvrage ils à été exigé une crépine de matière inoxydable (inox) et type Johnson. (Fille enrôlé sur squelette qui présent une section triangulaire dans la tête et orienté vert l'axe intérieur).

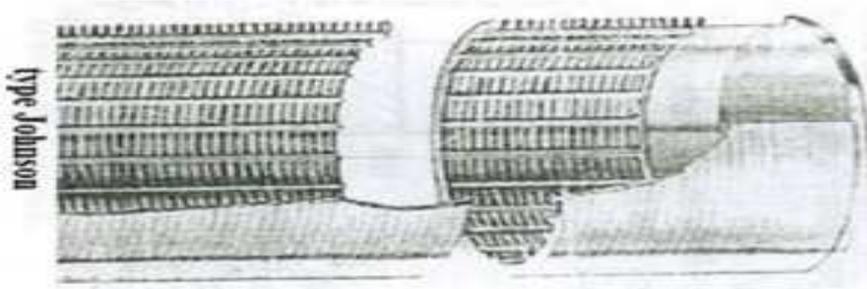


Figure 24 : architecteur de la crépine Johnson

Ce système permis d'évité la débouchent des sables. La crépine mis à la disposition est composé de plusieurs types des langueurs standard de 6 m pour chacun, et un diamètre de 08''^{5/8} filtré à l'extrémité malle femelle.



Figure 25 : crépine de Johnson

La langueur totale nécessaire pour l'équipement du forage de Tafilelt est de 212ml.

Cette langueur de crépine sera menue d'un type plain de langueur total 36m qui servira comme un sabot de décantation d'une langueur de 06m. Et à la parti supérieur de la crépine sera équipé d'un type plaine d'une langueur de 118m qui sera emboité à l'intérieur de tubage de production, ci ce qu'ont s'appelle type de réserve et une type plaine a l'intérieur du tubage de 12 m.

Le mode opératoire consiste à filtrer les types des un à d'autre, puis la langueur elle est descendes au fond de trou à l'aide des tiges de forage, dont leur langueur totale nécessaire pour atteindre le fond est déterminé selon la formule suivant :

$$L_{tige} = P_{forage} - L_{crépine}$$

Avec :

L_{tige}:langueur totale de tige nécessaire.

P_{forage}: profondeur finale foré du forage.

L_{crépine} :langueur totale de la crépine et y compris le sabot et le type de réserve.

Pour notre forage le calcule nous ont donné une langueur de tiges nécessaire de 310m soit de 35 tige (310/9).

Une fois la langueur attint le fond de trou on observé par une diminution de poids qui à détecté par le « martin d'ecker », l'hydrogéologue ordonne de décroché les tiges et de passe de l'opération de la mise en place du gravier.



Figure26 : le Martin Decker

V.13. le gravillonnage :

C'est une opération très important dans la réalisation du forages qu'il permis d'augmenter la perméabilité autour de la crépine et de part la l'augmentation de la productivité de forage (débit de la pompe) et de diminué le rabattement dans le forage.

Le volume du gravier nécessaire est calculé comme suite :

$$V_{\text{gravier nécessaire}} = \text{volume de trou réalisé dans l'aquifère (12''^{1/4})} - \text{volume}_{\text{crépine (08''5/8)}}$$

$$V_{\text{gravier nécessaire}} = \mathbf{10.01m^3}$$

Les articles technique de cahier de charge ont exige un gravier de nature siliceux à graine enrobé et de diamètre inferieur 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'allégements de la boue ont ajoutent de l'eau, l'entreprise à commencer de metre le gravier avec une quantité minime qui va descente sur l'effet de gravité jusqu'à le fond on remplisse l'espace annulaire (trou crépine).

V.14. nettoyage et développement de forage :

Le but principal de cette opération diminue tous élément gênent la circulation de l'eau entre le format et la crépine et augmenter de maximas sa perméabilité.

V.14.1. Traitement chimique :

Se traitement à pour effet d'éliminé la boue autour des parois de trous.

Ce traitement ce fait par l'injection de plus de 200kg de l'hexametaphosphate de sodium suivie d'une attente pour effet de 20 heurs.

L'eau traitée par l' hexametaphosphate à été chasse par pompage.

V.14.2. 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 à duré de 72 heur (03jour) et sera achevé lorsque l'eau extraite de l'ouvrage ne contiendra plus d'éléments fins indésirables et sortira claire.

V.15. Les essais de puits :

Cette opération a pour but de tester la productivité de forage et de déterminer son débit d'exploitation.

Le mode d'opérateur consiste à installer une pompe immergée à gros débit sur le forage, et de procéder à une série de pompage à débit croissant (palier) et on mesure le niveau d'eau atteint pour chaque série ; qui représente le niveau dynamique (ND).

Pour effectuer les essais de puits sur le forage Tafilelt, l'entreprise a procédé à l'installation d'une pompe immergée TECNOVA d'une puissance de 75kw et diamètre 8", elle a été callé à la cote de 150m (selon les essais de puits) mis en marche la pompe a donné un débit maximal (Q_{max}) de 35litres par seconde (l/s).l'hydrogéologue a procédé un essai de débit pour 3 pallier calcule comme suite :

Palier 1 de débit $Q_1 = Q_{max} / 3 = 35/3 = 10$ l/s.

Palier 2 de débit $Q_2 = Q_{max} / 2 = 35/2 = 17.5$ l/s.

Palier 3 de débit $Q_3 = Q_{max} / 1 = 35/1 = 35$ l/s.

Les mesures de niveau statique(NS) déterminé a l'aide d'une sonde électrique était de 110m, et les niveaux dynamique mesuré pour chaque pallier de débit sont représenté dans le tableau ci-dessous :

Palier	Débit (l/s)	ND (m)	Rabatement s(m)
0	0	125.3 (NS*)	0
1	12	127.5	-2.2
2	17.5	131.6	-6.3
3	35	133.7	-8.4

NS* : niveau statique

Tableau 18:essais de puis

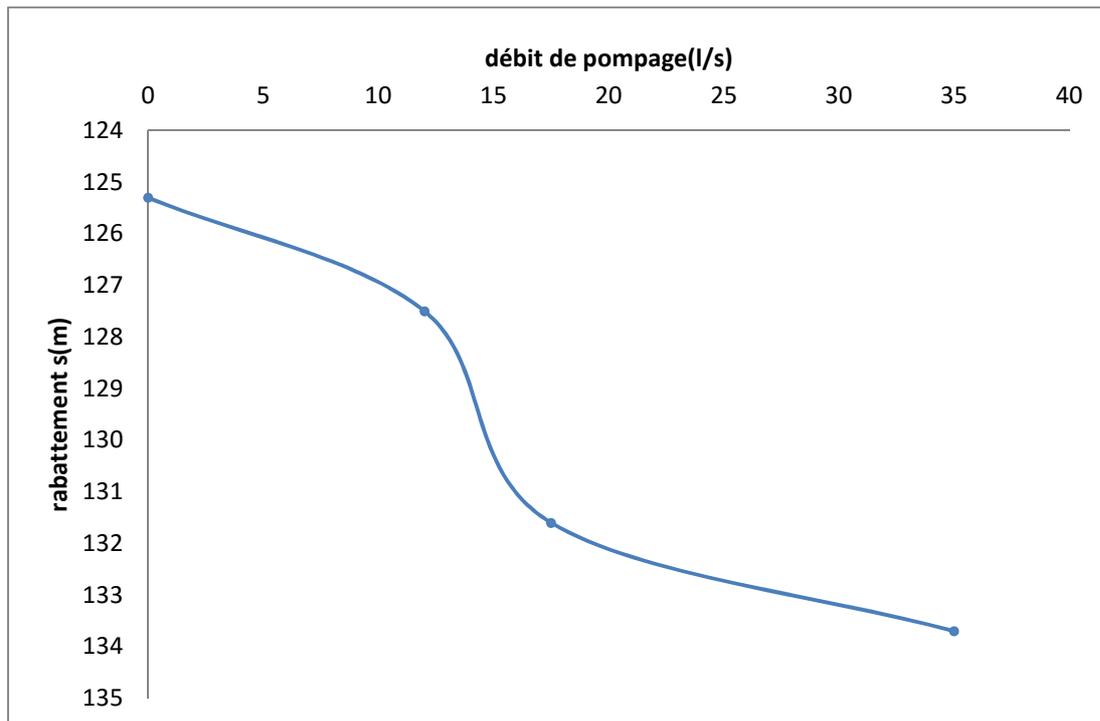


Figure 27: courbe caractéristique du forage de Tafilelt

D'après la courbe on observe une augmentation proportionnelle de débit jusqu'à 17.5 l/s à partir duquel le rabattement n'augmente que faiblement par rapport au débit pompé, ce qui prouve que l'opération du développement du forage de Tafilelt a été bien conduite par l'entreprise.

En plus la courbe caractéristique du forage nous indique que ce dernier peut nous donner un débit au-delà de 35 l/s.

V.15.1. Détermination de l'équation caractéristique du forage :

Chaque forage est caractérisé par son équation spécifique qui est de la forme générale :

$$s = B(Q) + C(Q^2)$$

Avec :

S : rabattement dans le forage pour un débit donné Q

B : perte de charge linéaire liée à la formation

C : perte de charge liée à l'équipement du forage

L'étape de la détermination de B et C est faite comme suit :

L'équation précédente peut s'écrire de la façon suivante ;

$$S/Q = b + cQ$$

S/Q est Le rabattement spécifique qui correspond à la hauteur de rabattement dans le puits rapporté à un débit pompé du puits, unité m/l/s, calculé pour le forage de Tafilelt, on eu les valeurs suivantes (tableau 18);

Palier	Débit (l/s)	ND (m)	Rabattement s(m)	s/Q spécifique
0	0	125.3 (NS*)	0	0
1	12	127.5	-2.2	-0.183
2	17.5	131.6	-6.3	-0.36
3	35	133.7	-8.4	-0.24

Tableau 19: calcul du rabattement spécifique de Forage de Tafilelt

Le report des valeurs du débit en du rabattement spécifique une droite ne donne des points alignée approximativement sur une droit d'agistement (voire figure 24). l'intersection de la droite d'ajustement avec l'axe des ordonnées NE donne la valeur DE B , la valeur de paramètre C represent la pente de la droit $c = \text{tg} \alpha$.

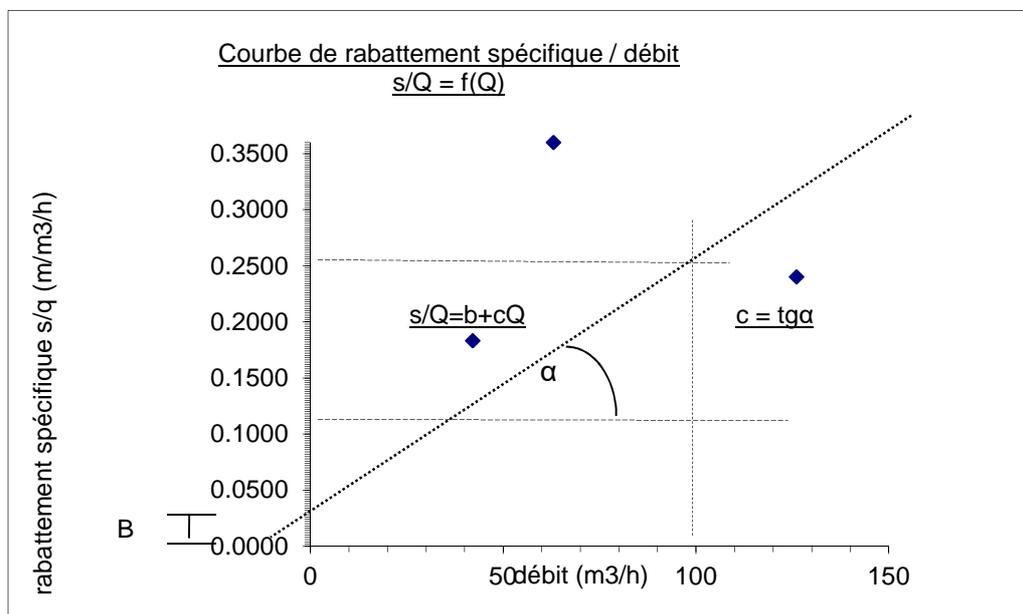


Figure 28: courbe du rabattement spécifique en fonction du débit

$$S = B (Q) + C (Q^2)$$

$$B = 0.026$$

$$C = 0.0033$$

L'équation spécifique du forage de Tafilelt devient de la forme suivante ;

$$S = 0.026(Q) + 0.0033*(Q^2)$$

Cette équation ne permis de détermine les rabattements et les niveaux dynamique pour des débits correspondent.

Le calcul des rabattements et les niveaux dynamiques de l'essais par l'équation du forage nousavans obtenons les résultats (voir le tableau suivant :)

palier	débit Q (l/s)	débit Q (m3/h)	N. D./Sol (m)	Rabat s (m)	s calcule(m)	ND(m) calculé
0	0	0	125.3	0	0	0
1	12	42.012	127.5	-2.2	0.7872	126.087
2	17.5	63	131.6	6.3	1.46563	128.966
3	35	126	133.7	-8.4	4.9525	136.553

Tableau 20 : Calcul de rabattement spécifique

Il ressort de ces essais de puits exécuté sur notre forage que pour chaque 0.24m de rabattement produira un débit de un mètre cube par litre, autrement dit, le forage exploité avec un débit de 4.17 l/s produit un rabattement de 1 m dans le puits c'est ce qu'on appelle le débit spécifique du forage.

SONDAGE : TAFILELT

Commune: BOUNOURA

Daira: BOUNOURA

Wilaya: Ghardaia

Long: 3° 27' 34"E

Lat: 32°27'34" N

Z/sol: 534 m

n°:

Echelle de la coupe: 1/2500e

Date des travaux:

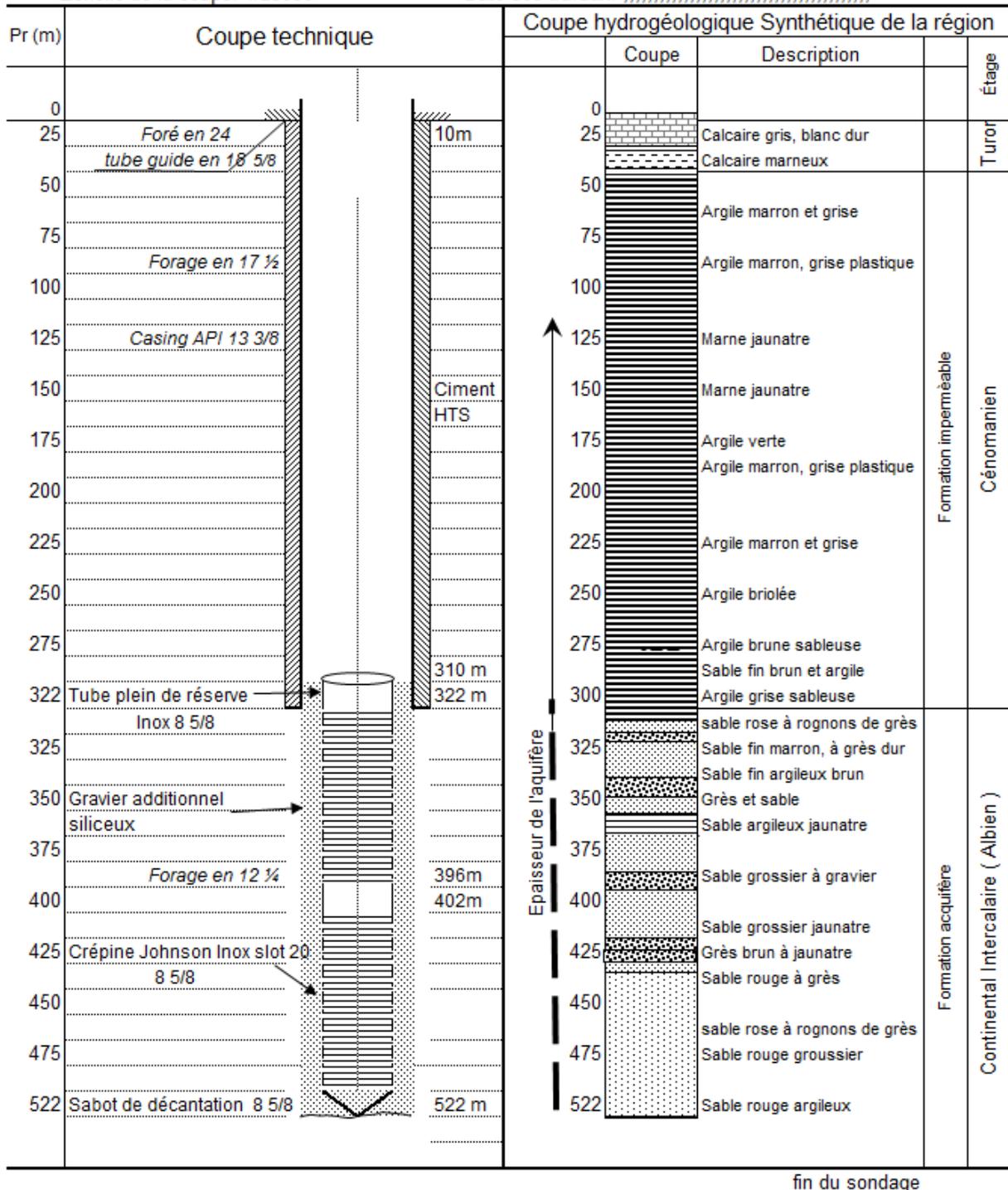


Figure29 : Coupe technique et lithologique de forage Tafilet. [DRE. Ghardaia]

V.16 Conclusion :

Le forage de Tafilelt réalisé par l'entreprise FORHYD BEN OMAR, pendant d'une durée de cinq mois, a été exécuté dans des bonnes conditions et selon les exigences techniques du cahier de charge élaboré par le maître d'ouvrage (DREW Ghardaïa) et selon les règles de l'art.

- Les essais de puits exécutés sur le forage nous ont permis de déterminer ces caractéristiques hydrauliques ; qui sont :
 - ✓ débit du forage : 35l/s.
 - ✓ Niveau dynamique : 133.7m
 - ✓ Niveau statique : 125.3m
 - ✓ Rabattement : 8.4m
 - ✓ Rabattement spécifique : 0.24m/m³/s
 - ✓ Débit spécifique : 4.17 m³/s/m

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Selon l'étude climatique la région de Ghardaïa elle est soumise à un climat aride saharien, dont les précipitations sont très faibles et à température très élevées. Pour s' satisfaire les demandes en eau pour l'alimentation en eau potable pour la population et pour l'irrigation et pour l'industrie on recourt à l'exploitation de la couche du réservoir profond continue dans la formation sableuse de l'Albien. Cette formation aquifère représente l'unique ressource en eau exploitable dans la région.

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

Le forage en question et sera destiné pour le renforcement du réseau d'eau potable de la localité de Tafilelt situé dans la commune de Bounoura wilaya de Ghardaïa.

Le forage avait pour but de capter les eaux de l'aquifère de l'étage albien, après l'exécution des opérations successives de forage, et alésage en différents diamètres, de mise en place de tubages et crépines, l'équipement tubulaire du forage a été comme suit :

- Colonne de production installée à la profondeur de 322 m, nous a permis d' isolé les couches improductives au-dessus de l'aquifère albien.
- Colonne de captage en inox et d'une crépine de type Johnson installée sur une épaisseur de 200m dans la formation aquifère de l'Albien.
- Les essais de puits exécuté sur le forage nous ont permis de déterminer ces caractéristiques hydrauliques ; qui sont :
 - ✓ débit du forage : 35l/s.
 - ✓ Niveau dynamique : 133.7m
 - ✓ Niveau statique : 125.3m
 - ✓ Rabattement : 8.4m
 - ✓ Rabattement spécifique : 0.24m/m³/s
 - ✓ Débit spécifique : 4.17 m³/s/m

Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] : B. SOURISSEAU "Guide de bonne pratique et de contrôle des forages d'eau pour la protection de l'environnement" édition BRGM.
- [2] : ALBERT MABILOT "le forage d'eau ". Guide pratique
- [3] : P. MOTARD. Institut français de pétrole "forage rotary".
- [4] : JEAN.PAUL NGUYEN. Institut français de pétrole "forage".
- [5] : DIVISION NATIONALE DES EAUX MINÉRALES ET THERMALES "Le suivi du forage d'eau minérale Approche méthodologique". Novembre 1995.
- [6] :J.Y-HERVE, L.LGNATIADIS "nappes de l'albien et du néocomien" édition BRGM. novembre2007.
- [7] :B.BOUSELSAL. "TECHNIQUES DE FORAGE"
- [8] :G.P.KRUSEMAN, N.A DE RIDDER "pompages d'essai".
- [9] :E.GILLI/C.MANGAN/J.MUDRY. "Hydrogéologie".
- [10] : ANDRE DUPONT. "Hydraulique urbaine". tome2 .troisième édition 1974.
- [11] : JACQUES BONNIN "Hydraulique urbaine" .édition eyrolles1986.
- [12] : ANRH. "NOTE RELATIVE AUX RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINES DE LA WILAYA DE GHARDAIA".JUN 2005
- [13]-(volet eau potable et industrielles évaluation de la demande en eau / rapport méthodologie page 45.mars 1997).
- [14]- fiche inventaire des forages – DRE Ghardaïa
- [15]A.N.R.H., 2003. Notes relatives à l'étude de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab, Rapport de l'Agence nati. res. hyd. Ouargla, 12P.
- [16]A.N.R.H., 2005. Note relative aux ressources en eaux souterraines de la Wilaya de Ghardaïa, Rapport de l'Agence nati. res. Hyd., Ouargla, 19p.
- [17]A.N.R.H., 2007. Notes relatives aux ressources en eau souterraines de la wilaya de Ouargla, Rapport de l'Agence nati. res. Hyd., Ouargla, 12P.
- [18]A.N.R.H., 2009. Rapport de fin du sondage, Rapport de SHAOLIN, Ghardaïa, 63P.

- [19] A.N.R.H., 2010. Note de synthèse sur les premières mesures piézométriques en utilisant les nouveaux piézomètres captant la nappe du Continental Intercalaire dans la wilaya de Ghardaïa, Rapport de l'Agence nati. res. hyd. Ouargla, 10P.16
- [20] M. BENZAYET Brahim 'Evaluation hydrochimique des eaux souterraines de la vallée du M'zab'. Mémoire d'ingénieur, E.N.S.A.2010.
- [21] M^{lle} Thanina HASSANI 'Contribution à la caractérisation des eaux de puits de la palmeraie Est de la commune de Ghardaïa' école nationale polytechnique.2009
- [22] MED CHERIF ADAD, M. TOUFIK MAZOUZ 'LES ANCIENS ET NOUVEAUX KSOUR : ETUDE COMPARATIVE.CAS DU M'ZAB ' Institut de Gestion des Techniques urbaines, Université d'Oum El Bouaghi (Algérie). Octobre 2013.
- [23] DRE. Ghardaïa 'les études de schéma directeur d'AEP à trévère la wilaya'.

Annexes

Tableau de l'essai de débit

date	heur	minute	Durée cumulée (m)	N.D	Débit (l/s)	observation
22/05/2016	8	55	1	123.5(NS)	0	ND = NS
		57	2	123.7	12	
	9	2	5	124.00	12	
		12	10	124.70	12	
		27	15	125.30	12	
		47	20	126.1	12	
	10	15	30	127.5	12	
			40	127.5	12	
			50	128.00	17.5	
	11	15	60	130.00	17.5	
			90	131.00	17.5	
			120	131.6	17.5	
			150	131.6	17.5	
	13	15	180	132.00	35	
			240	132.1	35	
	15	15	300	132.2	35	
			360	132.3	35	
			400	132.4	35	
			460	132.5	35	
			520	132.6	35	
			560	132.8	35	
	17	15	600	133.00	35	
			640	133.2	35	
			680	133.40	35	
			720	133.6	35	
			760	133.7	35	
			800	133.7	35	
			840	133.7	35	
			880	133.7	35	
			920	133.7	35	
			940	133.7	35	
stop	00	15	980	133.7(ND)	35	
observation	Cote Calage de la pompe			150 m		
	Débit d'exploitation			35 l/s		



Sonde électrique de mesure du niveau statique et dynamique



Photo satellite représente l'emplacement de forage de Tafilalet. [Google earth]



Appareil ROTARY de type SPEED START 35 (ss-35)



bassin de boue



l'outils de forage



Aléteur



Gravier utilisé dans le forage



Pompe utilisé pour le développement du forage



Développement de forage



Moufle mobile