

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبو بكر بلقايد- تلمسان

Université ABOUBEKR BELKAID – TLEMCEM

كلية علوم الطبيعة والحياة، وعلوم الأرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et des Sciences de la Terre et de
l'Univers

Département STU



MÉMOIRE

Présenté par

Belabed Nihal Fatiha & Benamar Hadia

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

En Hydrogéologie

Thème

**Synthèse géologique et hydrogéologique pour
l'implantation et procédé d'un forage
dans la région d'El Gor**

Soutenu le**29/09/2021**....., devant le jury composé de :

Président	M ^{me} DJELAD BOUANANIR.	MAA	Université de Tlemcen
Encadrant	M ^{me} KERZABI YOUSFI S.	MCB	Université de Tlemcen
Co-Encadrant	Mr KERZABI R.	MAA	Université de Tlemcen
Examineur	Mr BOUDJEMA.A	MCA	Université de Tlemcen

Année universitaire 2020/2021

Remerciements

A l'issue de ce travail, il nous est très agréable d'adresser nos vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Nous aimerions tout d'abord exprimer notre profonde gratitude et respect à nos encadrant Madame et Monsieur KERZABI qui nous a proposé ce sujet, d'avoir accepté sans hésitation et avec énormément d'enthousiasme de nous encadrer nous guider, nous accompagner, et surtout nous encourager afin que nous puissions le mener à bien.

Un grand merci à Madame DJELAD BOUANANIR et Monsieur BOUDJEMAA., d'avoir accepté de lire, de juger ce mémoire et de l'enrichir par ses propositions et suggestions.

Nous tenons à remercier à Monsieur NEBIA R. ingénieur à la DRE de Tlemcen, d'avoir mis à notre disposition tous les données nécessaires pour faciliter la synthèse et pour sa disponibilité lors de notre travail.

Nous tenons aussi à remercier tous les enseignants de notre département qui ont contribué à notre formation.

Résumé

L'objectif de cette étude consiste à synthétiser les travaux de forage d'El Gor situé dans le bassin versant de la haute des Mekkeras au Sud-Est des Monts de Tlemcen, en présentant toutes les étapes de foration ; réalisation du forage de reconnaissance, alésage, équipement de forage (tubage, crépine et massif filtrant), développement, et vérification par endoscopie.

Nous avons utilisé les études géologiques, hydrogéologiques et le passeport du forage afin de détailler et reconstituer les différentes étapes de la foration. Cette région est semi - aride, avec une précipitation moyenne interannuelle est de 419.9mm. Les formations jurassiques et crétacées couvrent majoritairement notre zone d'étude, dont la formation gréseuse de Berthelot forme l'aquifère le plus exploité.

Les travaux de foration durent un an et demi, commencent par l'étude d'implantation basée sur les images satellitaires, puis la réalisation du forage de reconnaissance d'une profondeur de 350m et l'interprétation de la diagraphie révèlent des venues d'eau, à partir de 23m de profondeur, des formations gréseuses (Fr. de Berthelot) et les bancs calcaires (Fr. ZeglaD).

Ce forage a donné un débit de 10L/s. L'étude sur l'évaluation de la qualité des eaux souterraine est basée sur la comparaison des données physico - chimiques avec les normes de potabilité algériennes (JORA 2011) et celle de l'OMS (2017). Cette étude montre une dissemblance d'analyse avec les normes de potabilité, qui présente des valeurs en calcium, magnésium, sulfate, silice, et de bicarbonate dépassant les normes.

Mots clés :

Implantation de forage, étapes de foration, passeport de forage, Kerzouta, el Gor

Abstract

The objective of this study consists in synthesizing the drilling operation of El Gor located in the watershed of the high Mekkeria in the southeast of the mountains of Tlemcen, by presenting all the stages of drilling; carrying out exploration drilling, reaming, drilling equipment (casing, screen and gravel pack), development, and inspection by endoscopy. We used the geological and hydrogeological studies and the drilling passport in order to detail and reconstruct the different stages of the drilling.

This region is semi-arid, with an average interannual precipitation of 419.9mm. The Jurassic and Cretaceous formations mainly cover our study area, of which the Berthelot sandstone formation forms the most exploited aquifer.

The drilling operation lasts a year and a half, begins with the implantation study based on satellite images, then the realization of the exploration drilling to a depth of 350m and the interpretation of the logging reveal water occurrences, from 23m depth, sandstone formations (Fr. de Berthelot) and limestone beds (Fr. Zegla D) . This drilling gave a flow rate of 40L/s.

The study on the evaluation of groundwater quality is based on the comparison of physico-chemical data with Algerian portability standards (JORA 2011) and that of WHO (2017). This study shows a dissimilarity of analysis with portability standards, which present values of calcium, magnesium, sulphate, silica, and bicarbonate exceeding the standards.

Key Word :

Drilling implantation, stages of drilling, the drilling passeport, Kerzoutta, el Gor

ملخص

يتمثل الهدف من هذه الدراسة في تجميع أعمال حفر البئر العميقة الواقعة في متجمعات المياه في أعالي مكارة في جنوب جبال تلمسان، من خلال عرض جميع مراحل الحفر. تنفيذ عمليات الحفر الاستكشافية، والتوسيع، ومعدات الحفر (الانابيب، والمصفاة، وحزمة الحصى)، والتطوير، والتفتيش عن طريق الفحص الداخلي. استخدمنا الدراسات الجيولوجية والهيدروجيولوجية وملخص الحفر من أجل تفصيل وإعادة بناء مراحل الحفر المختلفة. هذه المنطقة شبه قاحلة، ويبلغ متوسط هطول الأمطار فيها 419.9 ملم. تغطي التكوينات الجوراسية والطباشيرية بشكل أساسي منطقة دراستنا، والتي يشكل التكوين الجيولوجي الرملي (برتلوت) طبقة المياه الجوفية السطحية الأكثر استغلالاً.

استمر أعمال الحفر لمدة عام ونصف، تبدأ بدراسة التنقيب واختيار مكان الحفر بناءً على صور الأقمار الصناعية، ثم تحقيق الحفر الاستكشافي على عمق 350 متراً وتفسير التسجيل (ديكرافي) الذي يكشف عن وجود المياه على عمق 23 متراً، من تكوينات الحجر الرملي (برتلوت).

أعطى هذا الحفر معدل تدفق 40 لتر / ثانية. تعتمد الدراسة الخاصة بتقييم جودة المياه الجوفية على مقارنة البيانات الفيزيائية والكيميائية مع معايير القابلية للشرب الجزائرية (جورا 2011) وتلك الخاصة بمنظمة الصحة العالمية 2017. تُظهر هذه الدراسة تبايناً في التحليل مع معايير القابلية للشرب، والتي تقدم قيماً للكالسيوم والمغنيسيوم والكبريتات والسيليكا والبيكربونات التي تتجاوز المعايير.

الكلمات المفتاحية : خطوات الحفر، تركيب البئر، جواز الحفر، كرزوتة، الغور

INTRUCTION GENERALE

CHAPITRE I : SITUATION GEOGRAPHIQUE ET CONTEXTE CLIMATIQUE

I- Situation géographique

II- Contexte climatique

II-1. Précipitations mensuelles

II-2. Précipitations saisonnières

II-3. Précipitations annuelles :

CHAPITRE 02 : CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

I- Contexte géologique et structural

I-1. La série stratigraphique

I-1-1. Jurassique supérieur – Crétacé Inférieur

I-1-2. Miocène au Quaternaire

I-2. Aspect structural

II- CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

PARTIE II : IMPLANTATION ET PROCEDE

Introduction

CHAPITRE 1 : IMPLANTATION ET ETAPES DE FORATION DU FORAGE

Kerzouta

I- OUTILS UTILISEES POUR L'IMPLENTATION

II- ETAPES DE FORATION

II-1. Installation de chantier du forage

II-2. Différentes phases de foration

II-2-1. Forage de reconnaissance

II-2-1-1. Outils et matériels utilisées :

II-2-1-2. Résultats

II-2-2.L'alésage :

II-2-3.Equipement de forage :

II-2-3-1. Tubages

II-2-3-2. Crépines :

II-2-3-3. Massif filtrant (gravier additionnel, massif de gravier) :

II-2-4.Développement de l'ouvrage :

II-2-4-1. Essais de pompage :

II-2-5.Vérification du forage par endoscopie :

II-2-5-1. Moyens techniques utilisés :

II-2-5-2. Déroulement et résultats de l'auscultation :

CHAPITRE III : PARAMETRES HYDROCHIMIQUES

Introduction

I. PRESENTATION DES DONNEES :

I.1. MOYENS ET METHODOLOGIE :

I.2. Fiabilité des analyses physico-chimiques :

II- Caractérisation physico-chimiques des eaux souterraines

II-1. Paramètres physique des eaux de forage

II-2. Ions majeurs

II-3. Ions indicateurs de pollution

III. Potabilité des eaux souterraine du forage de KERZOUTTA

CONCLUSION GENERALE

LISTES DES FIGURES

- Figure 1 : Situation géographique de notre zone d'étude (Hallouche 2017, modifiée)
- Figure 2 : Variations des précipitations moyennes mensuelles d'El Gor(2000/2014)
- Figure 3 : Variations des précipitations saisonnières (mm)
- Figure 4 : Variations des précipitations annuelles (2000/2014)
- Figure5 : extrait de carte géologique de Telagh 1/200000 (ANRH, 2008)
- Figure 6 : Colonne lithostratigraphique de la région d'étude (Hallouche 2017, modifiée)
- Figure 7 : Colonne hydrogéologique de la zone d'étude selon Auclair et Beleir (1967)
- Figure8-a : Organisation du chantier avec le cycle de boue de forage
- Figure 8-b : Photo de la tête de forage de Kerzouta (Bouderba et al 2018)
- Figure 9: Tamis de récupération et échantillons de cuttings du forage (photo prise par Bouderba et al 2018)
- Figure 10 : Diagraphie enregistré du forage Kerzouta
- Figure 11 : Colonne lithostratigraphique de forage Kerzouta
- Figure 12 : Courbe de la descente de l'essai de pompage du forage Kerzouta (05-10/07/2019)

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques de la station d'El Gor

Tableau 02 : Interprétation des enregistrements

Tableau3 : programme de tubage du forage Kerzouta (TL : tube crépiné, TP : tube plein, API : AméricanPetroleum Institute)

Tableau 4 : Classification de la minéralisation des eaux selon la conductivité (Rodier J., 2009)

Tableau 5 : Détermination de la minéralisation à partir de la conductivité (Rodier J.2009)

Tableau 6 : Classification des eaux en fonction de leur dureté totale en F° (OMS, 1994)

Tableau 7 : Classification des eaux selon les normes algérienne et de l'OMS

INTRODUCTION
GENERALE

L'eau est un élément indispensable à la vie et revêt de l'importance pour des innombrables activités humaines. Les 70% de la superficie de la Terre est occupée par l'eau avec seulement 2,2 % de qualité douce, et dont 22% proviennent des eaux souterraines. Ces dernières représentent la ressource la plus importante à exploiter.

Aujourd'hui, dans le sens de mobilité hydrique, l'eau souterraine joue un rôle très important au développement socio-économique et indispensable à l'alimentation en eau potable de la population mondiale.

La région d'El Gor par sa variabilité climatique est caractérisée d'une zone semi-aride. Le développement de la population et de l'agriculture nécessite l'exploitation de la ressource souterraine par la réalisation du forage dite Kerzouta.

L'objectif de notre travail est de synthétiser les travaux de réalisation du forage, en se basant sur les études d'exploration « géologiques et hydrogéologiques », de suivi et les données du forage. Le travail a été subdivisé en deux parties comme suite :

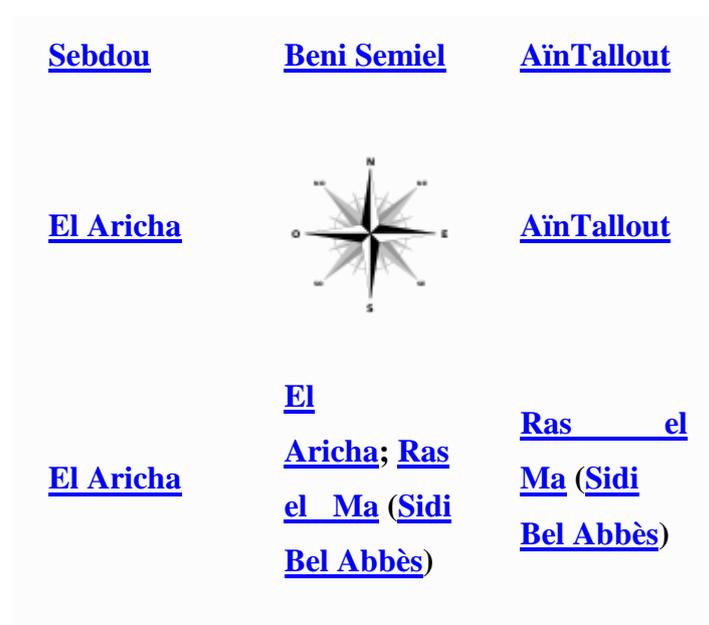
- ✚ La première partie est consacrée à une présentation générale de la zone d'étude. Cette partie comporte :
 - ✓ Dans un premier chapitre de la présentation géographique et climatique de la région d'El Gor
 - ✓ Le second chapitre décrit la géologie et l'hydrogéologie de la région d'EL GOR
- ✚ La deuxième partie décrit les étapes de réalisation du forage, elle est composée de trois chapitres :
 - ✓ Premier chapitre détaille les études d'implantation de forage
 - ✓ Deuxième chapitre décrit les étapes de foration
 - ✓ Troisième chapitre étudie les paramètres hydrodynamiques du forage et les caractéristiques hydrochimiques de ces eaux.

Chapitre I : Situation
Géographique Et Contexte
Climatique

I-SITUATION GEOGRAPHIQUE ET CONTEXTE CLIMATIQUE :

La commune El Gor est située à environ 32 Km à vol d'oiseau au Sud-Est de la ville de Tlemcen, Elle est d'une superficie de 792,58 Km², et se situe dans l'Atlas Tellien. Sur le plan administratif, la commune d'El Gor est limitée :

- Au Nord, par Beni Semeil
- Au Nord-Ouest, Sebdu
- Au Nord-Est, Ain Tallout
- À l'Est, par Ain Tallout
- À l'Ouest, par El Aricha
- Au Sud, Ras El Ma et El Aricha qui s'étend jusqu'à sud-ouest



La région d'étude El Gor fait partie de zone centrale steppique de la Wilaya de Tlemcen. Elle se situe sur les hautes plaines d'Ouled Nhar (Sebdu-El Aricha). Notre secteur d'étude fait partie du bassin versant de la Haute Mekerra.

Notre zone d'étude est limitée par les traits morphologiques(Fig.1):

- Au Nord : Djebels de Rharbala, Kemitti et Teniet El Baroud
- Au Sud : Djabel Ouazene
- Est : Dar El Beida, Djebel Chegga, Djebel Berhira
- Ouest : DaitEch Chereket

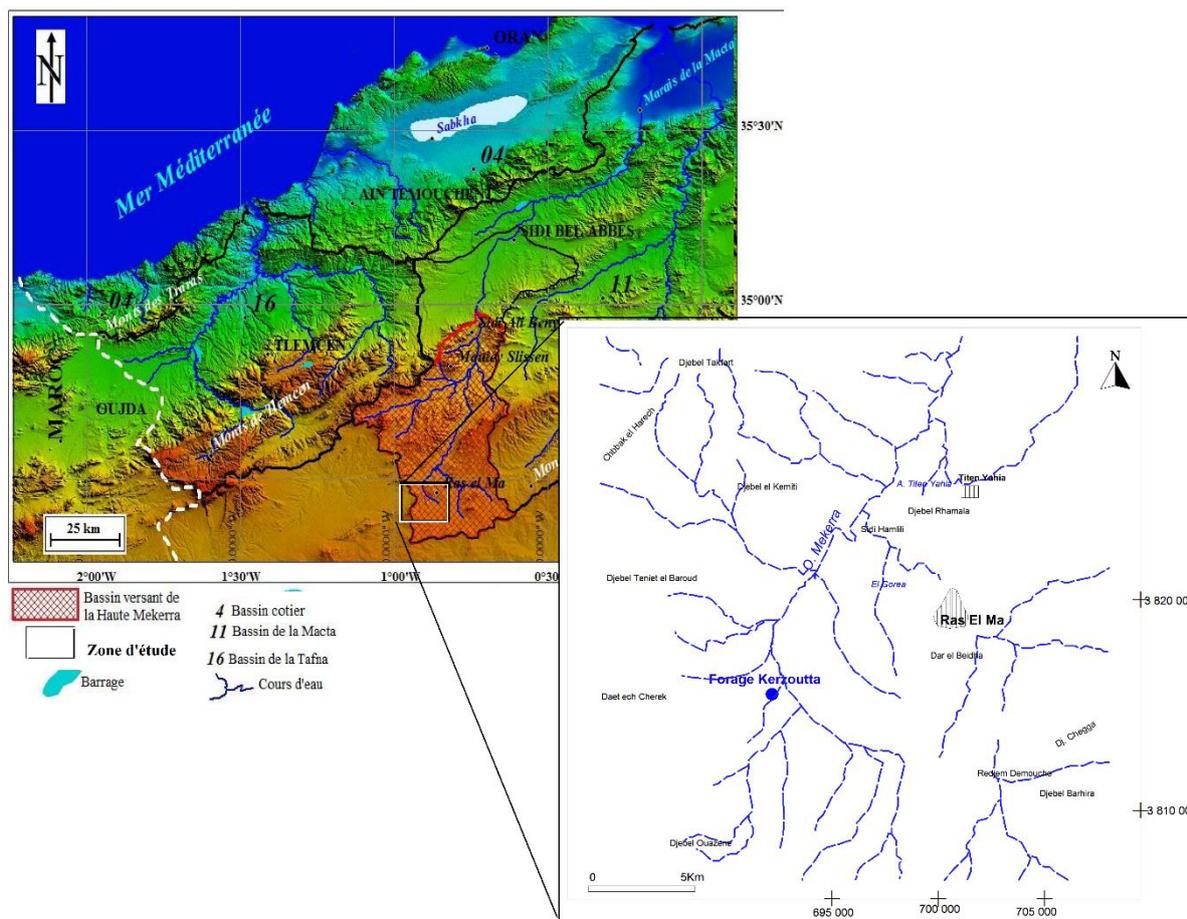


Figure 1 : Situation géographique de notre zone d'étude (Hallouche 2017, modifiée)

II. ASPECT CLIMATIQUE

Le climat c'est le temps moyen qu'il fait dans une région donnée. En outre comporte un ensemble de paramètres météorologiques (précipitation, température, humidité de l'air, vitesses des vents, ensoleillement) d'une région géographique donnée pendant une période donnée.

L'étude climatique a pour objectif la détermination de type du climat régnant dans la région.

L'indisponibilité des données de températures dans notre zone d'étude, nous allons présenter les précipitations (mensuelles, saisonnières et annuelles) de la station d'El Gor et synthétiser des études antérieures le type de climat.

Nous avons utilisés les précipitations sur une chronique de 15 ans mesurées par l'OMM (l'organisation météorologique mondiale) allant de 2000 à 2014. Elles ont été enregistrées au niveau de la station météorologique d'El Gor (Tableau 1).

Tableau 1 : Caractéristiques de la station d'El Gor

Station	Coordonnées UTM zone 30		Altitude (m)	Période d'observation
	X	Y		
El Gor	669 581.65	3 833 656.21	1185	2000 - 2014

II-1. Précipitations mensuelles

Les variations moyennes des précipitations durant les 15 années sont représentées dans les figures ci-dessous.

La représentation des données mensuelles sur la figure montre une pluviométrie maximale enregistrée au mois de novembre avec une valeur de 58,24 mm, et une minimale de 3,48mm enregistrée au mois de juillet. Les périodes estivales (juin, juillet, août) ont une pluviométrie minimale ne dépassent pas les 14mm.

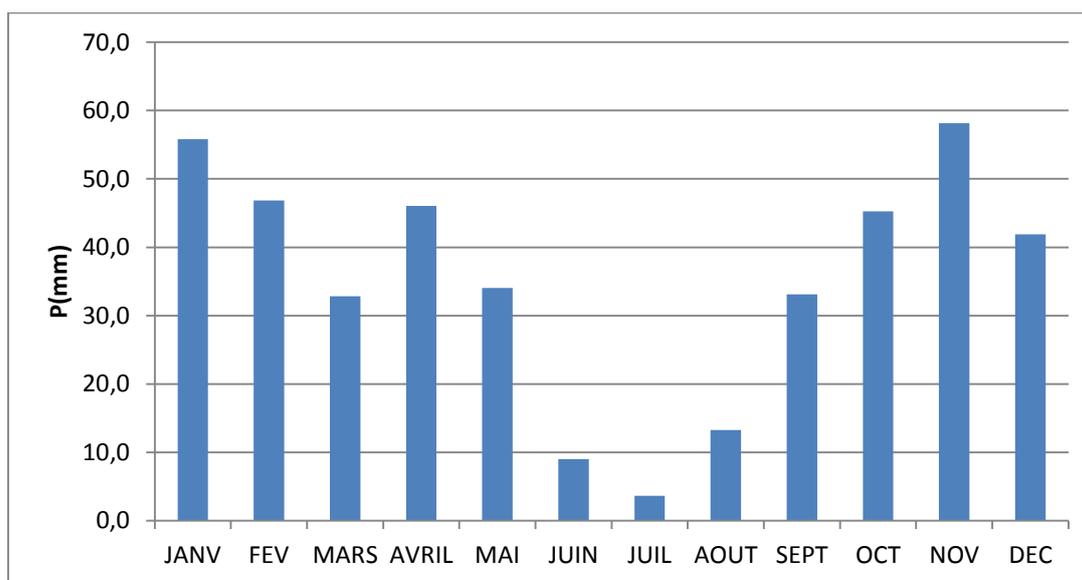


Figure 2 : Variations des précipitations moyennes mensuelles d'El Gor (2000/2014)

II-2. Précipitations saisonnières

L'histogramme des variations des précipitations saisonnières (Fig.3) de la période d'étude indique que l'hiver constitue la saison la plus pluvieuse ($P= 144,5$ mm), ainsi l'automne et le printemps ont des valeurs moyennes respectives de 136,5 et 112,9 mm, avec un été chaud présentant une valeur moyenne de 25,9mm.

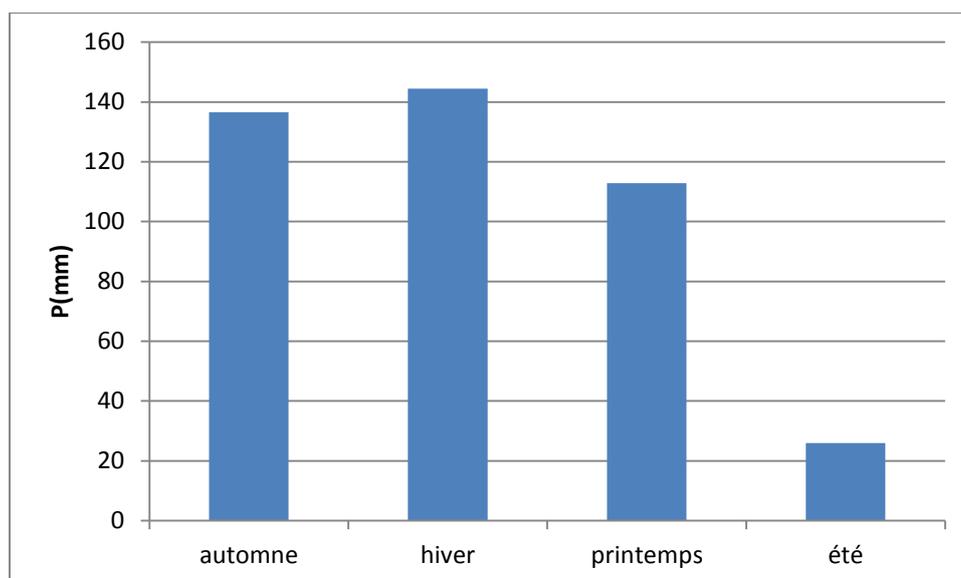


Figure 3 : Variations des précipitations saisonnières (mm)

II-3. Précipitations annuelles :

La figure 4 montre la variation des précipitations moyennes interannuelles durant la période d'étude. L'année la plus pluvieuse est 2007 avec une valeur de 584,8 mm ainsi que les années 2002, 2008, 2009 et 2014 sont moyennement riches en pluviométrie avec une valeur dépasse les 500mm, par contre l'année la plus sèche était 2001 avec une valeur de 264,1mm. La moyenne de cette période est de 419.9mm ; les années 2006, 2011 et 2013 présentent une pluviométrie moyenne.

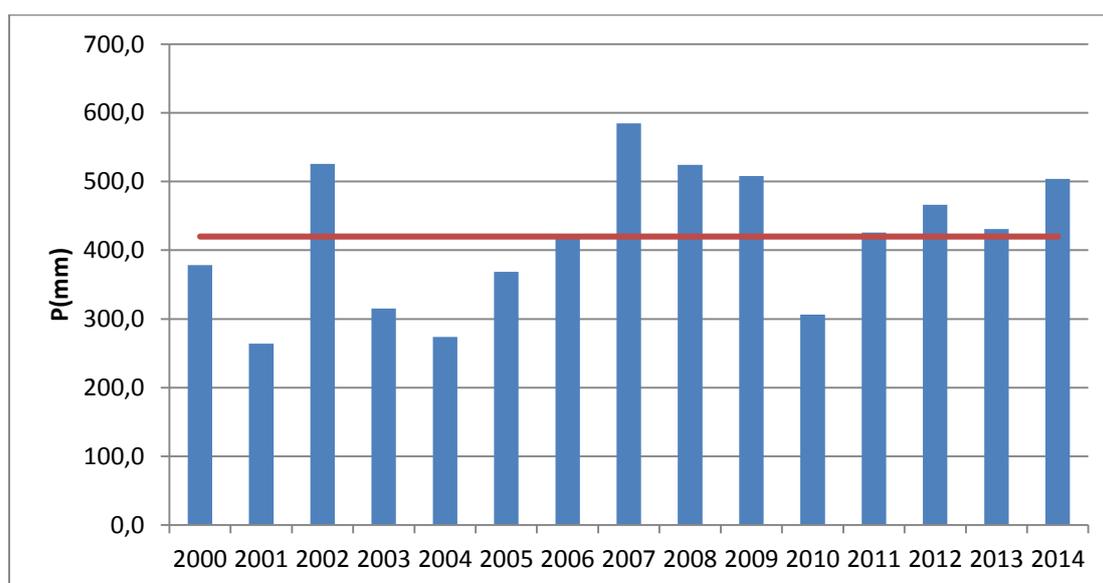


Figure 4 : Variations des précipitations annuelles (2000/2014)

La synthèse climatique déduit à partir des études antérieure montre que notre zone d'étude se trouve entre El Gor à climat semi-aride (Chikhaoui 2020) et Ras El Ma d'une tendance continentale et une aridité marquée, des hivers froids et des étés particulièrement chauds (Meddi et al 2009, Semari 2016)

**CHAPITRE 02 : CONTEXTE
GEOLOGIQUE ET
HYDROGEOLOGIQUE**

Faisant partie de l'Atlas tellien occidental, les Monts de Tlemcen sont limités au Nord par le sillon miocène (de l'Ouest vers l'Est : plaine de Maghnia, plaine de Hennaya et la plaine de Sidi Bel Abbès), au Sud par les Hautes Plaines oranaises, à l'Est par les Monts de Daïa et enfin à l'Ouest par le Horst de Rhar Roubane (Marok, 1996).

I-CONTEXTE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL

Notre zone d'étude se trouve dans la partie ouest de la carte géologique de Telagh (1/200 000) de l'ANRH (2008). Nous avons limité l'extrait géologique selon la position du forage, et la description lithostratigraphique selon les affleurements en se basant sur les études antérieures des Monts de Tlemcen (Auclair et Biehler 1967, Benest 1985, Collignon 1986, Hallouche 2017) (Fig.5 et 6).

I-1. La série stratigraphique

Elle s'étale du Jurassique supérieur (Kimméridgien) au Quaternaire. La succession lithostratigraphique de la région d'étude est présentée de la formation la plus ancienne à la plus récente :

I-1-1. Jurassique supérieur –Crétacé Inférieur

Membre calcaréo-dolomitique inférieur : Il est constitué par un ensemble dolomitique massif, souvent calcaire à la base. L'épaisseur comprise entre 200 et 250 au Djebel Teniet el Baroud (à l'Est de Ras el Ma). Par ailleurs, les variations des faciès montrent l'existence à la base de ce membre des calcaires (Djebel Teniet el Baroud) et au sommet des calcaires fins, sublithographiques et des lentilles dolomitiques vers le Nord (Djebels : Ourgla et Sidi Youssef).

Membre marno-calcaire intermédiaire : Il s'agit d'un membre marneux et marno-calcaires. L'épaisseur enregistrée à Djebel Chegga est de 60 m.

Ces membres présentent des variations dans les épaisseurs et les faciès, depuis le NW vers le SE. Ils sont représentés sur la carte par J_3^2 .

Formation des « Calcaires de Remaïlia » Cette formation essentiellement carbonatée comprend quatre membres Zégla A, B, C et D. Selon les âges identifiés par l'ANRH nous avons pu déterminer seulement le membre A et D (J_3^3 et K_1^{1-3}) :

Membre calcaréo-dolomitique (Zéгла A) : Ce sont généralement des calcaires dolomitiques, assez marneux vers le sommet, admettant parfois des niveaux de calcaires oolithiques et des intercalations de gypse. Chronologiquement, cet ensemble est considéré comme Kimméridgien supérieur- Tithonien par Auclair et Biehler (1967).

Membre calcaréo-gréseux (Zéгла D) : Il est constitué d'une alternance régulière de calcaires et de marnes à passées gréseuses, admettant au sommet des bancs de calcaires de couleur claire, parfois dolomitiques (Fig.). Sur le plan stratigraphique, ce membre est daté de l'Hauterivien (Auclair et Biehler, 1967). Cette alternance a une épaisseur de l'ordre de 100 m.

Formation des « Grès de Berthelot » : mentionné K_1^{3-4} par l'ANRH, il s'agit d'un ensemble gréseux admettant des passées d'argiles et des niveaux carbonatés au sommet. Cette formation qui affleure largement dans la partie Est du bassin versant de la haute Mekerra (Djebel Oum Lizi et Djebel Takerkoura) et au Nord-Est de Ras El Ma (de Teniet Yahia jusqu'au Dj. Ouazene). La base, riche en stratifications obliques, est marquée par un banc dolomie pulvérulente, d'âge Hauterivien (M. Benest, 1985). Auclair et Biehler (1967) attribuent cette formation au Barrémien.

Formation des « Calcaires de Zigyne » Défini pour la première fois par Augier (1967) au Djebel de Zigyne, cette formation est constituée essentiellement de calcaires à intercalations marneuses. Elle affleure largement au Nord-Est de la région Ras el Ma, avec des épaisseurs qui augmentent du Sud-Ouest vers le Nord-Est. Cette formation est datée de l'Aptien, et mentionnée K_1^5 .

Formation carbonatée du Djebel Tenfeld : Cette formation essentiellement marneuse est caractérisée par des marnes gréseuses à la base, passant à des calcaires dolomitiques à intercalations marneuses. Vers le sommet, la formation se termine par des marnes admettant des bancs de calcaires argileux. Les éléments paléontologiques rapportés par Auclair et Biehler (1967) donnent à cette formation un âge Albien- Cénomaniens (K_2^1).

I-1-2. Miocène au Quaternaire :

Miocène (moyen) : Il est formé d'une alternance de poudingues, de marnes grises, de grès sableux et de tufs avec des concrétions calcaires brunes. Lesdits dépôts affleurent largement au Nord du bassin de la haute Mekerra. Il affleure largement au Nord-est de Sidi Ali Ben Youb où il est représenté par des poudingues, des marnes grises et de grès sableux.

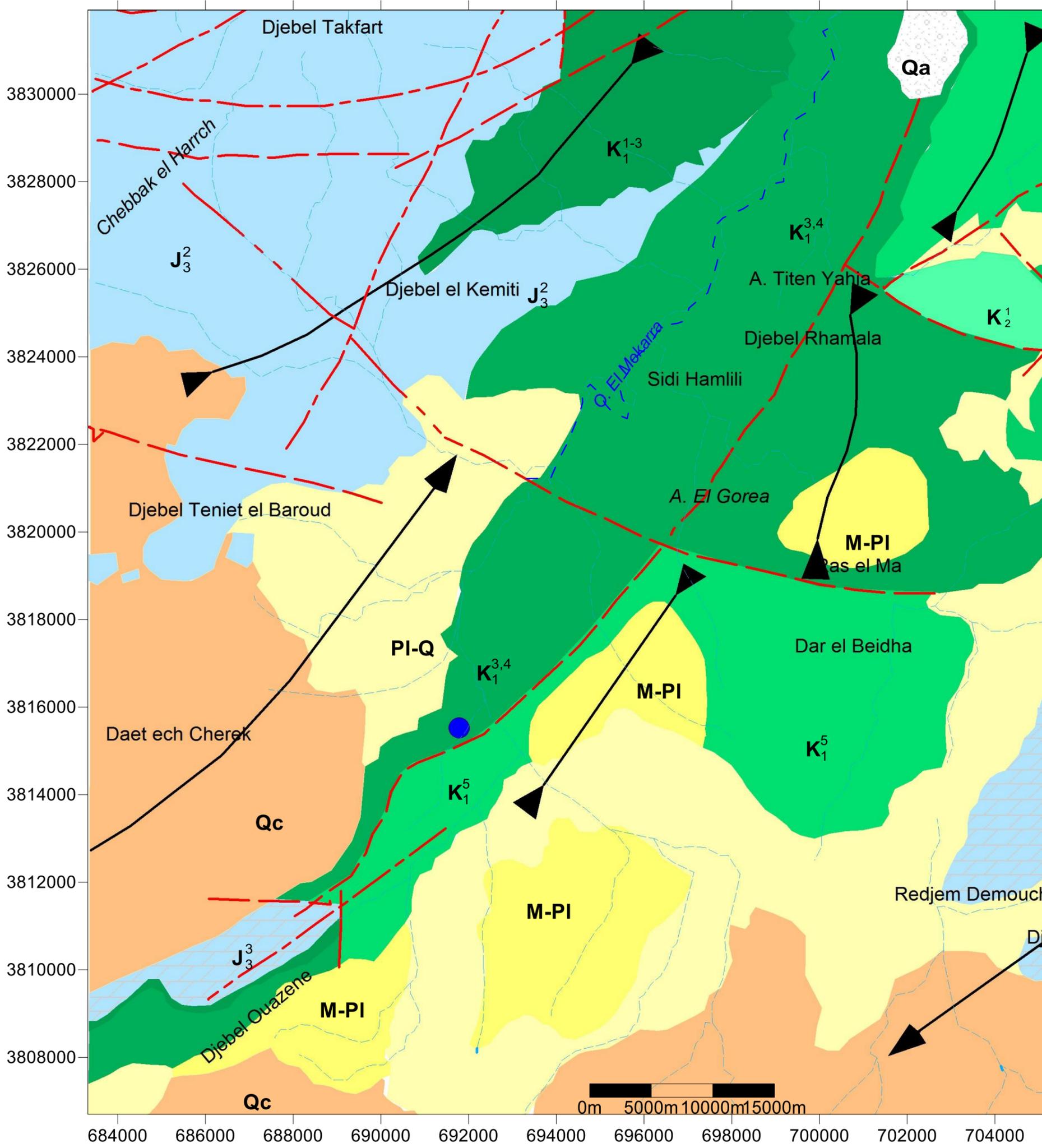
Pliocène : Il est représenté par les «conglomérats des Hauts Plateaux» qui sont observés le long de l'oued Mekerra (de Mouley Slissen à Sidi Ali Benyoub). Ils affleurent également dans la partie Sud du bassin versant de la haute Mekerra (région de Ras el Ma).

Quaternaire : Il s'agit essentiellement d'un matériel limoneux renfermant parfois des débris de végétaux et des galets.

I-2. Aspect structural

Le bassin versant de la Haute Mekerra fait partie de l'extrémité occidentale des Monts de Daïa, qu'ils sont caractérisés par une tectonique cassante représentée par des accidents majeurs tel que les transversales d'Oued Mekerra à l'Ouest et du Telagh à l'Est, donnant ainsi une structure compartimentée en « Horst » et « Graben ». D'autre part, la tectonique souple engendre le développement de grandes structures géologiques (anticlinales et synclinales) citons :

- ✓ Le synclinal de Ras el Ma d'une direction SSO-NNE. Dans cette région, des failles de cisaillement semblent décaler les différents axes.
- ✓ Le synclinal de Djebel Kimiti orienté SO-NE
- ✓ L'anticlinal de DaietEch Cherek au sud-ouest de la zone d'étude, son axe a une direction SSO-NNE.



● Forage Kerzoutta
 - - - Faille
 ↔ Anticlinal
 ▶ Synclinal

Selon ANRH (2008)

Selon Auclair

- Qa Quaternaire (Holocène): Alluvions actuelles et récentes par endroit éboulis des pentes et accumulation de piemont (sables, graviers et argiles) et mollasses
- Qc Quaternaire: croute calcaire - dépôts quaternaires anciens avec surface encroutée
- PI-Q Plio-Quaternaire: cailloutis (grès et conglomérats) et marnes
- M-PI Mio-Plio-Quaternaire: Argiles et sables fins et moyens

Mio-Plio-Quaternaire

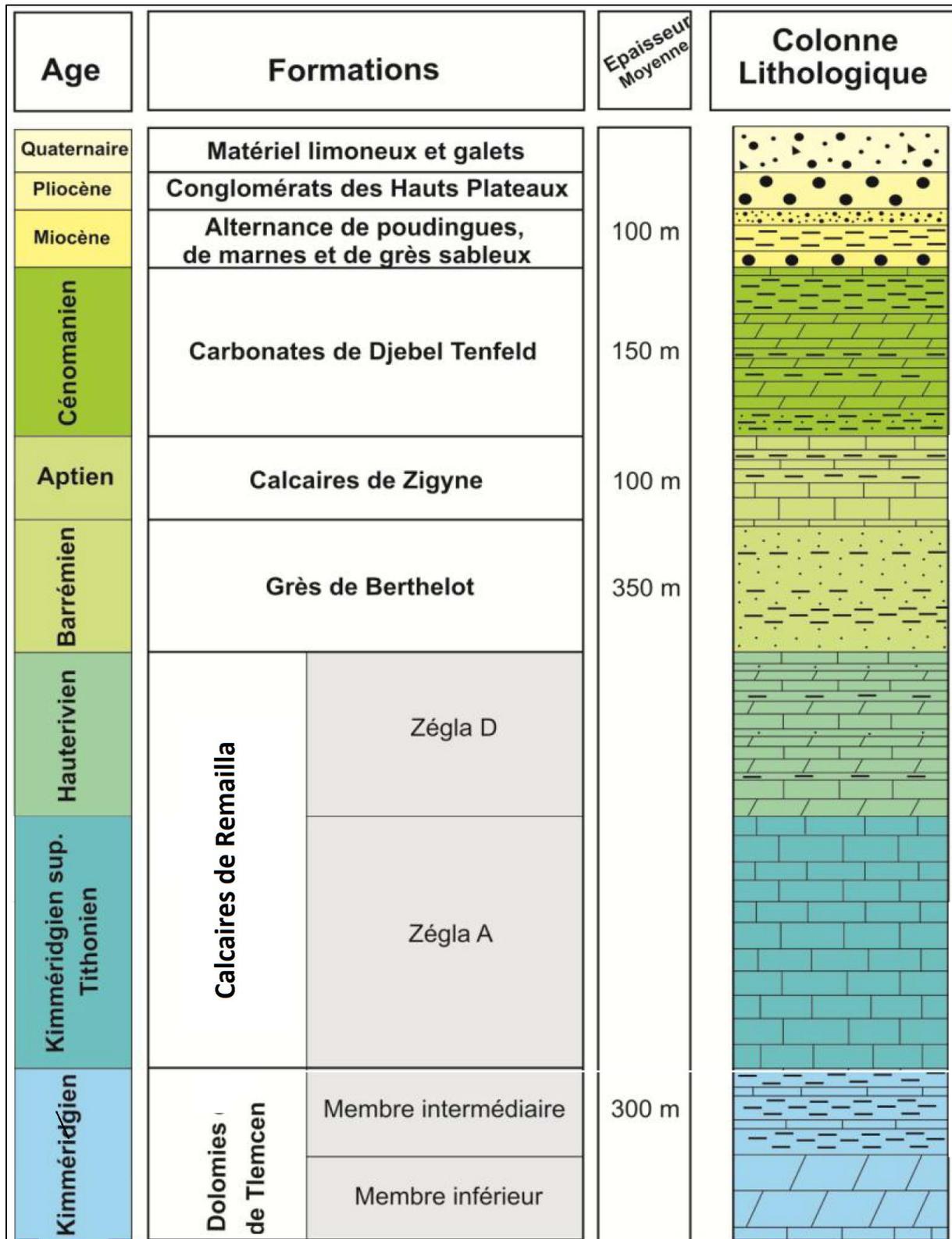


Figure 6: Colonne lithostratigraphique de la région d'étude (Hallouche 2017, modifiée)

II- CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE :

Dans cette partie, nous nous sommes basés sur le travail de Collignon 1986 pour représenter les formations aquifères de la région d'El Gor et à l'aide de la carte qui nous a permis de présenter ces formations à intérêts hydrogéologiques (Fig. 7).

Nous pouvons distinguer des formations potentiellement aquifères de bas en haut :

- ✓ Le réservoir des dolomies du Jurassique supérieur (Kimméridgien) a une porosité de fissures et karstique.
- ✓ Le réservoir des calcaires de Remaïlla (Tithonien-Hautérvien) a une porosité de fissure (perméabilité élevée) :
 - Zégla A : Il affleure particulièrement dans la partie est de notre région d'étude. Son épaisseur est d'environ 100 m. Sur le plan hydrogéologique, cet ensemble calcaréo – dolomitique présente une bonne perméabilité avec une porosité de fissures.
 - Zégla D : L'épaisseur totale de ce membre peut atteindre 160 m. Sur le plan hydrogéologique, la partie supérieure de ce membre joue un rôle de drainage des eaux de Berthelot.
- ✓ Le réservoir gréseux de Berthelot (Berriasien-Hautérvien) a une bonne perméabilité et une porosité d'interstices. Cette formation aquifère affleure dans la zone d'étude, à l'Ouest de Ras El Ma suivant une bande assez étroite, de direction SO-NE.
- ✓ Le réservoir des calcaires de Zigyne (Aptien) a une porosité de fissures.
- ✓ Le réservoir des grés de Plio-quatenaire a une perméabilité d'interstice, moins important point de vue épaisseur et perméabilité, et les conglomérats ne contiennent aucune nappe importante.

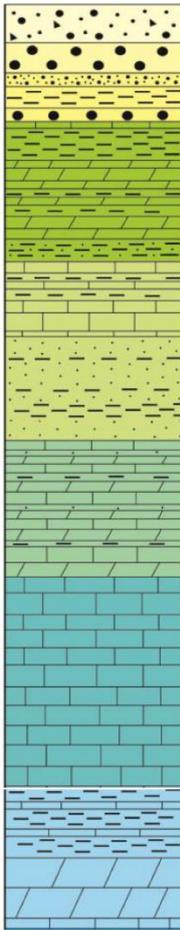
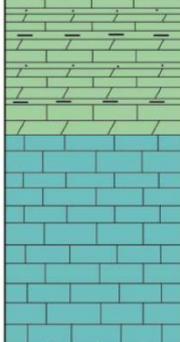
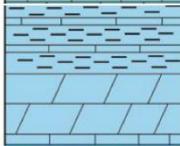
Age	Formations	Epaisseur Moyenne	Colonne Lithologique	Caractéristiques Hydrogéologiques
Quaternaire	Matériel limoneux et galets	100 m		Perméable / porosité d'interstice
Pliocène	Conglomérats des Hauts Plateaux			
Miocène	Alternance de poudingues, de marnes et de grès sableux			
Cénomanién	Carbonates de Djebel Tenfeld	150 m		Très peu perméable
Aptien	Calcaires de Zigyne	100 m		Perméable/porosité de fissure
Barrémien	Grès de Berthelot	350 m		Peu perméable/ porosité d'interstice
Hauterivién	Calcaires de Remailla	Zégla D		Perméable/porosité de fissure
Kimméridgien sup. Tithonien				
Kimméridgien	Dolomies de Tiencen	Membre intermédiaire		Imperméable
		Membre inférieur		Perméable/porosité de fissure

Figure 7 : Colonne hydrogéologique de la zone d'étude selon Auclair et Beleir (1967)

PARTIE II :
IMPLANTATION ET
PROCEDE

Introduction

Le premier but essentiel de forer un puits était de pouvoir accéder à la nappe souterraine et de se disposer d'un certain débit à la surface du sol. A ces fins, les techniques et les moyens ont subis une extraordinaire amélioration pour accéder à des performances beaucoup plus spécialisé.

Dans cette partie nous allons développer et présenter les études d'implantations qui ont précédé l'implantation de notre forage, les étapes de foration et la description des paramètres hydrodynamique et hydrochimiques. Pour mieux comprendre le déroulement de certaines étapes, nous avons visité le forage de Sidi Moudjahed qui est en cours, où nous avons profité des explications des ingénieurs.

Il est à noter que l'exécution de ce forage a duré deux ans du 08/12/2017 au 23/07/2019. Grâce aux explications des ingénieurs de la DRE, qui ont supervisé la réalisation de ce forage, nous avons pu comprendre le procédé de foration et en utilisant les données fournis, dont nous n'avons pas pu vérifier leur fiabilité, nous avons synthétisé les titres suivants.

CHAPITRE 1 : IMPLANTATION ET ETAPES DE FORATION DU FORAGE Kerzouta

I- OUTILS UTILISEESPOUR L'IMPLENTATION

L'indisponibilité de la cartographie géologique à grande échelle de la région d'El Gor, a poussé les ingénieurs de réaliser une perspective régionale des structures géologiques par images satellitaires à petite échelle. Le fusionnement des images ASAR_WSM et du MNT ont contribué à la cartographie les discontinuités structurales :

Elle présente une variation de faciès des formations lithologiques permettant une meilleure discrimination des discontinuités structurales et lithologiques (contact anormal des unités géologiques). L'analyse des images d'ombrage issues de l'estompage de l'image de relief, met en évidence les accidents majeurs et secondaires qui touchent la région.

Le choix de la position du forage a été fait par rapport à la faille majeure de direction NNO-SSE (Fig.5).

II-ETAPES DE FORATION

Dans ce chapitre, on s'intéresse d'une part à citer la technique utilisée et les étapes de réalisation du forage de Kerzouta, et d'autre part à présenter le matériel utilisée pour cet opération.

La nature lithologique du site du forage de Kerzouta nécessite l'utilisation de la technique de forage au rotary. Il s'agit d'une méthode par rotation et broyage qui est utilisé principalement dans les terrains sédimentaires non consolidé.

II-1.Installation de chantier du forage

Le chef du chantier doit se précautionner à la disponibilité de tous les moyens indispensables à l'exécution du forage qui doivent être compatibles avec le programme prévisionnel donné par l'hydrogéologue (Capacité de la machine).

La mise en place du chantier est entamée par la stabilisation de l'appareil de forage sur une plateforme conçue avec béton. Ensuite, le foreur installe la machine selon les caractéristiques déterminées: degré d'inclinaison, emplacement du forage (Fig. 8 a et b).

L'organisation de chantier de forage hydraulique soit faite d'une manière qui permet au foreur d'intervenir rapidement en cas de problème. Les précautions à prendre doivent conduire à déterminer :

- ✓ Un périmètre de sécurité autour du chantier.
- ✓ Un accès pour les véhicules.
- ✓ Un approvisionnement en eau (citernes).
- ✓ Un accès facile pour le remplissage des fosses.
- ✓ L'emplacement de l'appareil de forage et pompe a bous.
- ✓ Un endroit sec pour la rédaction.

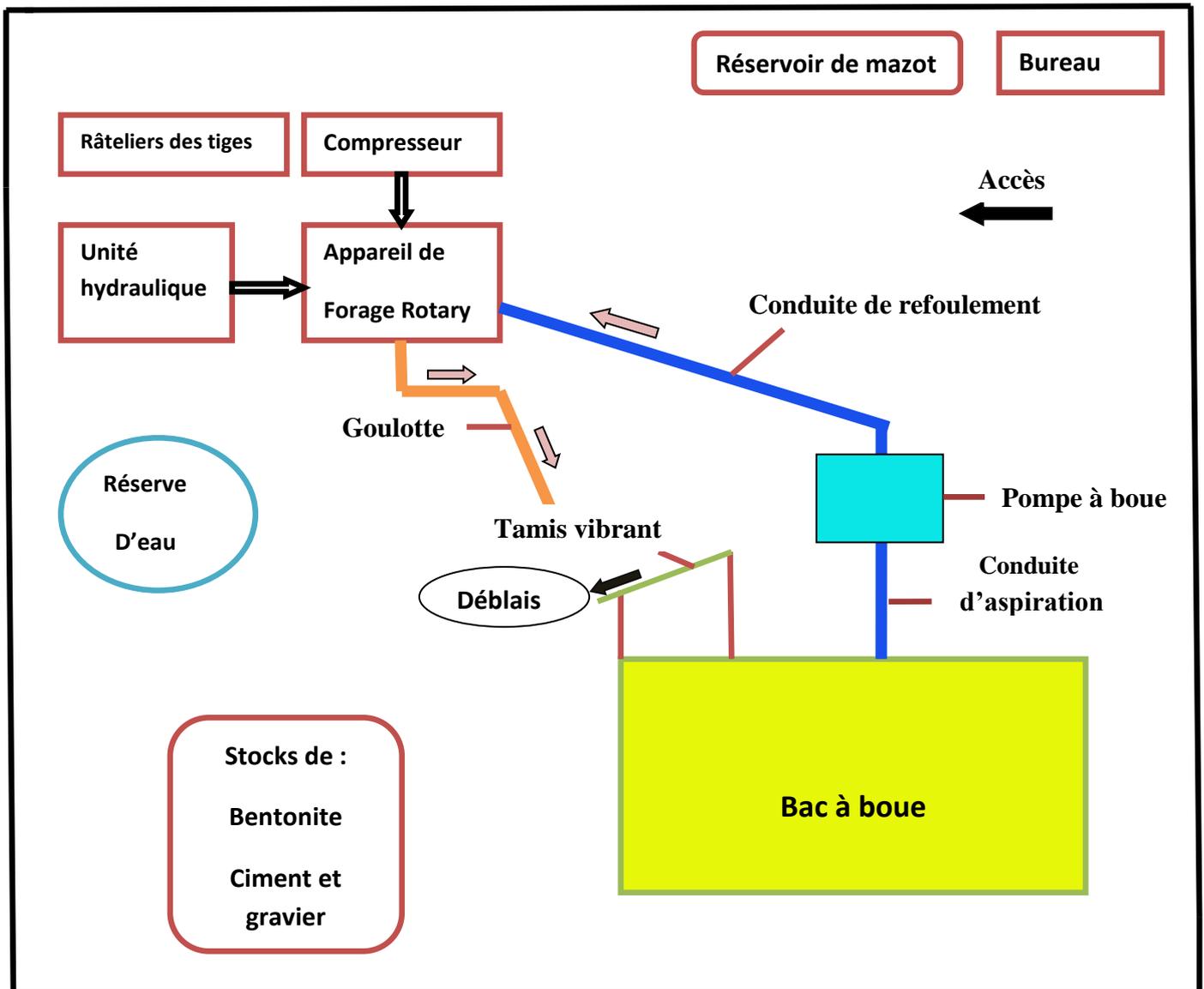


Figure8-a : Organisation du chantier avec le cycle de boue de forage



Figure 8-b : Photo de la tête de forage de Kerzouta (Bouderba et al 2018)

II-2. Différentes phases de foration:

La réalisation d'un forage d'eau se décompose en différentes étapes, chaque étape est très importante, dont il faut qu'elles se déroulent successivement :

- ✓ Réalisation du forage de reconnaissance
- ✓ Alésage
- ✓ Equipement de forage (tubage, crépine et massif filtrant)
- ✓ Développement
- ✓ Vérification par endoscopie

II-2-1. Forage de reconnaissance :

Les forages de reconnaissances sont des puits de petit diamètre, permettent de vérifier et prouver les hypothèses émises et apportent des informations indispensables (prélèvement d'échantillons, mesures et essais, investigation, observation périodique) comme ils autorisent d'effectuer des diagraphies et des essais de pompage.

Avant de réaliser cette phase on fait la réalisation d'un avant puits, cette réalisation a été effectuée avec une profondeur de 10m et un diamètre de 24 pouces. L'opération consiste à perforer 10 m de profondeur, après faire descendre le tube guide de 0 à 10 mètre puis faire la cimentation de la première partie pour éviter tout types d'infiltration, et pour une bonne verticalité pendant cette foration.

La phase de reconnaissance consiste à prélever les cuttings chaque 1.5 m avec une perforation entamée avec un diamètre de 8 pouces ;le choix de ce diamètre a été évalué en fonction du coup économique. Ces échantillons nous favorisent la réalisation de la coupe lithologique à fin de connaître la nature des couches traversées qui seront confirmées par la diagraphie.

II-2-1-1. Outils et matériels utilisés :

Dans cette partie nous allons développer l'ensemble des outils de forage utilisés pour la foration et l'équipement qui se trouve à la surface. Le matériel de fond, constituée de massettes, tiges et de tiges lourdes, leurs principales fonctions :

- ✓ Faire entraîner l'outil en rotation
- ✓ Pratiquer un certain poids sur l'outil
- ✓ Porter l'énergie hydraulique essentielle à l'évacuation des cuttings

a. Les masses tiges : Les masses tiges sont blindés (à paroi très épaisse), aident à guider l'orientation de l'outil de forage et permettent de canaliser la boue de forage jusqu'au fond de trou. Elles sont caractérisés par son diamètres extérieur et intérieur.

b. Les tiges : Ce sont des tiges d'acier qui constituent la partie la plus longue de la garniture de forage, caractérisés par leur diamètre externe et le type de renforcement de leurs extrémités

c. Les tiges lourdes : Montrent un diamètre externe identique aux tiges de forage, ils servent d'intermédiaire entre les tiges et les masses tiges.

d. L'outil de forage : C'est l'élément perforateur de la roche (clé de la foration). Son rôle principal est le démantèlement (écrasement) de la roche et la constitution d'un trou dans les déblais.

e. La source d'énergie : Généralement un moteur diesel comme générateurs électriques qui alimentent l'ensemble du matériel et le chantier.

f. La pompe à boue : La pompe de forage constitue également l'une des principales pièces maîtresses dans la réussite du forage. Elle permet de pomper à un débit de l'ordre de 3000 l/min à une pression pouvant dépasser les 300 Bar. Sa fonction essentiel est d'assurer la progression du fluide de forage et son acheminement depuis l'aspiration de la pompe jusqu'au retour au bassin.

La boue de forage est un fluide qui possède un rôle très primordial dans la réussite d'un forage, son rôle :

- ✓ Remonté des déblais
- ✓ La consolidation des parois de forage
- ✓ La lutte contre les pressions de formations
- ✓ Lubrification et refroidissement des outils de forages

La boue est préparée dans un grand bassin, par la suite aspirée par la pompe et injectée dans les tiges creuses, elle descend le long de la garniture et sort par les orifices de l'outil après la remontée dans l'espace annulaire jusqu'au surface. Là, elle est recueillie et, est déchargé des cuttings à travers un canal à faible pente avec des ralentisseurs (Fig. 8-a).

II-2-1-2. Résultats

a. Examen des cuttings :

Les échantillons sont nettoyés et séchés, et mis dans des petites sachées étiquetées selon leur profondeur de prélèvement, puis décrits par l'ingénieur hydrogéologue de l'administration. La description des cuttings a permis d'établir la coupe et le log lithologique du forage (Fig.9).



Figure 9: Tamis de récupération et échantillons de cuttings du forage (photo prise par Bouderba et al 2018)

b. Diagraphie et interprétation :

La diagraphie est une technique géophysique sert à mesurer en place les paramètres physiques du terrain (résistivité, radioactivité, vitesse de son) avec la meilleure résolution verticale possible ou des paramètres géométrique afin de connaître les différentes formations traversées et différencier les terrains perméables des imperméables; elle consiste à descendre une sonde électrique à l'intérieur du forage avec un enregistrement en surface par l'intermédiaire d'un appareillage bien spécifique.

Les enregistrements utilisés et effectués dans le forage de Kerzouta sont :

- ✓ polarisation spontanée (P. S.) : méthode géophysique passive qui se base sur la mesure des potentiels naturels présents dans la sous-surface, minéralisation de sulfure, voltmètre pour mesurer le potentiel électrique en différents points du sol ;

- ✓ résistivités électriques : mesure de la résistivité et la résistance des formations géologiques sur la verticale de l'ouvrage et permet d'en déduire leur potentiel aquifère ;
- ✓ Gamma-ray : mesure la teneur en argile (riche en élément naturellement radioactifs) des roches et aussi préciser et corrélérer la coupe lithologiques établie à partir des échantillonnages des terrains au cours du forage.

L'interprétation de ces enregistrements (Fig. 10), est représentée avec une résolution verticale (mesure de la résistivité et de la polarisation spontané en fonction de la profondeur), a permis de différencier des niveaux perméables et des niveaux imperméables et apporte le maximum de données pour le minimum de dépense. Cette distinction a été accessible et réalisable suite à l'examen de l'allure des courbes de gamma-ray et de la porosité spontané qui ont permis de situer et détecter les niveaux argileux. L'enregistrement des résistivités permet d'apprécier et déterminer la qualité lithologique des niveaux aquifères.

Généralement on observe qu'en face des bancs poreux perméable, la courbe montre une forte déflexion vers la droite (vers la coupe litho-stratigraphique), tout dépend des formations géologiques.

Les niveaux argileux intercalés entre les bancs compacts se marquent un changement de pente de courbe P.S., elle demeure généralement rectiligne en face de formations compactes.

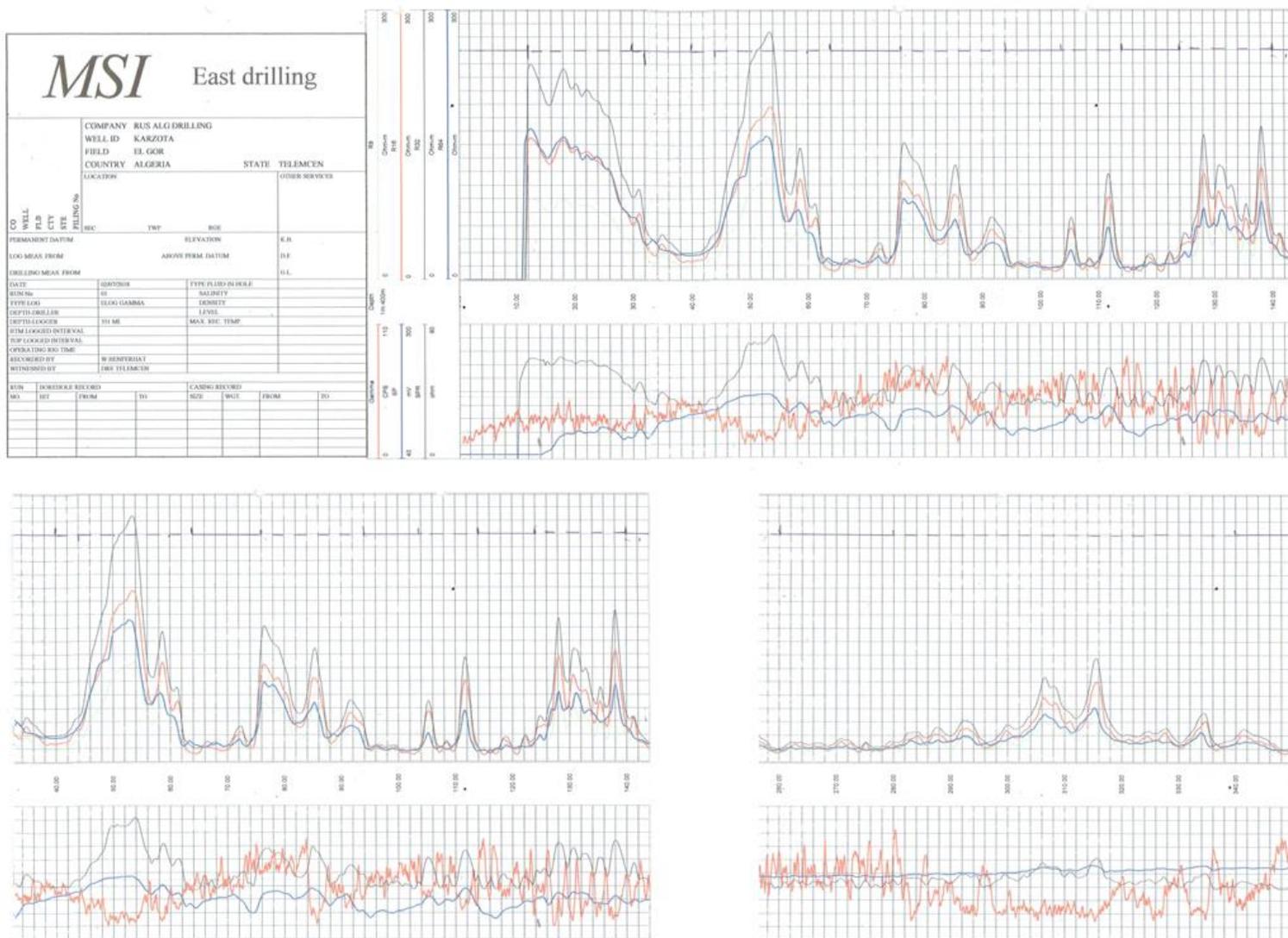


Figure 10 : Diagraphie enregistrée du forage Kerzouta

L'interprétation de résultat d'enregistrement à permet d'établir le tableau 2 et la colonne lithostratigraphique de forage Kerzouta: on observe que la première 53m est très perméable, correspondent au grès friable et intercalation des calcaires blancs, et de 63 m au 140m de profondeur il y a une succession de formations perméables et imperméable représentées par une alternance grès et argile et calcaire. Le reste coïncide avec une alternance de bancs calcaires et argile (Fig. 11).

Tableau 02 : Interprétation des enregistrements

Profondeur (m)	Perméabilité
De 0 à 10 m	
10 - 63	Très Perméable
63 - 75	Imperméable
75 - 95	Perméable
95 - 105	Imperméable
105 - 115	Perméable
115 - 125	Imperméable
125 - 140	Perméable
140 - 155	Imperméable
155 - 170	Perméable
170 - 180	Imperméable
180 - 210	Perméable
210 - 220	Imperméable
220 - 260	Perméable
260 - 295	Imperméable
295 - 340	Perméable
340 - 350	Imperméable

II-2-2.L'alésage :

Avant de passer à l'étape d'équipements, il est nécessaire de faire des essais au compresseur de pression (1Bar/10m), dans le but est de nettoyer les parois du cake à fin d'éviter tout colmatage et faire un essai de puis (la présence d'eau), cela par injection de l'air jusqu'à 350 m de profondeur. Ce compresseur contient deux tuyaux : un pour l'air lift et le deuxième pour dégager la boue.

Le test au compresseur informe, si après 2 h y a toujours la remontée d'eau, le forage est positif tel comme celui de Kerzouta (3 heures), si après une demi-heure l'eau ne monte plus c'est à dire le forage est négatif. Ce test-là est très important à fin d'éviter tout types d'erreur qui pourrai causer problème au cours de la réalisation du forage. Son but est d'éviter les pertes matérielles (équipement précipité).

L'alésage est l'opération d'usinage consistant à calibrer et à régulariser exactement le trou de forage.

Dans notre cas d'études, ils ont commencé l'alésage avec un tubage de 13 pouces de diamètre jusqu'à 350 mètre, puis ils ont refait la même opération avec 17 pouces de diamètre jusqu'à 350 mètre. Ces choix sont important pour éviter tout effondrement, colmatassions et pollution.

Un avant puits avec 24 pouces jusqu'à 10m, plus un forage entre 13 et 17 pouces. Les quatre pouces restant pour déposer et prévoir le gravier additionnel (massif filtrant).

II-2-3.Equipement de forage :

Cette phase consiste à choisir les équipements adéquats à chaque phase de perforation pour assurer une exploitation durable et optimale du forage. L'examen de l'enregistrement diagraphie et des cuttings à permit d'établir un programme d'équipement du forage de Kerzouta.

II-2-3-1. Tubages

a. Mise en œuvre de tubage :

Le choix de la position et la longueur du tube plein et du tube crépine est basé sur la nature du terrain traversé du forage et leur profondeur pour permettre une bonne exploitation d'eau. Le forage doit être immédiatement tubé à fin d'éviter tous effondrement.

b. Matériels utilisés :

- ✓ **Sabot** : utilisé pour positionner les tubes de revêtement à l'intérieur du trou de forage, pour guider la colonne pendant sa descente.
- ✓ **Centreur** : sont conçu à fin d'éviter tout contact de tubage avec les parois de trou et avoir un espace annulaire uniforme et une descente libre des tubes sous leur propre poids.

c. Diamètre du tubage :

Le dimensionnement du diamètre intérieur du tubage doit être suffisamment mesuré pour permettre la pose d'une pompe en fonction du débit et des colonnes montantes.

- ✓ L'espace nécessaire pour cette installation doit être de 1 pouce entre la pompe et le tubage pour limiter les pertes de charge, surtout pour les débits importants et pour le refroidissement de la pompe.
- ✓ Pour avoir un espace annulaire assez large pour la mise en place du massif filtrant, le diamètre extérieur doit être plus de 2 pouces.

d. Choix de tubes pleins :

Les tubes pleins sont conçus pour résister mécaniquement aux pressions qui lui seront appliquées une fois mis en place dans le forage (efforts d'écrasement, efforts de traction, efforts d'éclatement et efforts de flambage).

II-2-3-2. Crépines :

La crépine techniquement est un tube ouvert laissant le passage de l'eau à travers des fentes tout en maintenant la formation. Placée en alternance avec le tubage plein.

La nature, la longueur et le type de la crépine est en fonction de l'épaisseur de la formation captée, selon le niveau de rabattement maximal et la nature de l'aquifère.

Les rôles de la crépine sont:

- ✓ Minimiser les pertes de charge.
- ✓ Production de fluide sans particule fine.
- ✓ Lutter contre la corrosion.
- ✓ Stabiliser la formation aquifère.

- ✓ Résister à la pression d'écrasement de la formation.

Le positionnement de crépines répond au deux éléments nécessaire :

- ✓ La diagraphie
- ✓ Les analyses des cuttings (échantillons).

Type et choix de la crépine :

Comme la crépine est l'élément essentiel du forage, le choix d'une bonne crépine suit la qualité de l'eau, type de terrain (conditions géologiques), la profondeur du forage et la granulométrie du sable au niveau de l'aquifère capté, les ouvertures doivent être croissantes vers l'intérieur pour éviter le colmatage. On prend en considération tous les paramètres physiques de l'aquifère.

La crépine utilisée pour le forage de Kerzouta est celle d'API (Américan Petroleum Institute). Les crépines les plus utilisées sont celles aux nervures repoussées.

II-2-3-3. Massif filtrant (gravier additionnel, massif de gravier) :

Le gravier additionnel est défini par l'ouverture de la crépine et la granulométrie de la formation, faut qu'il soit uniforme, propre, calibré et siliceux au moins à 90 % pour limiter les risques de dissolution. Le gravier descend dans l'espace annulaire tout le long du tubage, une remontée de boue par le tube de forage indique une descente correcte du gravier. Lorsque le niveau du gravier atteint le haut des crépines, la boue ne remonte pas par le tube mais par l'espace annulaire le massif de gravier doit alors dépasser le haut des crépines sur quelques mètres.

Le gravier additionnel joue un rôle important :

- ✓ Il augmente les débits d'exploitation.
- ✓ Diminue les vitesses d'écoulement.
- ✓ Evite le risque d'érosion en évitant l'entrée des sables fins.

Le volume du gravier nécessaire peut être calculé empiriquement (volume du trou moins volume de tubage) ou de la manière suivante selon E.Drouart :

$$V = h \times 0.8 \times (D_0^2 - D_1^2)$$

V : Volume du gravier, en litres

h : Hauteur de massif de gravier, en mètres.

D₀ : Diamètre du trou, en pouces.

D₁ : Diamètre des tubes, en pouces.

0.8 est un coefficient empirique sans lien avec l'ouverture de la crépine

Le volume utilisé dans notre forage est estimé à 30 m³.

$$V = 350 \times 0.8 \times (0.26 - 0.15)$$

Le tableau 3 résume le programme de tubage (profondeur tubée, type et diamètre) proposé et exécuté par la Direction des Ressources en Eau de la Wilaya de Tlemcen.

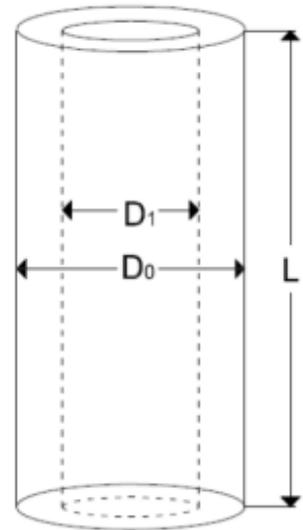


Tableau3 : programme de tubage du forage Kerzouta (TL : tube crépiné, TP : tube plein, API : Américan Petroleum Institute)

Profondeur (m)	Tube plein	Tube alterné (crépine)	Diamètre	Schéma de tubage
De 0 à 10 m	TP API		Ø13"3/8	
10 à 30 m		TL API	Ø13"3/8	
30 à 40 m	TP API		Ø13"3/8	
40 à 65 m		TL API	Ø13"3/8	
65 à 75 m	TP API		Ø13"3/8	
75 à 95 m		TL API	Ø13"3/8	
95 à 105 m	TP API		Ø13"3/8	
105 à 115 m		TL API	Ø13"3/8	
115 à 125 m	TP API		Ø13"3/8	
125 à 140 m		TL API	Ø13"3/8	
140 à 155 m	TP API		Ø13"3/8	
155 à 170 m		TL API	Ø13"3/8	
170 à 180 m	TP API		Ø13"3/8	
180 à 210 m		TL API	Ø13"3/8	
210 à 220 m	TP API		Ø13"3/8	
220 à 260 m		TL API	Ø13"3/8	
260 à 300 m	TP API		Ø13"3/8	
295 à 300 m	TP API		Ø13"3/8	
300 à 340 m		TL API	Ø13"3/8	
340 à 350 m	TP API		Ø13"3/8+ sabot ouvert	

II-2-4. Développement de l'ouvrage :

Développement de l'ouvrage est essentiel pour maximiser la productivité du forage (augmenter la porosité et la perméabilité de la formation) et améliorer la capacité de filtration du massif filtrant. Il consiste à nettoyer la zone de l'aquifère à proximité immédiate des crépines afin d'éliminer et éloigner tous déblais et fluides de forage, ainsi que les sédiments en suspension et corriger toute perturbation ou colmatage qui auraient pu être provoqué dans la formation.

Le développement du forage Kerzouta a été effectué à l'air lift avec un compresseur d'air de 35Bar, et exécuté par paliers.

La procédure de cette opération s'est exécutée selon les étapes suivantes :

- ✓ Nettoyage du trou à l'air lift pendant 72h.
- ✓ Injection de 300 kg de l'Examétaphosphate pour éliminer le dépôt de cake dans les fentes des crépines.
- ✓ Injection du HCL pour éliminer le calcaire.

Développement de la pompe consiste à placer une pompe dans le forage après la mise à l'eau claire, et à pomper à un débit grossissant jusqu'à l'obtention d'un débit maximal sans venus de sable.

Désinfection et nettoyage ont nécessaire pour nettoyer et désinfecter le matériel et les matériaux introduits dans l'ouvrage et éviter toute rétro pollution par la surface.

II-2-4-1. Essais de pompage :

L'essai de pompage permet d'établir les caractéristiques hydrodynamique de l'aquifère, il consiste à amenuiser, par pompage la surface piézométrique de la nappe et à mesurer en fonction du temps, les variations du niveau de la surface aussi bien que le débit pompé. Le pompage est réalisé sur le forage de Kerzouta du 05 au 10 juillet 2019. L'essai de pompage a été réalisé par l'entreprise de réalisation du forage, les résultats obtenus sont reports sur le tableau en annexe n°1. L'évolution du rabattement de la surface piézométrique en fonction du temps est représentée dans la figure 12.

Notons que, la valeur de la transmissivité a été déterminée à partir de la courbe de descente et du rabattement. L'interprétation graphique de cette courbe est basée sur l'approximation logarithmique de Jacob (1950) en considérant le milieu isotrope et homogène, et à écoulement transitoire (Castany 2002).

$$T = 0.183 \times Q/C$$

Q : débit de pompage en m^3/s , dans notre cas il est $0.045 m^3/s$

C : le rabattement au cours d'un module logarithmique (m)

La transmissivité est estimé à $2.3 \cdot 10^{-3} m^2/s$

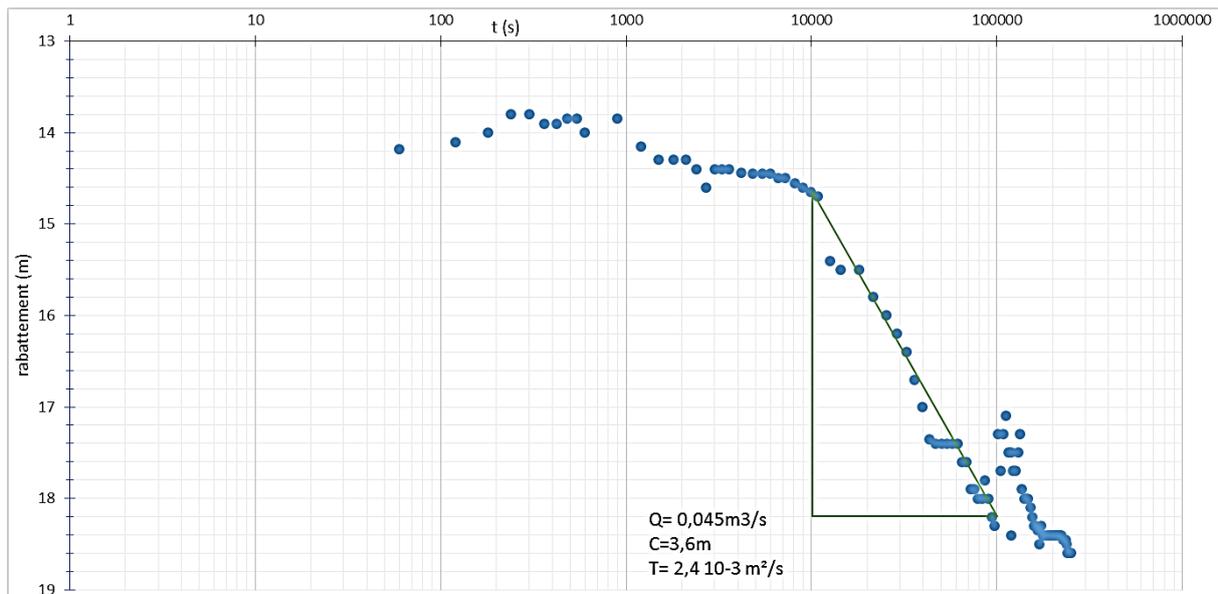


Figure 12 : Courbe de la descente de l'essai de pompage du forage Kerzouta (05-10/07/2019)

Commentaire :

Ce nuage de point représente le rabattement en mètre en fonction de temps dans un graphe semi log (le temps représenté sur l'échelle logarithmique).

Pour réaliser ce graphe on a utilisé les données dans l'Excel, puis on a choisit la pente représentatif de la descente.

Entre un module logarithmique on a calculé le (Δ) de la profondeur, on a pris la valeur

(18.2 - 14.6) = ca c'est le C.

Teiss et Jacob ils ont utilisées l'équation sur un milieu poreux, et pour cela on utilisé cette méthode vu que l'aquifère principale de notre forage est celle des grès de Berthelot (c'est une formation gréseuse d'une porosité d'interstice) pour déterminer le paramètre hydrodynamique de la transmissivité.

II-2-5. Vérification du forage par endoscopie :

II-2-5-1. Moyens techniques utilisés :

Le bureau d'étude HYDROCONCEPT a été mandaté pour l'auscultation du forage ; elle a été faite le 16/07/2019 et a été réalisée à l'aide d'un équipement (de marque "PASI") constituer par :

- Une caméra dont la tête a un diamètre de 40 mm reliée à l'unité de contrôle par câble coaxial de 500 m et d'un diamètre de 3/16 pouces,
- Une unité de contrôle reliée à un écran LCD, clavier, port USB et microphone équipée d'un afficheur ayant un système NTSC/PAL. L'encodeur permet à l'utilisateur d'afficher et d'enregistrer la profondeur automatiquement sur la vidéo (jusqu'à 500 m).
- Un trépied de suspension, un treuil, un outil de centrale vertical, visualisateur 90° en une mallette de transport.
- Un générateur électrique.

II-2-5-2.Déroulement et résultats de l'auscultation :

La caméra permet d'observer le tubage utilisé pour équiper le forage, un tube ferme de diamètre 12 pouces a été utilisé. Le niveau statique a été rencontré à la cote 23,3 m. La caméra a continuée à descendre dans les eaux trop troubles où on ne peut pas distinguer les tubes pleins des tubes crépines jusqu'à la cote de 327,6 m ou elle percutée le fond solide couvert par une vase jaunâtre. Une vidéo de cette opération a été enregistrée.

CHAPITRE II :
PARAMETRES
HYDROCHIMIQUES

Introduction

La qualité d'une eau se définit par des paramètres physiques, chimiques et biologiques, ainsi par son usage. Aussi, une eau impropre à la consommation peut être appropriée à l'irrigation ou à la pisciculture.

Dans un premier temps, notre travail consistera à montrer la méthodologie adoptée, présenter les paramètres physico-chimiques, et en second lieu nous effectuerons une comparaison des analyses avec les normes de potabilité algériennes (2011) et de l'OMS(2017)(pour estimer l'aptitude à la consommation). Cela car nous n'avons pas la possibilité de déterminer les différents faciès hydrochimique ni de calculer les indices d'irrigation (tel que le Kelly's Ratio (KR), le SAR de ces eaux ; ces analyses présentent un manque de deux éléments au niveau des cations (Na^+ et K^+).

I-PRESENTATION DES DONNEES :

I.1. Moyens et méthodologie :

Cette partie de notre étude est basée sur l'interprétation des analyses chimiques effectuée par le laboratoire d'analyse de l'ANRH la wilaya de Tlemcen. Les prélèvements ont été effectués au niveau de forage durant l'année 2019/2020, afin de vérifier la potabilité des eaux de forage. Les analyses physiques (le pH, la conductivité et la turbidité) et chimiques : les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+) et des anions (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SiO_2^- , HCO_3^-).

I.2.Fiabilité des analyses physico-chimiques :

La vérification de la fiabilité de l'analyse a été vérifié en utilisant la méthode du rapport de conductivité, cette méthode étant la seule dont nous pouvons utiliser pour établir et vérifier la pertinence des analyses et retirer les mauvais analyses pour une bonne appréciation du traitement.

Elle consiste à réaliser une comparaison entre le rapport de la Conductivité Electrique par 100 (CE/100), et la somme des concentrations des anions ou cations en meq/L ; d'après les résultats on peut en déduire de l'état des analyses :

- Conductivité/100 égale à la somme des cations ou à la somme des anions = bonne analyse

- Conductivité/100 différente à la somme des cations ou à la somme des anions nous avons une sur ou sous-estimation des concentrations des éléments majeurs.

Après vérification de la fiabilité des 5 analyses par cette méthode, seulement l'analyse datée le 07/07/2019 est bonne. Dans la partie suivante nous allons procéder à une présentation des éléments physico-chimiques afin d'estimer la qualité de ces eaux.

II- CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX SOUTERRAINES

Les différents paramètres physico-chimiques de notre forage sont représentés dans cette partie et comparés aux normes algériennes et l'OMS de potabilité.

II-1. Paramètres physiques des eaux de forage

✓ pH

Généralement le pH se situe entre 6 et 8,5 dans les eaux naturelles, les valeurs de pH mesuré égale à 6,84, il exprime l'alcalinité ou l'acidité du milieu.

✓ Conductivité électrique CE

C'est une mesure de la quantité d'ions présents dans l'eau, varie en fonction de la température. Elle est liée à la concentration et à la nature des substances dissoutes. Les eaux de notre forage ont une conductivité de 2650 μ s/cm.

✓ Minéralisation

D'une manière générale, la minéralisation est plus élevée dans les eaux souterraines que dans les eaux superficielles, liée de la géologie des terrains traversés. La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais approximativement la minéralisation globale (Rodier J., 2009).

Tableau 4 : Classification de la minéralisation des eaux selon la conductivité (Rodier J., 2009)

Conductivité électrique	Minéralisation
Si la conductivité < 100	Minéralisation très faible
100 < Conductivité < 200	Minéralisation faible
200 < Conductivité < 330	Minéralisation moyenne
330 < Conductivité < 660	Minéralisation moyenne accentuée
660 < Conductivité < 1000	Minéralisation importante

Si la conductivité > 1000	Minéralisation excessive
---------------------------	--------------------------

Tableau 5 : Détermination de la minéralisation à partir de la conductivité (Rodier J.2009)

Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Minéralisation
Conductivité < 50	1,365079 x Conductivité à 20°C
50 < Conductivité < 166	0,947658 x Conductivité à 20°C
166 < Conductivité < 333	0,769574 x Conductivité à 20°C
333 < Conductivité < 833	0,71592 x Conductivité à 20°C
833 < Conductivité < 1000	0,758544 x Conductivité à 20°C
Conductivité > 1000	0,850432 x Conductivité à 20°C

La détermination de la minéralisation à partir de la conductivité du forage Kerzouta est de 2253,64 mg/L. Les valeurs de la conductivité montrent que les eaux du forage sont caractérisées par une minéralisation excessive (tableau 04).

✓ Turbidité :

La turbidité est un caractère très important permet de préciser les informations visuelles de la couleur de l'eau, causée par les particules en suspension dans l'eau, elle est représenté en NTU (Nephelometric Turbidity Unit). La turbidité a une valeur de 4NTU, donc il s'agit d'une eau claire.

✓ Dureté totale

C'est la concentration totale en ions Ca^{2+} , magnésium Mg^{2+} et autres cations bivalents et trivalents de cette eau, elle est calculée par la somme des concentrations en degré de calcium et de magnésium et s'écrit par le titre hydrométrique (TH). Elle est exprimée en degré français avec $1^\circ\text{F} = 10\text{mg}/\text{L CaCO}_3$.

Les résultats des analyses présentent une dureté allant de 130°F , donc les eaux souterraines du forage de Kerzouta présentent des eaux très dure.

Tableau 6 : Classification des eaux en fonction de leur dureté totale en F° (OMS, 1994)

Dureté totale en (°F)	0 à 5	5 à 15	15 à 25	25 à 35	≥ 35
Type de l'eau	Très douce	Douce	Moyennement douce	Dure	Très dure

II-2. Ions majeurs

✓ Calcium (Ca^{+2})

C'est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Il est le composant majeur de la dureté de l'eau, et est généralement l'élément dominant des eaux potables (Rodier, 2009). Le calcium provient majoritairement de la dissolution des carbonates ou gypses.

La concentration en calcium des eaux souterraines du forage de Kerzouta est de 223 mg/L.

✓ Magnésium (Mg^{+2})

Aussi c'est un métal alcalino-terreux, avec le calcium elles constituent la dureté d'une eau, exprime le tiers de la dureté totale. Le magnésium provient de la dissolution des roches à forte teneurs en magnésium (des calcaires dolomitiques, magnésite). En eau douce, les concentrations en magnésium sont inférieures au calcium (Ganjous 1995). L'eau de ce forage présente des teneurs en magnésium égale à 181mg/L.

✓ Chlorure (Cl^-)

L'ion Cl^- provient suite à la dissolution de roches sédimentaires qui se sont déposées en milieu marin et qui n'ont pas été complètement lessivées et à la présence des évaporites.

La valeur des teneurs en chlorures de l'eau de notre forage est de 225 mg/L.

✓ Sulfates (SO_4^{-2})

Elle est représenté dans l'eau suite à la dissolution de certains minéraux en particulier du gypse, ou apparaitre à partir de l'oxydation de minéraux sulfureux. Au contraire aux ions chlorures, la teneur en sulfates est très élevée dans les eaux de forage de Kerzouta, elle est de 639mg/L.

✓ **Bicarbonates (HCO_3^-)**

La teneur en bicarbonates dans les eaux souterraines dépend surtout de la présence des minéraux carbonatés dans le sol et l'aquifère, ainsi que la teneur en CO_2 de l'air et du sol dans le bassin d'alimentation.

La concentration en bicarbonates des eaux souterraines du forage de Kerzouta est de 259 mg/L.

II-3. Ions indicateurs de pollution

✓ **Ammonium (NH_4^+)**

L'ammonium n'a pas un effet appréciable sur la santé du consommateur mais sa présence dans les eaux est un indicateur de pollution, son origine primordiale est l'azote. C'est un excellent indicateur de la pollution de l'eau par des rejets organiques d'origine agricole, domestique ou industriel (Lenntech, 2000). Ce cation provient de la dissolution de l'ammoniac (NH_3) dans l'eau (WHO, 1994). Il doit être éliminé dans les eaux de boisson car c'est un élément qui favorise la prolifération des bactéries dans les réseaux de distribution (Jean J-C, 2002). Il est important d'éliminer l'ammonium avant l'introduction de l'eau dans le réseau car l'ammonium réagit avec le chlore pour produire des chlora-mines qui sont des désinfectants moins efficaces et peuvent provoquer des goûts désagréables (Paquin ; Blok et Haudidier, 1992).

Dans les eaux de forage de Kerzouta, la teneur en ammonium est faible voir nul (0,09mg/L).

✓ **Nitrates (NO_3^-)**

Généralement sa présence dans les eaux souterraines est liée à l'utilisation des engrais chimiques dans l'agriculture et au rejet des eaux usées, les concentrations en nitrates est égale à 12mg/L.

✓ **Nitrites (NO_2^-)**

Les nitrites sont des ions présents de façon naturelle dans l'environnement. Ils sont le résultat d'une nitrification de l'ion ammonium (NH_4^+) (Gaujour, 1995), elles font partie du cycle de l'azote. Les eaux du forage de Kerzouta sont très faibles à nulle, la valeur enregistrée est de 0,09mg/L.

✓ **Phosphates (PO₄⁻)**

Les phosphates sont généralement responsables de l'accélération du phénomène d'eutrophisation dans les lacs ou les rivières. S'ils dépassent les normes, ceux-ci sont considérés comme indice de contamination fécale entraînant une prolifération des germes, goût et coloration (Rodier, 2009). La concentration est de 0,02mg/L.

✓ **Silices (SiO₂⁻)**

Silice, oxyde de silicium sont extrêmement abondants dans l'écorce terrestre. La silice a une origine essentiellement naturelle et se rencontre dans les eaux brutes sous deux formes : soluble et colloïdale. La solubilité dépend principalement de la température et du pH (Potelonet Zysman, 1998). La concentration de la silice est de 15.6 mg/L.

III. POTABILITE DES EAUX SOUTERRAINE DU FORAGE DE KERZOUTA

L'eau potable doit satisfaire en quantité et en qualité chimique suffisante comprises entre le seuil de tolérance et une qualité microbiologique suffisante. Si un des éléments dépasse la concentration admissible, l'eau peut être considéré comme impropre à la consommation humaine.

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux souterraines du forage de Kerzouta de l'année 2019, ont été comparés aux normes de potabilité Algériennes (JORA 2011) aussi aux normes internationales de l'Organisation Mondiale de la Santé (2017).

Le tableau suivant présente les normes de potabilité, les différentes données chimiques et l'interprétation de la qualité de l'eau (potable ou non) selon les différents paramètres :

- La valeur des teneurs en Ca²⁺ est supérieure aux normes exigées pour le calcium 200mg/L.
- La valeur de magnésium dépasse les normes de potabilité algériennes (concentration maximale admissible 150mg/L).
- La teneur en sulfate est forte et très élevées par rapport à la Concentration Maximal Admissible (400mg/L).
- La concentration en chlorure présente des concentrations conformes à la norme de potabilité (500mg/L).
- La concentration d'ammonium enregistré est conforme aux normes.
- Les teneurs en nitrites et nitrates sont inférieures aux normes de potabilité (pour les nitrites 0,1mg/L et les nitrates est de 50mg/L).

- La valeur de phosphates est d'autant faible voire nulle, elle répond aux normes algériennes (0,5 mg/L).
- La concentration de la silice dépasse les normes avec une valeur de 15 mg/L.

On peut remarquer que la teneur des certaines concentrations sont supérieures aux normes, ce qui nous permis de dire que cette eau est non- potable.

Tableau 7 : Classification des eaux selon les normes algérienne et de l'OMS

Nom de forage	Unité	Normes de l'OMS	Normes Algériennes	Kerzouta
Date de prélèvement				07/07/2019
pH		6,5- 9,5	6,5-8,5	6,84
conductivité	µs/cm	Pas de Nomes	2880	2650
Turbidité	NTU	5	5	4
dureté	°F	200	200	130
Ca²⁺	(mg/l)	/	200	223
Mg²⁺	(mg/l)	/	150	181
NH₄⁺	(mg/l)	0,5	0,5	0,09
Cl⁻	(mg/l)	250	500	225
SO₄²⁻	(mg/l)	500	400	639
NO₂⁻	(mg/l)	0,2	0,1	0,09
NO₃⁻	(mg/l)	50	50	12
PO₄³⁻	(mg/l)	/	0,5	0,02
SiO₂⁻	(mg/l)	/	10	15,6
HCO₃⁻	(mg/l)	de 10 à 35	/	259
Potabilité des eaux				Non potable

CONCLUSION GENERALE

Ce travail avait pour objectifs de synthétiser les travaux de forage Kerzouta (El Gor) qui se situe dans le bassin versant de la haute des Mekkara et de présenter toutes les étapes de foration.

Notre zone d'étude se caractérise par une irrégularité de précipitation sous un climat semi-aride. Durant les 15 années s'étalant de 2000 à 2014, la précipitation moyenne interannuelle est de 419.9mm avec le mois le plus pluvieux est le mois de novembre avec une valeur de 58,24 mm.

La géologie de la région d'étude est caractérisée par des dépôts allant du Jurassique supérieur au Quaternaire. Il s'agit en grande partie de terrains argilo-gréseux, parfois carbonatés de perméabilité variable. Les fortes perméabilités se rencontrent dans les formations de l'Hauterivien (membre calcaréo-gréseux de « Zégla D ») et du Barrémien (grès de Berthelot) qui constituent les principaux aquifères en exploitation.

Le forage de Kerzouta a été fait selon les prescriptions techniques suivantes : ils ont commencé par la réalisation d'un avant puits de 24 pouces de diamètre, afin de réaliser le forage de reconnaissance 13 pouce et de 350m de profondeur.

L'examen du cuttings qui a permis d'établir la coupe lithologique du forage, et l'interprétation des résultats de la diagraphie a permis de préciser les niveaux productifs. C'était avéré que le forage capte principalement les grès de Berthelot. En fonction des résultats de la diagraphie, les ingénieurs ont établis d'un plan d'équipement du forage (tubage et de gravillonnage massif du gravier). Le développement à l'air lift avec un compresseur de 35 Bar, et à la fin les essais de puits exécuté sur le forage nous ont permis de déterminer une transmissivité égale à $2.4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

L'étude des analyses chimiques des eaux souterraines de la région d'El Gor a été réalisée en utilisant les données de 2019/2020 relevés toutes au niveau de l'ANRH. Ces données comportent un manque de teneur en sodium et potassium. La vérification de la fiabilité des analyses à révéler que seuls les résultats de 07/2019 sont acceptables. Notre étude hydrochimique se base sur la comparaison de ces données physico-chimiques disponibles avec les normes de potabilité algériennes et celle de l'OMS.

Le traitement de ces résultats a démontré que : du point de vue minéralisation, les eaux souterraines présentent une minéralisation excessive. La dureté des eaux sont très dures. Les éléments polluants (nitrite, nitrate et phosphate) se trouvent en faible teneur voire nulle en

revanche les éléments majeurs calcium, magnésium, sulfate, silice, et bicarbonate dépassant les normes de potabilité algériennes (concentration maximale admissible).

La non-potabilité de cette eau a poussé les responsables de ne pas l'utiliser pour la consommation humaine.

Suite à nos résultats, nous recommandons un suivi périodique de tous paramètres hydrochimiques afin de d'identifier l'origine de la minéralisation et un éventuel traitement de ces eaux. Ainsi qu'il est possible d'utiliser cette eau en la mélangeant (aux niveaux des châteaux d'eau) avec d'autre source d'eau (l'eau de dessalement) afin d'équilibrer sa minéralisation.

Bibliographie

- Auclair D, Biehler J (1967)** Etudes géologiques des hautes plaines oranaises entre Tlemcen et Saïda. Publ Serv Géol Algérie Ann Ser 34:3–45
- Benest, M. (1985)** Evolution de la plate-forme de l'Ouest Algérien et du Nord-Est Marocain au cours du Jurassique supérieur et au début du Crétacé: Stratigraphie, milieux de dépôts et dynamique sédimentaire. Thèse de doctorat, Documents Laboratoire Géologique Lyon, 381 p.
- Bouderba Dj. et al, 2008** : Forage, poster et rapport de stage de terrain, L3, hydrogéologie. Département STU, Tlemcen.
- Castany J. 2022** : Hydrogéologie principes et méthodes
- Chikhaoui N. D. 2020** : L'évaluation des moyens de production des céréales dans la région d'El Gor-Wilaya de Tlemcen. Master de l'université de Tlemcen
- Collignon B. 1986.** Hydrogéologie appliquées des aquifères karstiques des Monts de Tlemcen
- Ganjous D., (1995)** La pollution des milieux aquatiques, 2eme Edition : Lavoisier.
- Gaujour, D., (1995).** La pollution des milieux aquatiques : Aide-mémoire. 2eme édition Lavoisier.
- Halouche B.** Bassin versant de la haute Mekerra (NW ALGERIEN) : hydrologie, géochimie et pollution <https://www.lenntech.fr/francais/ammonium-environnement.htm#ixzz6Px7IC662>).
- Jean J.C., (2002).** La dégradation de la qualité de l'eau dans le réseau, Paris.
- JORA., 2011** : Décret exécutif n° 11-125 du 22 mars 2011 relatif : à la qualité de l'eau de consommation humaine, Journal Officiel De La République Algérienne N° 18 du 23 Mars 2011.
- JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N°18, (2011),** Décret exécutif n 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif la qualité de l'eau de consommation humain. 18 Rabie Ethani 1432, 23 mars 2011.
- Lenntech.** Normes de l'OMS sur l'eau potable - Lenntech. [En ligne]. Disponible sur **Meddi M.,**
- Meddi et al 2009, Semari K., 2016** ; Forme des lits pour les cours d'eau du bassin versant de la Macta, thèse de doctorat de l'université de Mascara.

OMS, (1994) : Directives de qualité pour les eaux de boissons. Volume 1. 2ème Ed.

OMS, (2017) : Directives de qualité pour l'eau de boisson : 4e éd. Intégrant le premier additif, 564p

Paquin J.L., Blok J.C., Haudidier K. (1992) : Effet du chlore sur la colonisation bactérienne d'un réseau expérimental de distribution d'eau, Edition : Revue de sciences de l'eau, N°4.

Potelon J. E., Zysman K. (1998), Guide des analyses de l'eau potable, Ed. « La lettre du cadre territoriale ». S.E.R.T. Dossier d'expert, France.

Rodier, J., (2009) : L'analyse de l'eau. 8eme édition.

Talia A. et Martin C., 2009 : Évolution récente des conditions climatiques et des écoulements sur le bassin versant de la Macta (Nord-Ouest de l'Algérie) <https://doi.org/10.4000/physio-geo.686>

Vrba, J. et Zaporozec, A. (1994): Guide book on mapping groundwater vulnerability. IAH, Vol. 1, pp131.

Annexe

Annexe n° : Essai de pompage du forage Kerzouta

Date	Heures	Min	Total(Min)	N.D(m)	Débit (l/s)	Observation
05/07/2019	13	5				Essai de pompage
	13	6	1	38,5	45	
	13	7	2	37,5		
	13	8	3	37,18		
	13	9	4	37,1		
	13	10	5	37		
	13	11	6	36,8		
	13	12	7	36,8		
	13	13	8	36,9		
	13	14	9	36,9		
	13	15	10	36,85		
	13	20	15	36,85		
	13	25	20	37		
	13	30	25	36,85		
	13	35	30	37,15		
	13	40	35	37,3		
	13	45	40	37,3		
	13	50	45	37,3		
	13	55	50	37,4		
	14	0	55	37,6		
	14	5	60	37,4	45	
	14	15	70	37,4		
	14	25	80	37,4		
	14	35	90	37,44		
	14	45	100	37,45		
	14	55	110	37,45		
	15	5	120	37,45		
	15	20	135	37,5		
	15	35	150	37,5		
	15	50	165	37,55		
	16	5	180	37,6		
	16	35	210	37,65		
	17	5	240	37,7		
	18	5	300	38,4		
	19	5	360	38,5		
	20	5	420	38,5		

	21	5	480	38,8		8
	22	5	540	39		
	23	5	600	39,2		
06/07/2019	0	5	660	39,4	45	Essai de pompage
	1	5	720	39,7		
	2	5	780	40		
	3	5	840	40,35		
	4	5	900	40,4		
	5	5	960	40,4		
	6	5	1020	40,4		
	7	5	1080	40,4		
	8	5	1140	40,4		
	9	5	1200	40,6		
	10	5	1260	40,6		
	11	5	1320	40,9		
	12	5	1380	40,9		
	13	5	1440	41		
	14	5	1500	41		
	15	5	1560	40,8		
	16	5	1620	41		
	17	5	1680	41,2		
	18	5	1740	41,3		
	19	5	1800	40,3		
	20	5	1860	40,7		
	21	5	1920	40,3		
	22	5	1980	40,1		
	23	5	2040	40,5		
07/07/2019	0	5	2100	40,5	45	Essai de pompage
	1	5	2160	40,7		
	2	5	2220	40,7		
	3	5	2280	40,5		
	4	5	2340	40,3		
	5	5	2400	40,9		
	6	5	2460	41		
	7	5	2520	41		
	8	5	2580	41		
	9	5	2640	41,1		
	10	5	2700	41,2		
	11	5	2760	41,3		
	12	5	2820	41,3		

	13	5	2880	41,35		
	14	5	2940	41,5		
	15	5	2000	41,3		
	16	5	3060	41,4		
	17	5	3120	41,4		
	18	5	3180	41,4		
	19	5	3240	41,4		
	20	5	3300	41,4		
	21	5	3360	41,4		
	22	5	3420	41,4		
	23	5	3480	41,4		
08/07/2019	0	5	3540	41,4	45	Essai de pompage
	1	5	3600	41,4		
	2	5	3660	41,4		
	3	5	3720	41,4		
	4	5	3780	41,4		
	5	5	3840	41,4		
	6	5	3900	41,45		
	7	5	3960	41,45		
	8	5	4020	41,45		
	9	5	4080	4150		
	10	5	4140	4160		
	11	5	4200	4160		
	12	5	4260	4160		
	13	5	4320	4160		
08/07/2019	13	6	4321	3200	44	remonte
	13	7	4322	3120		
	13	8	4323	3010		
	13	9	4324	2990		
	13	10	4325	2970		
	13	11	4326	2926		
	13	12	4327	2950		
	13	13	4328	2940		
	13	14	4329	2930		
	13	15	4330	2920		
	13	20	4335	2890		
	13	25	4340	2875		
	13	30	4345	2850		
	13	35	4350	2840		
	13	40	4355	2820		

	13	45	4360	2800
	13	50	4365	2785
	13	55	4370	2770
	14	0	4375	2765
	14	5	4380	2740
	14	35	4410	2705
	15	5	4440	2640
	15	35	4470	2615
	16	5	4500	2580
	16	35	4530	2545
	17	5	4560	2530
	18	5	4620	2524
	19	5	4680	2513
	20	5	4740	2512
	21	5	4800	2510
	22	5	4860	2404
	23	5	4920	2487
09/07/2019	0	5	4980	2481
	1	5	5040	2496
	2	5	5100	2489
	3	5	5160	2470
	4	5	5220	2497
	5	5	5280	2490
	6	5	5340	2487
	7	5	5300	2460
	8	5	5460	2487
	9	5	5520	2470
	10	5	5520	2470
	10	5	5580	2468
	11	5	5640	2485
	12	5	5700	2483
	13	5	5760	2483
	14	5	5820	2482
	15	5	5880	2482
	16	5	5940	2480
	17	5	6000	2480
	18	5	6060	2480
	19	5	6120	2480
	20	5	6180	2480
	21	5	6240	2478

	22	5	6300	2478
	23	5	6360	2478
10/07/2019	0	5	6420	2478
	1	5	6480	2476
	2	5	6540	2476
	3	5	6600	2475
	4	5	6660	2474
	5	5	6720	2474
	6	5	6780	2473
	7	5	6840	2471
	8	5	6900	2470
	9	5	6960	2470
	10	5	7020	2470
	11	5	7080	2470
	12	5	7140	2470
	13	5	7200	2470

Annexe 04 : Devis quantitatif, estimatif et programme des travaux de forage

Désignation des travaux	unité	quantité	Prixunitaire	Montrant En DA
PHASE INSTALLATION CHANTIER				
01/ Amenée et installation du chantier	U	1	800 000.00DA	800 000.00
02/ Confection et construction plate-forme	U	1	200 000.00DA	200 000.00
03/ Démontage et rempli de chantier	U	1	600 000.00DA	600 000.00
PHASE FORAGE				
04/ Construction de l'avant puits en diamètre 30'' avec tube guide en 24''	ML	10	70 000.00DA	700 000.00
05/ Forage de reconnaissance en diamètre 8'' ½	ML	340	12 000.00DA	4 080 000.00
06/ Forage en diamètre 12'' 1/4	ML	340	3 000.00DA	1 020 000.00
07/ Alésage du forage en diamètre 17'' 1/2	ML	340	4 000.00DA	1 360 000.00
08/ Amenée et repli matériel de diagraphie électrique	U	1	50 000.00DA	50 000.00
09/ Enregistrement de diagraphie électrique	ML	340	2 500.00DA	850 000.00
PHASE EQUIPEMENT				
10/ Fourniture et pose tube plein 13'' 3/8 API	ML	150	20 000.00DA	3 000 000.00

11/ Fourniture et pose tube lanterné 13” 3/8 API	ML	200	22 000.00DA	4 400 000.00
12/ Fourniture et mise en œuvre de la cimentation gravitaire	M3	05	25 000.00DA	125 000.00
PHASE DEVELOPPEMENT				
13/ Fourniture et mise en place du gravier siliceux	M3	25	10 000.00DA	250 000.00
14/ Mise à disposition du chantier				
Avec force motrice	H	150	100.00DA	15 000.00
Sans force motrice	H	50	50.00DA	2 500.00
15/ Traitement à l’Héxamétaphosphate	KG	300	500.00DA	150 000.00
16/ Mise à disposition pour essai de pompage	U	1	100 000.00DA	100 000.00
Pompage effectif à la pompe	H	150	100.00DA	15 000.00
Observation de la remontée	H	48	50.00DA	2 400.00
17/ Visionnage par endoscopie	ML	350	200.00DA	70 000.00
18/ Fermeture standard du forage	U	1	80 000.00	80 000.00

Résumé

L'objectif de cette étude consiste à synthétiser les travaux de forage d'El Gor situé dans le bassin versant de la haute des Mekkera au Sud-Est des Monts de Tlemcen, en présentant toutes les étapes de foration ; réalisation du forage de reconnaissance, alésage, équipement de forage (tubage, crépine et massif filtrant), développement, et vérification par endoscopie.

Nous avons utilisé les études géologiques, hydrogéologiques et le passeport du forage afin de détailler et reconstituer les différentes étapes de la foration. Cette région est semi - aride, avec une précipitation moyenne interannuelle est de 419.9mm. Les formations jurassiques et crétacées couvrent majoritairement notre zone d'étude, dont la formation gréseuse de Berthelot forme l'aquifère le plus exploité.

Les travaux de foration durent un an et demi, commencent par l'étude d'implantation basée sur les images satellitaires, puis la réalisation du forage de reconnaissance d'une profondeur de 350m et l'interprétation de la diagraphie révèlent des venues d'eau, à partir de 23m de profondeur, des formations gréseuses (Fr. de Berthelot) et les bancs calcaires (Fr. ZeglaD).

Ce forage a donné un débit de 10L/s. L'étude sur l'évaluation de la qualité des eaux souterraine est basée sur la comparaison des données physico - chimiques avec les normes de potabilité algériennes (JORA 2011) et celle de l'OMS (2017). Cette étude montre une dissemblance d'analyse avec les normes de potabilité, qui présente des valeurs en calcium, magnésium, sulfate, silice, et de bicarbonate dépassant les normes.

Mots clés :

Implantation de forage, étapes de foration, passeport de forage, Kerzouta, el Gor

Abstract

The objective of this study consists in synthesizing the drilling operation of El Gor located in the watershed of the high Mekkera in the southeast of the mountains of Tlemcen, by presenting all the stages of drilling; carrying out exploration drilling, reaming, drilling equipment (casing, screen and gravel pack), development, and inspection by endoscopy. We used the geological and hydrogeological studies and the drilling passport in order to detail and reconstruct the different stages of the drilling.

This region is semi-arid, with an average interannual precipitation of 419.9mm. The Jurassic and Cretaceous formations mainly cover our study area, of which the Berthelot sandstone formation forms the most exploited aquifer.

The drilling operation lasts a year and a half, begins with the implantation study based on satellite images, then the realization of the exploration drilling to a depth of 350m and the interpretation of the logging reveal water occurrences, from 23m depth, sandstone formations (Fr. de Berthelot) and limestone beds (Fr. Zegla D) . This drilling gave a flow rate of 40L/s.

The study on the evaluation of groundwater quality is based on the comparison of physico-chemical data with Algerian portability standards (JORA 2011) and that of WHO (2017). This study shows a dissimilarity of analysis with portability standards, which present values of calcium, magnesium, sulphate, silica, and bicarbonate exceeding the standards.

Key Word :

Drilling implantation, stages of drilling, the drilling passport, Kerzoutta, el Gor

ملخص

يتمثل الهدف من هذه الدراسة في تجميع أعمال حفر البئر العميقة الواقعة في متجمعات المياه في أعالي مكارة في جنوب جبال تلمسان، من خلال عرض جميع مراحل الحفر. تنفيذ عمليات الحفر الاستكشافية، والتوسيع، ومعدات الحفر (الانابيب، والمصفاة، وحزمة الحصى)، والتطوير، والتفتيش عن طريق الفحص الداخلي. استخدمنا الدراسات الجيولوجية والهيدروجيولوجية وملخص الحفر من أجل تفصيل وإعادة بناء مراحل الحفر المختلفة. هذه المنطقة شبه قاحلة، ويبلغ متوسط هطول الأمطار فيها 419.9 ملم. تغطي التكوينات الجوراسية والطباشيرية بشكل أساسي منطقة دراستنا، والتي يشكل التكوين الجيولوجي الرملي (برتلوت) طبقة المياه الجوفية السطحية الأكثر استغلالاً.

استمر أعمال الحفر لمدة عام ونصف، تبدأ بدراسة التفتيش واختيار مكان الحفر بناءً على صور الأقمار الصناعية، ثم تحقيق الحفر الاستكشافي على عمق 350 مترًا وتفسير التسجيل (دياكرافي) الذي يكشف عن وجود المياه على عمق 23 مترًا، من تكوينات الحجر الرملي (برتلوت).

أعطى هذا الحفر معدل تدفق 40 لتر / ثانية. تعتمد الدراسة الخاصة بتقييم جودة المياه الجوفية على مقارنة البيانات الفيزيائية والكيميائية مع معايير القابلية للشرب الجزائرية (جورا 2011) وتلك الخاصة بمنظمة الصحة العالمية 2017. تُظهر هذه الدراسة تبايناً في التحليل مع معايير القابلية للشرب، والتي تقدم قيمًا للكالسيوم والمغنيسيوم والكبريتات والسيليكا والبيكربونات التي تتجاوز المعايير.

الكلمات المفتاحية : خطوات الحفر، تركيب البئر، جواز الحفر، كرزوتة، الغور

