



République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة الجيلاي بونعامة خميس مليانة
Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana
Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre
Département d'hydrogéologie.

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention d'un diplôme de **Master** en

Domaine : Sciences de la Terre

Filière : Géologie appliquée

Spécialité : Hydrogéologie

Approche méthodologique pour l'implantation d'un forage dans la plaine du haut Cheliff et suivi des différentes étapes de sa réalisation

Présenté par :

- *Djemmal Walid*
- *Djellal Hala Fayrouz*

Devant le jury :

Président :	Mme. HADJ MOHAMED Nacera	MCB	UDBKM
Promoteur :	Mr. SAID Ramdane	MAA	UDBKM
Examineur :	Mr. GHARBI Ben Youcef	MCB	UDBKM

Année universitaire : 2021 /2022

Remerciements

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de **Mr Saïd Ramdan**, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nos remerciements s'adressent à **Mme Hadj Med Nacera**, pour son aide pratique et son soutien moral et ses encouragements.

Nos remerciements s'adressent également à tous nos professeurs surtout **Mr Gharbi, Mr Sadeuk, Mr Ben Saada, Mr Zerrouki, Mme MESSELMi Hayat, Mr Hassen, Mr Saadoun** pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail A :

Mes chers parents, qui sont à l'origine de mon existence, qu'ALLAH les protège,
Ils m'ont soutenu le long de l'élaboration de ce travail.

Ma très chère mère mon modèle à suivre qui m'a entouré d'amour et de tendresse
et m'a appris la patience et le défi.

Mon très cher père qui m'encouragé et conseillé pendant mes plus pénibles
moments et qui m'a guidé vers le droit chemin.

Mon cher frère **Youcef** et ms chères sœurs **Hanaa** et **Meriam**.

Tous les membres de la famille :« Djemmal » et « **Timtaoucine** ».

A mon cher frère qu'on a perdu récemment mon cousin **Ali Ousalah Amine** que
Dieu lui fasse miséricorde.

A mes chers amis **Abderahmen, Aymen, Krimou, Sofiane, Abdelkader, Hala,**
Sarah et IKram Nour el koloub .

Djemmal Walid

Dédicace

C'est avec profonde gratitude et sincères mots, que Je dédie ce modeste travail de
fin d'étude à

Mes chers parents ; qui ont sacrifié leur vie pour notre réussite et nous ont éclairé
le chemin par leurs conseils judicieux. Espérons qu'un jour, je pourrais leurs rendre
un peu de ce qu'ils ont fait pour moi, que dieu leur prête bonheur et longue vie.

Je dédie aussi ce travail à mes frères et sœurs, ma famille, mes amis (**Azibar Nour
el koloub Djemmel walid**),

Tous nos professeurs qui nous ont enseigner et à tous ceux qui nous sont chers.

Djellal Hala Fayrouz

Résumé

La faible pluviométrie constatée ces dernières années dans la région du haut Cheliff a vu les capacités de stockage des eaux de surface dans les barrages considérablement réduites. Devant cette contrainte les autorités compétentes ont eu recours à la réalisation de nouveaux forages pour satisfaire les besoins en eau des populations. C'est ainsi qu'un forage a été programmé pour alimenter le village de Bir Ouled Khelifa situé dans la plaine alluviale du haut Cheliff.

Dans le cadre de cette étude nous nous sommes proposé d'apporter notre contribution pour l'identification des aquifères de la région afin de choisir un site hydrogéologiquement favorable pour la réalisation de ce forage. A ce titre, nous avons également participé et assister aux différentes phases de réalisation de cet ouvrage. Dans le cadre de ce suivi nous avons pu proposer un programme d'équipement tubulaire sur la base de la description des cuttings et de l'interprétation des diagraphies. Le dimensionnement du massif de gravier et des slots des ouvertures des crépines a été également réalisé en interprétant une courbe granulométrique des échantillons de cuttings. Le programme de développement et du traitement chimique du forage et des essais de pompage a été également proposé par nos soins avant de mettre sa mise en production.

Mots clés : forage, plaine du Haut Cheliff, mude cake, cuttings, rotary, tube guide, crépiné

ملخص

أدى انخفاض هطول الأمطار الذي لوحظ في السنوات الأخيرة في منطقة شلف العليا إلى انخفاض كبير في قدرات تخزين المياه السطحية في السدود.

وأمام هذا العائق، لجأت الجهات المختصة إلى حفر آبار جديدة لتلبية احتياجات السكان من المياه. هكذا تمت برمجة بئر لتزويد قرية بير أولاد خليفة الواقعة في السهل الغربي لشليف العلوي.

كجزء من هذه الدراسة، اقترحنا تقديم مساهمتنا في تحديد طبقات المياه الجوفية في المنطقة من أجل اختيار موقع مناسب هيد وجيولوجيا لتحقيق هذا الحفر. على هذا النحو، شاركنا أيضًا وساعدنا في مختلف مراحل بناء هذا العمل. كجزء من هذه المتابعة، تمكنا من اقتراح برنامج معدات أنبوبية بناءً على وصف القطع وتفسير السجلات، تم أيضًا قياس أبعاد كتلة الحصى وفتحات فتحات المصافي من خلال تفسير منحني قياس حبيبات عينات القطع، كما تم اقتراح برنامج التطوير والمعالجة الكيميائية لاختبارات الحفر والضخ من قبلنا قبل طرحه في الإنتاج.

الكلمات المفتاحية: كعكة طينية، قصاصات، دارة، أنبوب توجيه، مصفاة.

Abstract

The low rainfall in the Upper Cheliff region in recent years has reduced the capacity of surface water storage in dams considerably.

Faced with this constraint, the competent authorities have resorted to the realization of new boreholes to satisfy the water needs of the populations. For example, a drill has been programmed to feed the village of Bir Ouled Khelifa located in the alluvial plain of the upper Cheliff.

As part of this study, we proposed to make our contribution to the identification of the aquifers of the region in order to choose a hydrogeologically favourable site for the realization of this drilling. As such, we also participated in and attended the various phases of realization of this book. As part of this follow-up, we were able to propose a tubular equipment program based on the description of cuttings and the interpretation of the logs. The sizing of the gravel bed and slots of the strainer openings was also achieved by interpreting a particle size curve of the cuttings samples. The development and chemical treatment programmed for drilling and pumping tests was also proposed by us before it was put into production.

Mots clés: mude cake, cuttings, rotary, guide tube, liner.

Sommaire

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction générale.....	1
I.1 INTRODUCTION	4
I.2 SITUATION DE LA ZONE D'ETUDE.....	4
I.3 CONTEXTE GÉOMORPHOLOGIQUE	5
I.4 APERÇU CLIMATIQUE	7
I.4.1 Le climat	7
I.4.2 Température	7
I.4.3 Précipitations	8
I.4.4 Bilan hydrologique	9
I.4.5 Conclusion	9
I.5 ETUDE GEOLOGIQUE.....	10
I.5.1 Cadre géologique générale (Situation dans le contexte alpin)	10
I.5.2 Contexte géologique régional	11
I.5.3 Conclusion	19
I.6 IDENTIFICATION DES AQUIFÈRES	22
I.6.1 Introduction.....	22
I.6.2 Géométrie des aquifères.....	22
I.6.3 CARACTÉRISTIQUES HYDRODYNAMIQUES.....	29
I.6.4 INVENTAIRE DES POINTS D'EAU DE LA PLAINE DU HAUT CHÉLIF	29
I.7 COMPORTEMENT PIEZOMETRIQUE.....	29
I.8 QUALITE DES EAUX DU HAUT CHELIFF.....	31
I.9 CONCLUSION	31
I.10 IMPLANTATION DU FORAGE	33
I.10.1 Critère géologique.....	33
I.10.2 Critère relatif à l'Alimentation de la nappe.....	33
I.10.3 Critères hydrogéologiques	34
I.10.4 Critère géophysique	35
I.10.5 Critères environnementaux	36
I.10.6 Conclusion	37

II	Suivi des travaux de réalisation du forage	39
II.1	INTRODUCTION	39
II.2	OBJECTIF DU FORAGE.....	39
II.3	ORGANISATION DU CHANTIER DU FORAGE.....	39
II.4	PROGRAMME PREVISIONNEL DU FORAGE	40
II.5	CHOIX DE LA METHODE DE FORAGE	40
II.5.1	La technique rotary	41
II.5.2	Les avantages du forage au rotary	43
II.5.3	La boue du forage.....	43
II.5.4	Tube guide.....	46
II.5.5	Forage de reconnaissance.....	46
II.6	ELARGISSAGE DU TROU.....	52
II.7	EQUIPEMENT TUBULAIRE	52
II.7.1	Plans de tubage	52
II.7.2	Programme des crépines.....	52
II.7.3	Position des crépines.....	53
II.8	DIMENSIONNEMENT DU MASSIF DE GRAVIER	56
II.8.1	Définition et rôle	56
II.8.2	Essai granulométrique et tracé de la courbe granulométrique	56
II.8.3	Dimensionnement du massif de gravier	57
II.9	DEVELOPPEMENT DU FORAGE.....	59
II.9.1	Généralités	59
II.9.2	Procédés utilisés.....	60
II.9.3	Traitement chimique.....	63
II.10	LES ESSAIS DE POMPAGE.....	64
II.10.1	Généralités	64
II.10.2	Objectifs des essais de pompage	64
	Conclusion générale	71
	Références bibliographiques.....	74

Liste des tableaux

Partie 01 : Synthèse hydrogéologique

Tableau I-1 : Paramètres géométriques et physiographiques du bassin versant du haut Cheliff (Oued Cheliff Harraza).....	6
Tableau I-2 : données hypsométriques du bassin versant du haut Cheliff.....	7
Tableau I-3 : Précipitations moyennes annuelles (1995-2017).....	8
Tableau I-4 : bilan hydrogéologique.....	9
Tableau I-5 : des échelles de la résistivité.....	23

Partie 02 : Suivi des travaux de réalisation du forage

Tableau II-1 : programme d'équipement tubulaire.....	54
---	----

Liste des figures

Partie 01 : Synthèse hydrogéologique

Figure I-1 : Carte de situation géologique de plan alluviale du haut Cheliff et de Khemis Miliana.....	5
Figure I-2 : courbe hypsométrique du bassin versant du Haut Cheliff.	6
Figure I-3 : Histogramme des Températures moyennes mensuelles.....	8
Figure I-4 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles enregistrées à la station de Harraza (1995-2017).....	8
Figure I-5 : histogramme des précipitations moyennes annuelles (station de Harraza, 1968-2017 (ANRH).	9
Figure I-6 : position des différentes unités géologiques des maghreb des (d'après dom zig .2006).....	10
Figure I-7 : Carte géologique simplifiée de la plaine du Haut Cheliff au 1/50.000 (Touhari,2016).	11
Figure I-8 : Coupe géologique interprétative transversale de la plaine du Haut Cheliff. (Touhari,2016).	12
Figure I-9 : log litho stratigraphique de la région du haut cheliff (Mattaouer).	17
Figure I-10 : carte géologique de la plaine du Haut Cheliff.....	21
Figure I-11 : Coupes géo électriques ‘‘CA’’ et ‘‘CK’’ (CGG, 1969).....	24
Figure I-12 : Coupe géo électriques ‘‘A-CN’’ et ‘‘J-CS (CGG, 1969).....	25
Figure I-13 : Coupe géo électrique de la plaine de Khemis Miliana (ANRH Khemis miliana).	26
Figure I-14 : carte des résistivités apparentes en ligne ab=300 m (Messelmi.H).....	27
Figure I-15 : carte iso pâque du niveau résistant quaternaire.....	28
Figure I-16 : carte d’inventaire des points d’eau de la plaine de Khemis Miliana.	30
Figure I-17 : Carte piézométrique de la nappe alluviale du Haut-Chélif (Période des hautes eaux : juin 2013) (Reicha, 2016).....	31
Figure I-18 : extrait de la carte géologique de la feuille de Miliana au 1/50000 illustrant la situation du forage projeté (la légende de la carte est représentée sur la figure).....	33
Figure I-19 : extrait de la carte hydrogéologique au 1/200000 de la région de Blida (INERGAPROJEKT, 2008).	34
Figure I-20 : configuration géométrique des aquifères illustrés par la coupe géo électrique CH passant par la zone d’étude et implantation du forage.	36

Figure I-21 : Extrait d'image satellitaire illustrant la situation du forage implanté par rapport au cours d'eau d'oued Cheliff.	37
--	----

Partie 02 : Suivi des travaux de réalisation du forage

Figure II-1 : Conception d'une organisation d'un chantier de forage.....	39
Figure II-2 : Schéma simplifié résumant les différentes phases de réalisation du forage.....	40
Figure II-3 : Schéma simplifié illustrant le mode de circulation de la boue dans le trou du forage.	42
Figure II-4 : Croquis des différents outils de forage.	42
Figure II-5 : Schéma simplifié illustrant les bassins de boue.	46
Figure II-6 : outil de forage 12''1/4 (photo prise sur le chantier.	47
Figure II-7 : prélèvement des cuttings.	48
Figure II-8 : Treuil	49
Figure II-9 : Boîtier de commande et de digitalisation de l'équipement Mount Sopris.	49
Figure II-10 : Système d'acquisition de l'équipement OYO.	49
Figure II-11 : données de la diagraphie du forage.	51
Figure II-12 : outil de forage 17'' 1/2 (photo pris sur le chantier).....	52
Figure II-13 : tubage du forage (photo pris sur le chantier).....	53
Figure II-14 : coupe lithologique du forage.	55
Figure II-15 : courbe granulométrique.....	57
Figure II-16 : Equipements et dispositif de développement d'un forage à l'air lift.....	62
Figure II-17 : Courbes des rabattements en fonction des débits.	66

Liste des abréviations

ANRH : Agence Nationale Des Ressources Hydrauliques.

V : Volume.

D-d : Diamètre.

K : Coefficient.

ND : Niveau dynamique.

NS : niveau statique.

Q : débit.

TNRS : Tube noire roulé soudé.

% : Pourcentage.

°C : Degré Celsius.

CGG : Compagnie Générale de Géophysique.



Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Le forage d'eau constitue le seul moyen d'accès direct aux nappes d'eau souterraine, pouvant être implantés là où le besoin se fait sentir pour soutirer de l'eau. En Algérie, notamment dans les territoires sud, les besoins en eau pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation des terres agricoles se fait uniquement par exploitation des nappes d'eau souterraines captées par des forages.

La pérennité de ces ouvrages dépend de divers paramètres comme la qualité de l'eau extraite ou encore du mode d'exploitation, mais également de paramètres initiaux comme la technique de réalisation et la qualité des matériaux utilisés pour sa réalisation, et encore des paramètres intrinsèques de l'aquifère exploité.

La construction d'un forage est un procédé complexe. Avant de commencer le creusement, un bon site d'implantation doit être sélectionné, sur la base d'études hydrogéologiques associées aux techniques de reconnaissance par géophysique afin d'assurer une productivité de l'ouvrage. L'eau utilisée pour forer (boue ou fluide de forage) pourrait s'échapper dans le sol ou pire, le trou pourrait s'effondrer, enfouissant ainsi une partie des outils de forage. Enfin, une fois que le trou a été foré, le tubage, la crépine et les joints d'étanchéité sanitaires doivent être installés à la bonne profondeur, pour assurer un rendement suffisant et empêcher de l'eau contaminée d'y rentrer.

Le présent travail est structuré en deux parties :

Dans la première partie nous traitons une synthèse bibliographique de l'hydrogéologie de la zone d'étude situé dans la plaine du haut Cheliff, à savoir l'analyse des principales conditions climatiques et hydrologiques (précipitations, températures et écoulements), un cadre géologique, hydrogéologique et géophysique nécessaire pour la détermination des zones favorable à l'implantation du forage d'eau.

La deuxième partie est consacrée au suivi de réalisation du forage. Le suivi a été effectué par un prélèvement d'échantillons et analyse de cuttings afin d'établir la courbe granulométrique et définir les caractéristiques des crépines et du gravier additionnel.

L'interprétation de la diagraphie associée à la description des cuttings permet de préparer l'équipement tubulaire du forage, et enfin de proposer un programme de développement et traitement chimique du forage pour extraire le filtrat de boue. Les essais de pompage seront également nécessaires pour déterminer les caractéristiques de la pompe immergée qui y sera installée sur la base du calcul du débit critique déduit de l'interprétation des essais de pompage

Introduction générale

de courte durée. Les essais seront poursuivis avec un temps plus long et permettront de tracer la courbe des rabattements en fonction du temps afin d'en déduire les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe, à savoir la transmissivité, la perméabilité et le coefficient d'emménagement.



Partie 01

**Synthèse hydrogéologique de la
plaine alluviale du Haut Cheliff**

I.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous présenterons une synthèse hydrogéologique de la plaine de Khemis Miliana circonscrite dans la plaine alluviale du haut Cheliff. Cette compilation est prépondérante dans la mesure où elle permettra de circonscrire les conditions hydrogéologiques afin de choisir un site favorable pour l'implantation d'un forage d'eau destiné à l'alimentation en eau potable du village de Bir Ouled Khelifa.

Ce village est situé dans la plaine alluviale de haut Cheliff, sur la rive gauche de l'oued portant le même nom et à quelques kilomètres au sud de la ville de Khemis Miliana.

I.2 SITUATION DE LA ZONE D'ETUDE

La plaine alluviale de Khemis Miliana, distante de 120 Km au Sud-Ouest d'Alger de 25 km à l'est de Chef – lieu de la wilaya Ain Defla s'étend une superficie de 359 Km² et est limitée au Nord par les monts du Zaccar, au Sud par les contreforts de l'Ouarsenis, à l'Ouest par le massif de Doui et à l'Est par Djebel Gontas. Elle est caractérisée par une pente relativement faible ne dépassant pas 15% (Hattab. M ,1998). Elle est bordée au Nord par des cônes de déjection qui constituent la zone de transition entre la vallée et les premières collines du Djebel Zaccar.

La plaine est comprise géographiquement entre les coordonnées, 36°12' et 36°17' de latitude Nord et 2°12' et 2°17' de longitude. Cette plaine appartient à l'unité géomorphologique de la plaine du haut Cheliff limitée au Nord par les contreforts des Beni Menacer, le djebel Zaccar et le djebel Gountas ; au Sud par le versant oriental du djebel Doui et les premiers reliefs du massif de l'Ouarsenis, à l'Ouest par le seuil du Doui et à l'Est par la localité de Djendel.

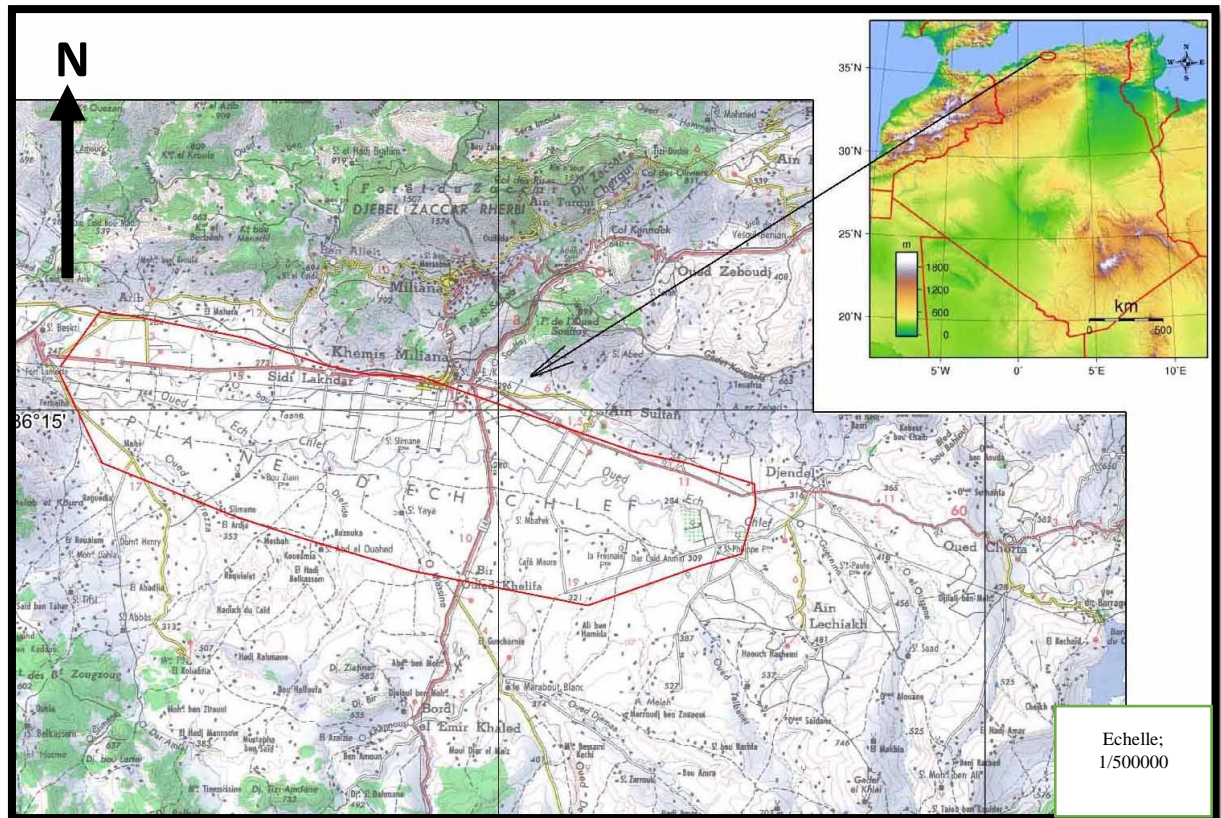


Figure II-1 : Carte de situation géologique de plan alluviale du haut Cheliff et de Khemis Miliana.

I.3 CONTEXTE GÉOMORPHOLOGIQUE

Le bassin versant est défini comme l'étendue drainée par un cours d'eau et ses affluents délimité par une ligne de partage des eaux. La plaine alluviale de Khemis Miliana est circonscrite dans le bassin versant du Haut Cheliff (Oued Cheliff Harraza).

Du point de vue hydrologique, ce bassin drainé par l'oued principal Cheliff reçoit les affluents qui constituent les zones d'alimentation de la nappe alluviale, il s'agit d'Oued Souffay, Oued Raihene, Oued Boutane dans le Nord du bassin versante Oued Dériseur, Oued Massine, Oued Djellida et Oued Harraza dans la partie Sud du bassin versant.

Les caractéristiques géomorphologiques du bassin versant du Haut Cheliff permettent de déterminer la forme et la pente de ce bassin, dans le but de déterminer la tendance à l'écoulement ou à l'infiltration des eaux. Le tableau suivant représente les différents paramètres de formes et physiographiques du bassin.

Tableau II-1 : Paramètres géométriques et physiographiques du bassin versant du haut Cheliff (Oued Cheliff Harraza).

PARAMÈTRES DE FORME	RÉSULTATS
Surface	757 km ²
Périmètre	1425
Indice de compacité de Gravilius : $Kc = 0,282 \frac{P}{\sqrt{S}}$	$Kc=1.41$
L'indice de pente globale : $IG = \Delta/L$ $\Delta = H_{5\%} - H_{95\%}$	$I_g = 8.42 \text{ m/Km}$
Indices de pente Moyenne $l_m = \frac{\Delta H}{L_r} = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{L_r}$	$I_m = 0.0145 \text{ Ou } 1.45$ $\% K = \frac{Kc \sqrt{S}}{1,12}$
Le rectangle équivalent $K = \frac{Kc \sqrt{S}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kc} \right)^2} \right]$ $K = \frac{Kc \sqrt{S}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kc} \right)^2} \right]$	$L = 89.06 \text{ Km}$ et $l = 22.15 \text{ Km}$
Dénivelée spécifique $D_s = I_g * \sqrt{S}$	$D_s = 370.4 \text{ m.}$
Les paramètres physiographiques du bassin versant	
Densité de drainage $D_d = \frac{\sum Li}{S}$	$D_d = 0.54 \text{ Km} / \text{Km}^2$
Temps de concentration des eaux : $T_c = \frac{1,5L + \sqrt[4]{S}}{0,8 \sqrt{H_{\text{moy}} - H_{\text{min}}}}$	$T_c = 20.43 \text{ heures}$
Vitesse de ruissellement : $V_r = \frac{L_p}{T_c}$	$V_r = 2,4 \text{ Km/H}$

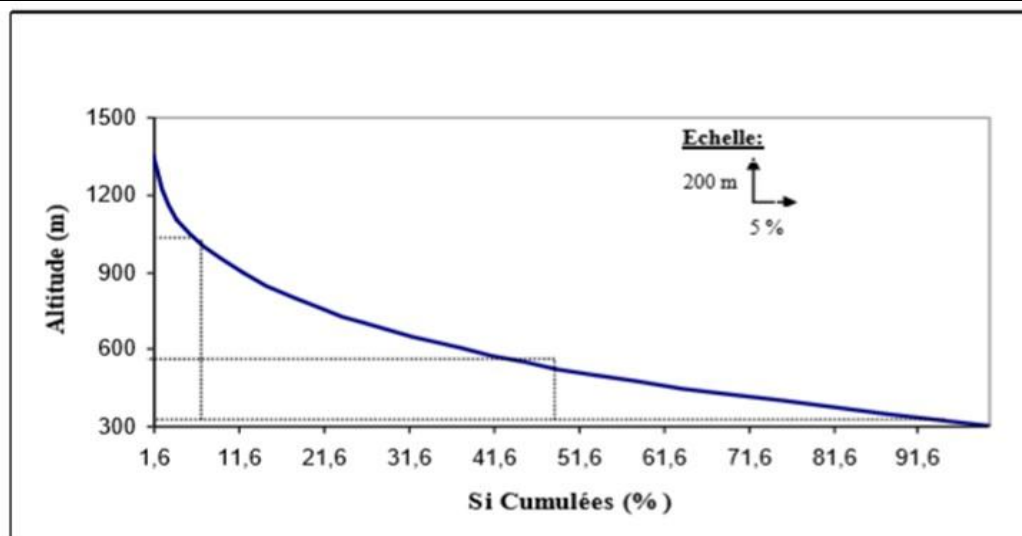


Figure II-2 : courbe hypsométrique du bassin versant du Haut Cheliff.

Tableau II-2 : données hypsométriques du bassin versant du haut Cheliff

Altitude (m)	H_{moy} (M)	Superficie Partielle		Surface Cumulée %	$H_{moy}.S_i$
		$S_i(Km^2)$	$\%S_i$		
200-400	300	898.20	46.4	100	269462.9
400-600	500	528.7	27.3	53.64	264330.2
600-800	700	277.2	14.3	26.32	194013.3
800-1000	900	148.8	7.7	12	133961.5
1000-1200	1100	51.3	2.7	4.3	56458.9
1200-1500	1350	30.8	1.6	1.6	41574.3

D'après l'étude géomorphologique, nous constatons que le bassin versant du Haut Cheliff a une forme allongée, ce qui a pour effet que le temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire est plus important et par conséquent l'infiltration s'accroît. Aussi, le bassin a une pente faible ce qui favorise également l'infiltration des eaux.

I.4 APERÇU CLIMATIQUE

I.4.1 Le climat

La zone d'étude est caractérisée par un climat méditerranéen semi-aride avec des étés chauds et secs, des printemps courts (avril à mai), des automnes très courts en octobre et des hivers pluvieux et frais (**Claus R, 1972**).

I.4.2 Température

La température est le second facteur important dans l'étude climatique car elle agit directement sur le phénomène de l'évapotranspiration et par conséquent le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. Les températures utilisées se rapportent aux stations (Harreza, Khemis Miliana et Ain Defla) durant les huit années d'observation (2002-2010).

On observe que les températures mensuelles varient de la même façon au niveau des trois stations. Les minimas sont enregistrés pendant les mois janvier et février (9.6 à 10.8mm) et les maximas pendant les mois de juillet et août avec des valeurs respectives de 30 et 29.1mm. La température moyenne annuelle pour les trois stations est de 18,5°C.

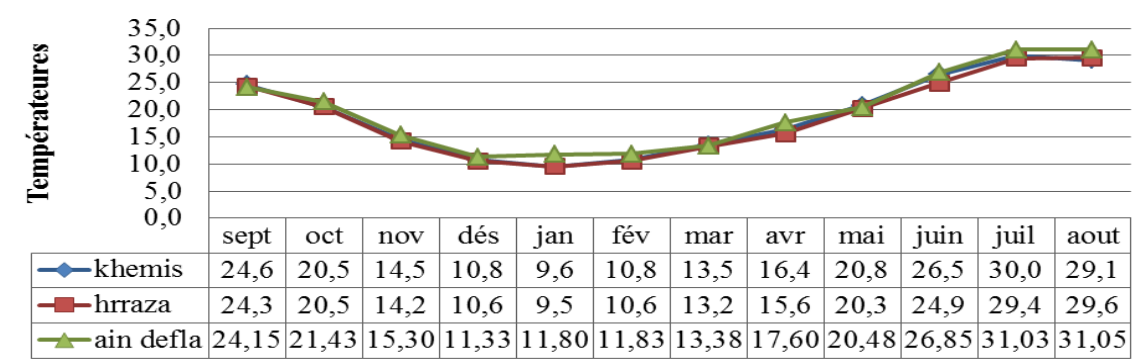


Figure II-3 : Histogramme des Températures moyennes mensuelles.

I.4.3 Précipitations

I.4.3.1 Précipitations mensuelles

La région de khemis Miliana est caractérisée par une pluviométrie annuelle très variable. En effet comme l'illustre la figure ci-dessous on remarque qu'il y a une fluctuation dans la distribution moyenne mensuelle des précipitations, dont les mois les plus pluvieux sont ceux de Janvier, Février et Mars avec une moyenne mensuelle de l'ordre de 51mm.

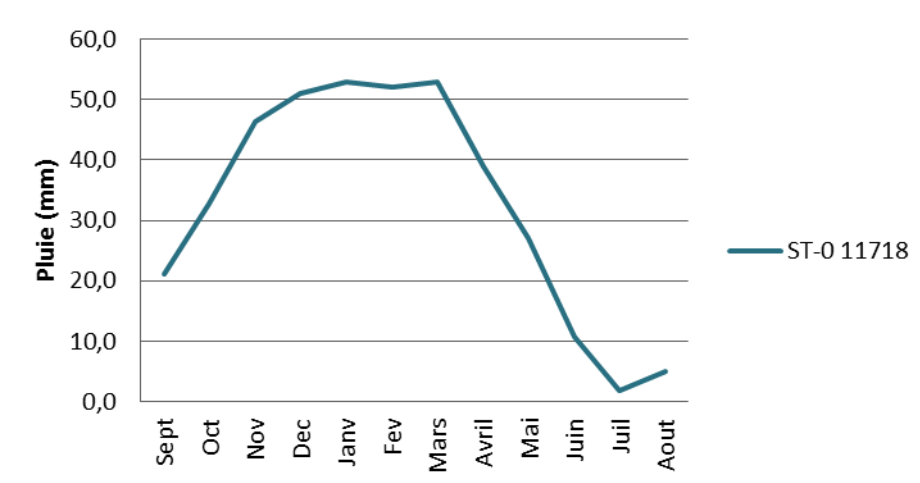


Figure II-4 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles enregistrées à la station de Harraza (1995-2017).

I.4.3.2 Précipitations annuelles

Les hauteurs des pluies moyennes annuelles enregistrées au niveau de de la station de Harraza pour 23 ans d'observations ont permis d'établir l'histogramme suivant (figure 5).

Tableau II-3 : PRÉCIPITATIONS MOYENNES ANNUELLES (1995-2017).

Station	Code de la station	X(UTM) (m)	Y(UTM) (m)
Barrage Harraza	01-17-18	429117.86	4005470.14

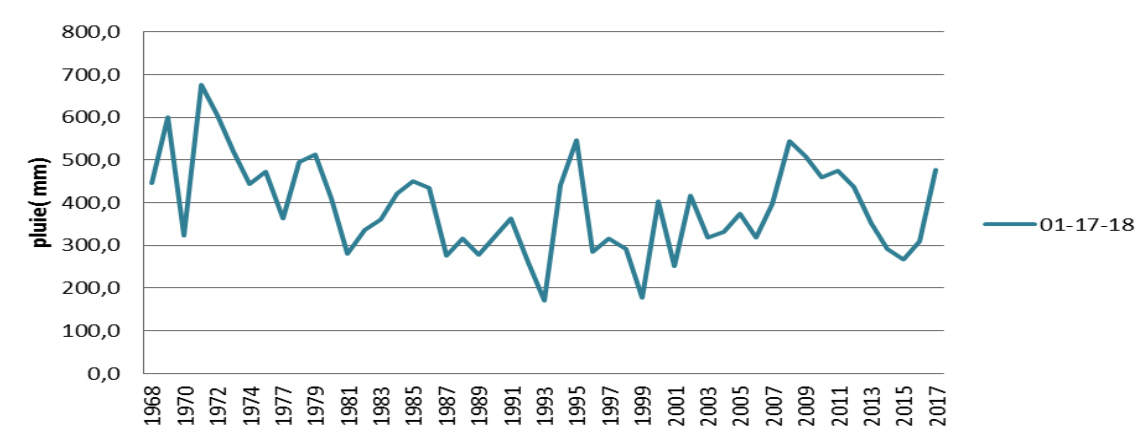


Figure II-5 : histogramme des précipitations moyennes annuelles (station de Harraza, 1968-2017 (ANRH)).

I.4.4 Bilan hydrologique

Pour calculer le bilan hydrologique on doit calculer les termes du bilan notamment ceux concernant l'évapotranspiration et le ruissellement. Les résultats obtenus sont compilés dans le tableau suivant.

Tableau II-4 : bilan hydrogéologique

TERMES	RÉSULTATS
Lame d'eau précipitée	P moy =422.64mm..
Evapotranspiration réelle	ETR=314,66
Evapotranspiration potentielle	
Methode de Turc:	ETP= 886,49
Ruissellement: $R = \frac{p^3}{3(ETP)^2}$	R =22.68 mm
Infiltration I = WS-R	I =39.42 mm

I.4.5 Conclusion

La région du Haut Cheliff est caractérisée par un climat semi-aride, avec un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec, influencé par des facteurs géographiques (éloignement de la mer, altitude et orientation des reliefs). La température moyenne interannuelle oscille est de 18,5 C. Les précipitations moyennes annuelles, sur une période de 50 ans (1968-2017), sont estimées à 422.7mm. L'évapotranspiration réelle est estimée à 314.66 mm, mobilisant 83.51 % des précipitations. Le ruissellement ne représente que 8 % des précipitations, ce qui représente une lame d'eau ruisselée de 22.68mm. L'alimentation des aquifères se fait par infiltration des

eaux de pluie sur les surfaces de leur impluvium, cette lame d'infiltration est estimée à 39.42 mm, soit un taux de 10.46% des précipitations.

I.5 ETUDE GEOLOGIQUE

I.5.1 Cadre géologique générale (Situation dans le contexte alpin)

L'Algérie est divisée en deux unités tectoniques majeures (Fig.07) séparées par la flexure sud-atlasique :

- Le Nord de l'Algérie portant l'empreinte de la tectonique alpine ;
- La plate-forme saharienne, relativement stable, où la tectonique est moins prononcée.
- Le domaine septentrional est constitué par des reliefs jeunes façonnés par les mouvements alpins au cours du Tertiaire. L'Algérie alpine est composée des ensembles structuro-sédimentaires suivants, du nord au sud :
 - L'Atlas tellien est le domaine des nappes, avec des bassins de type intra montagneux (ex. bassin du Chélif), dont la série sédimentaire s'étend du Jurassique au Miocène.
 - Les hauts plateaux, avant-pays alpin, à couverture sédimentaire réduite, où les processus locaux de distension ont permis la formation de bassins intra montagneux comme ceux de Telagh et de Tiaret.
 - L'Atlas saharien est né d'un long sillon subsidente pincé entre les hauts plateaux et la Plate-forme saharienne.

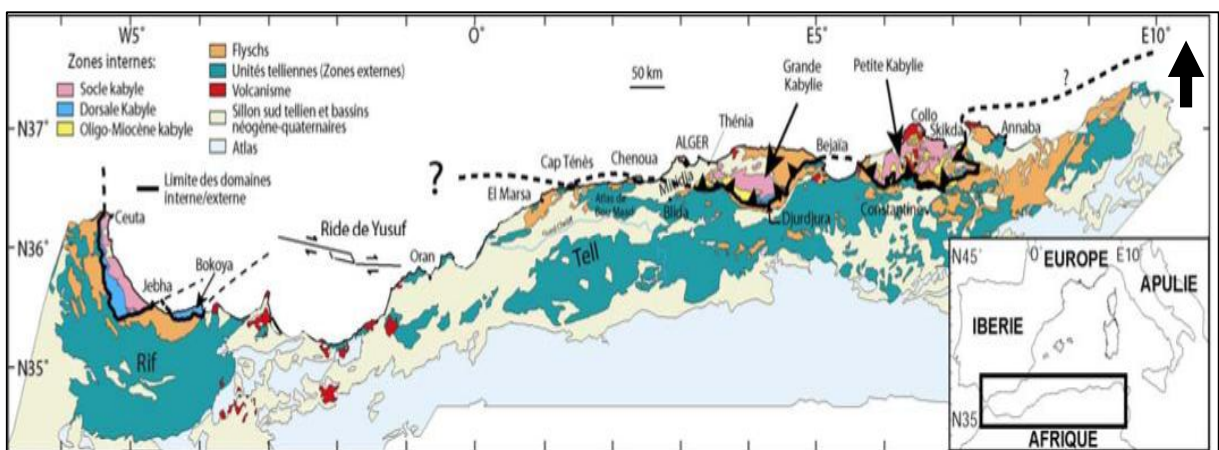


Figure II-6 : position des différentes unités géologiques des maghreb des (d'après dom zig 2006).

I.5.2 Contexte géologique régional

I.5.2.1 Introduction

Cette étude synthétisée à partir des travaux et études antérieurs des géologues A-Perodon (1975), M-Mattaouer (1958). C- Le priver (1970), et O-Kireche (1977-1993), a pour objectif de décrire la structure et le contenu lithologique des formations géologiques qui affleurent dans le secteur d'étude. La région de la plaine alluviale du haut Cheliff est située dans le domaine du Tel septentrional et correspond à un sillon intra montagneux subsidient, localisé entre le massif de Boumaâd et les contreforts de l'Ouarsenis (**d'après A perdons 1957, M. Mattaouer 1958**). (Figure5).

La plaine du Haut Cheliff correspondant à une vaste zone déprimée d'orientation est-ouest à l'intérieur de laquelle une masse importante de sédiments post-nappe Mio-Plio -Quaternaire s'est accumulée. Les coupes lithologiques transversales effectuées dans la plaine du Haut Chélif, font apparaître l'allure synclinale des différentes formations constituant le sous-sol (Figure 7). Ces dépôts se sont effectués à la faveur de transgressions successives. Les massifs environnants constituent

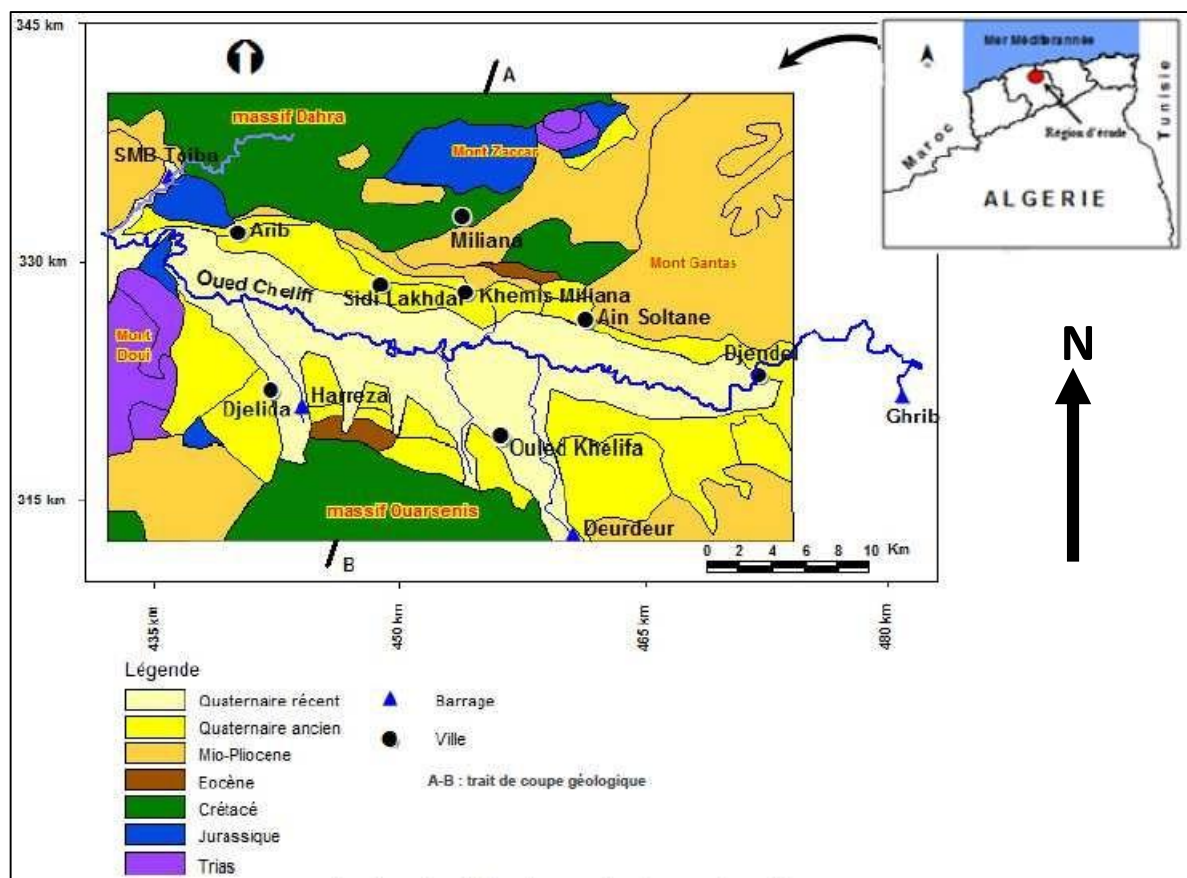


Figure II-7 : Carte géologique simplifiée de la plaine du Haut Cheliff au 1/50.000 (Touhari,2016).

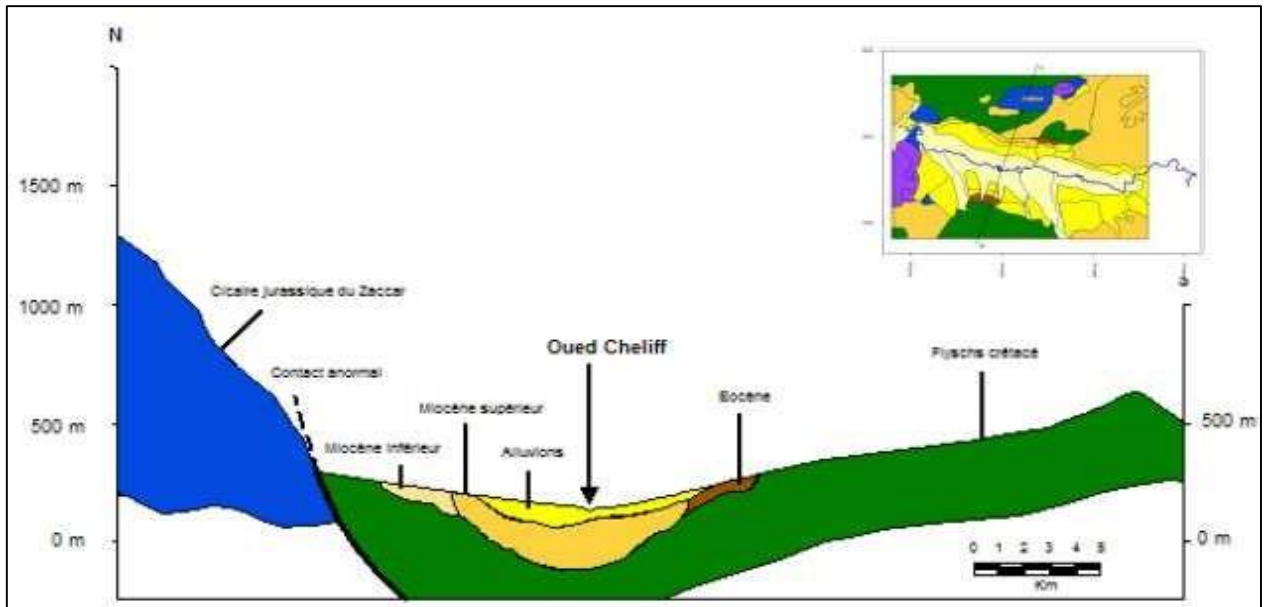


Figure II-8 : Coupe géologique interprétative transversale de la plaine du Haut Cheliff. (Touhari,2016).

I.5.2.2 Stratigraphie

Dans cette étude on s'attachera essentiellement à préciser les caractéristiques litho stratigraphique, des différentes formations géologiques dans le but de préciser leurs superpositions. Dans la région d'étude l'éventail des séries stratigraphiques s'étale du Primaire au Quaternaire.

Le primaire :

Le Primaire est constitué d'une alternance des schistes noirs graphiteux et de bancs de quartzites et argiles.

Le Trias :

Le Trias est généralement constitué par des dolomies et des calcaires dolomitiques. Il affleure dans le massif de Doui et de Zaccar

Le Jurassique :

Le Jurassique est constitué, dans le massif de Zaccar par des calcaires massifs compacts, fracturés et karst fiés et surmontés par des schistes gréseux et des marno-calcaires. L'ensemble de la série atteint une épaisseur de 700 m environ.

Dans le Djebel Doui, le jurassique est représenté essentiellement par des niveaux de calcaires dolomitiques d'épaisseur avoisinant 80 mètres.

Le Crétacé :

Le Crétacé affleure sur les bordures latérales de la plaine, il est représenté de la base au sommet par :

- Des argiles schisteuses du Néocomien d'une épaisseur de 800 m environ au Nord et à l'Ouest de Zaccar.
- Des faciès flysch de l'Albien qui se développe dans le massif de Boumaad.
- Des marnes avec des intercalations de bancs de calcaire d'âge Sénonien.

Le Mio-cène :

Le Miocène peut atteindre 300 m d'épaisseur et il est constitué de la base au sommet par :

- Le miocène inférieur (Burdigalien) : Le Miocène inférieur repose sur des terrains plus anciens Eocènes et Crétacés et débute par une formation conglomératique d'épaisseur environ 220m. Cette formation est constituée essentiellement de conglomérats polygéniques à éléments de taille très variables, mal triés, avec des niveaux sableux ou gréseux maux stratifiés parfois gypsifères. Au sommet, les niveaux conglomératiques deviennent plus fins et passent progressivement à des marnes gréseuses rouge à brune verdâtre
- Le miocène supérieur : (Vindo bonien) : Le Miocène supérieur est constitué par une série représentée de la base au sommet par
- Des niveaux conglomératiques épais de 1 à 2m à ciment sablo marneux, surmontés par un niveau marneux de couleur bleu d'une épaisseur environ 50 m.
- Des mares blanches alternant avec quelques bancs siliceux couronnés par un dépôt de grès et de sable d'une épaisseur d'environ 100 m
- Une formation marneuse de couleur bleue, présentant un faciès argileux parfois gypseux d'environ 90m d'épaisseur.

Le Mio-Pliocène :

Le Mio-Pliocène est constitué par des galets quartzeux, des conglomérats, des grès des argiles détritiques ainsi que le travertin ancien déposé au niveau des sources du Zaccar.

Le Pliocène :

On distingue un Pliocène continentale un Pliocène marin :

- **Le Pliocène Inférieur : (Pliocène marin) :** Il est représenté par une série marneuse qui débute par des niveaux détritiques gréseux ou sableux et parfois conglomératiques, ensuite on a un passage progressif dans la partie supérieur à des marnes sableuses et sables argileux formant tous les termes de passage aux grés Astiens. Les grés, avec une épaisseur d'une centaine de mètres constituent une bande continue depuis l'Ouest d'EL-Abaddia vers le versant Sud du Dahra.
- **Pliocène supérieur (continental) :** Le pliocène continental est formé de conglomérats à éléments gréseux à grésocalcaires et dessables non consolidés. Les dépôts sableux rouges à stratifications entre croisées qui succèdent aux conglomérats précédents appartiennent au villafranchien. Ces dépôts reposent le plus souvent sur des limons gris. Parfois, les conglomérats du pliocène supérieur n'existent pas et les formations sorgues du Villafranchien se trouvent alors en contact des grés astiens.

L'Astien :

Il est représenté par une série marine finement sableuse ou gréseuse de couleur jaune fauve. Les grés sont souvent à ciment calcaire, localement passer à des calcaires gréseux :

- **Le Pliocène Supérieur continental :** (villafranchien) est formé de conglomérats à éléments gréseux à grésocalcaires et des sables, non consolidés. Les dépôts sableux rouges à stratifications entre croisées qui succèdent aux conglomérats précédents appartiennent au villafranchien. Ces dépôts reposent le plus souvent sur des limons gris. Parfois les conglomérats du Pliocène supérieur n'existent pas et les formations rouges du villafranchien se trouvent alors en contact des grés astiens ; d'ailleurs, au Sud de Chéiff sur la bordure de l'Ouarsenis, le Pliocène disparaît complètement. A ce niveau, le Quaternaire recouvre directement les calcaires gréseux du Miocène.

Le Quaternaire :

Les dépôts quaternaires sont continentaux. On distingue un Quaternaire ancien et un Quaternaire récent.

• Le Quaternaire ancien :

Il est représenté essentiellement par des alluvions conglomératiques : Galets, graviers et des sables. Les alluvions du Quaternaire anciens sont observées au pied du massif de Zaccar et en particulier à l'Est de Sidi- Lakhdar. Elles forment les vastes collines en bordure Sud de la plaine d'El-Khemis.

• Le Quaternaire récent :

Le Quaternaire récent est formé essentiellement de limon, dont l'épaisseur varie de 50a200 m, on y distingue de bas en haut :

- Des limons bruns à rouges, les niveaux les plus anciens sont discordants sur le Quaternaire ancien. Ces limons recouvrent la presque totalité de la dépression sous forme d'alternance sablo-gréseuse,
- Des grès, visibles surtout sur les berges des oueds, forment des accumulations de niveaux très fins dont les épaisseurs peuvent atteindre cinq mètres. Ce sont d'anciennes vases asséchées. Ces formations proviennent de l'érosion des reliefs avoisinants.
- Des alluvions actuelles formes de limons, de sables, de galets et décalottés au fond des talwegs et dans les zones de confluence des oueds et des méandres abandonnés.

I.5.2.3 Cadre géologique local

La plaine du haut Chélif est une dépression orientée d'Est en Ouest, comprise entre le massif du Zaccar au Nord et les monts de l'Ouarsenis au Sud. Elle débute à Djendel et présente une largeur de 6 kilomètres jusqu'à l'Ouest de la ville de Ain Defla où elle est brusquement interrompue par le seuil du Doui.

Du point de vue litho stratigraphique la région d'étude est formée par (Fig.9) :

- a) **Les terrains ante néogènes** : Ils constituent le substratum du synclinal dans lequel se sont déposées les formations néogènes et Quaternaires.
- b) **Les terrains néogène quaternaires** : les formations néogènes et quaternaires correspondants à une accumulation de dépôts Mio-plio- quaternaires, reposante en discordance sur les terrains anciens qui sont le produit du démantèlement des reliefs environnants. Ces terrains néogènes sont représentés de bas en haut par

Miocène inférieur :

Le Burdigalien, occupe une grande partie N-E de la feuille N° 84, (carte géologique de Miliana). Il affleure aussi immédiatement au S-W du Zaccar au niveau de la localité de Ben Allel. Cette série comprend trois formations pouvant passer latéralement de l'une à l'autre à la base de la série et qui sont :

- Calcaires à polypiers de faible épaisseur.
- Grès et poudingues à éléments autochtones pouvant atteindre un millier de mètres.

- Marnes, dites carte anciennes, brunes, grisâtres ou bleuâtres d'une épaisseur de 100 à 300 m.

Miocène supérieur :

Le Vendobonien recouvre une large zone à l'environ de Ain Soulante où il est discordant sur le Crétacé. Il affleure plus étroitement sur la bordure Nord de la plaine pour plonger sous celle-ci un peu à l'Ouest de la localité de Sidi Lakhdar. Cet étage est absent au Sud de la vallée du haut Chélif et est formé de bas en haut par :

- Calcaires à lithothamnium
- Grès et poudingues, sableux et friables.
- Argiles dites helvétiques, bleues ou gris-bleu clair, homogènes et compactes dont la partie supérieure passe aux grès du Goutas par l'intermédiaire d'assises marno-gréseuses.
- Grès et poudingues du Goutas, grès sableux et bancs de poudingues. Discordant sur le Crétacé et peut être sur le Burdigalien, au Nord de Ain Sultan ou ils sont bien développés pouvant atteindre une centaine de mètres.

Mio-pliocène :

Formation discordante sur le Vindobonien, elle comprend des cailloutis à galets quartzeux, des conglomérats, des grès et argiles détritiques ainsi que les travertins anciens déposés par les sources du Zaccar.

Quaternaire :

Il est constitué par des alluvions récentes déposées par l'Oued Chélif et ses affluents et des alluvions anciennes de nature très divers mais à forts pourcentage d'argiles.

1- Quaternaire ancien :

Affleure sur une bande relativement étroite au Nord de la plaine, par contre au Sud de celle-ci il couvre de vastes étendus. Il est constitué par galets, graviers et des sables.

2- Quaternaire récent :

Recouvre toute la partie centrale de la plaine du haut Chélif avec des épaisseurs de plus de 100 m. Il est formé de bas en haut par :

- Des limons bruns à rouges, discordants sur le Quaternaire ancien et comblant la presque totalité de la dépression.

- Des grès, observés sur les berges des oueds, forment de fines accumulations dont l'épaisseur ne dépasse guère cinq mètres. Ce sont d'anciennes vases asséchées provenant de l'érosion des reliefs avoisinants.
- Des alluvions actuelles formées par des limons, des sables, des galets et des cailloutis.

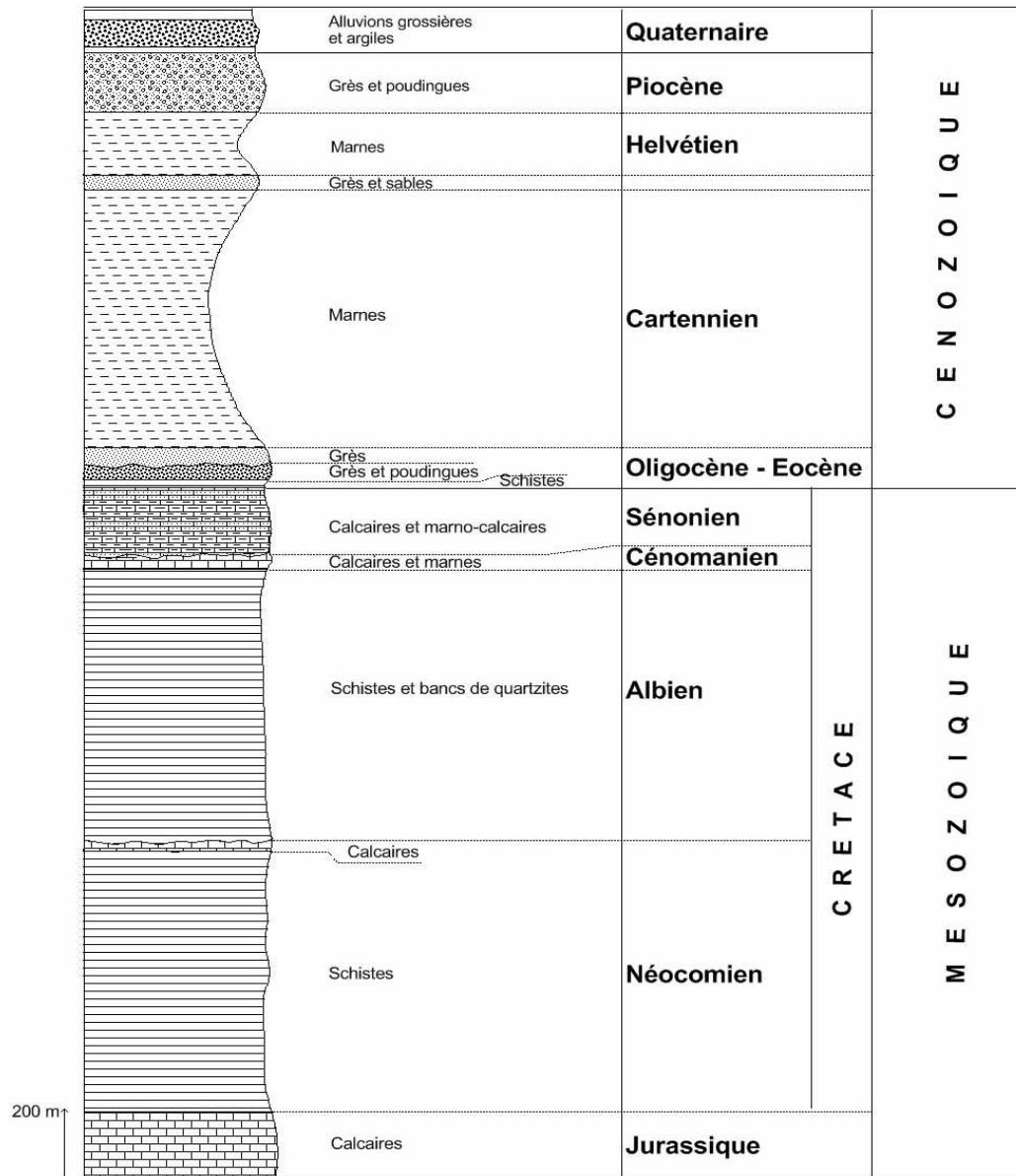


Figure II-9 : log litho stratigraphique de la région du haut cheliff (Mattaouer).

I.5.2.4 Cadre structural

La plaine du Haut Chélif est un synclinal circonscrit entre deux grandes structures anticlinales représentées par l'Ouarsenis au Sud et le massif du Dahra au nord.

Tell méridional :

Le tell méridional est représenté au niveau de l'Ouarsenis par quatre unités de la série autochtone du complexe A de la nappe B et C.

- La série autochtone : La série autochtone est constituée par des marnes et des calcaires formant des terrains essentiellement schiste-quartzitiques du Crétacé et de calcaires du Jurassique-néocomien
- Le complexe A : Le complexe A correspond aux calcaires, marnes et conglomérats de l'Albo-Cénomaniens-turonien et aux argiles gréseuses du Barrémo- albo-aptien.
- La nappe B : La nappe B de tectonique assez complexe est constituée par une série de lames successives soulignées par du Trias, repose sur le complexe autochtone représenté par des terrains Crétacés et Miocènes.
- La nappe C : La nappe C formée par des terrains Crétacés, Oligocènes et Miocènes repose sur les terrains de la nappe B.

La dépression du haut Chélif :

La dépression du Haut Chélif est constituée essentiellement d'alluvions récentes d'âge Mio-Plio-Quaternaire d'une épaisseur moyenne d'environ 150m. On observe des alluvions anciennes de nature très diverse mais à fort pourcentage argileux en général. Enfin une carapace calcaire formée de tufs blanchâtres, compacts ou pulvérulents et particulièrement développée au sud de la plaine.

Tell septentrional :

La nature du Tell septentrional est analogue à celle du méridional. Les deux dernières constituent les deux nappes, B et C, qui reposent sur les terrains autochtones.

I.5.2.5 Tectonique

Les massifs à schistosité comme leur nom l'indiquent, se caractérisent par une schistosité bien visible. Ce sont les massifs du Doui et du Zaccar. Des plis syns schisteux affectent les séries paléozoïques et mésozoïques au cours de deux phases de déformation superposées : la première est une déformation majeure associée à un métamorphisme épigonal de direction

N120, et la seconde de direction qui lui est transversale, à schistosité de crénelassions-dissolution moins étendue de direction N50° (**Kirèche, 1993**).

Le matériel souple de schistes et de flysch crétacés recouvert en discordance par le Miocène présente au contraire par suite de sa plasticité de nombreuses complications qui ne permettent pas de dégager les grands ensembles.

Le style tectonique des terrains rigides jurassiques et primaires est tout différent. La morphologie et le simple fait de trouver sur les plus hauts sommets les terrains les plus anciens (Zaccar-Doui) montrent ici l'ampleur des mouvements verticaux. D'autre part, autour des massifs jurassico-primaires, on a toujours de brusques rebroussements ou de nombreuses failles et la présence de l'Albien transgressif sur le Jurassique du Zaccar montre que les mouvements verticaux commencent au secondaire car les puissantes masses calcaires du Zaccar et du Doui ne se retrouvent pas en dehors de ces massifs.

On est en présence d'amygdales (celle du Zaccar et celle du Doui) ayant rejoué grâce à l'influence immédiate du socle, depuis le secondaire, c'est le type des amygdales intra-telliennes (**Mattauer, 1958**).

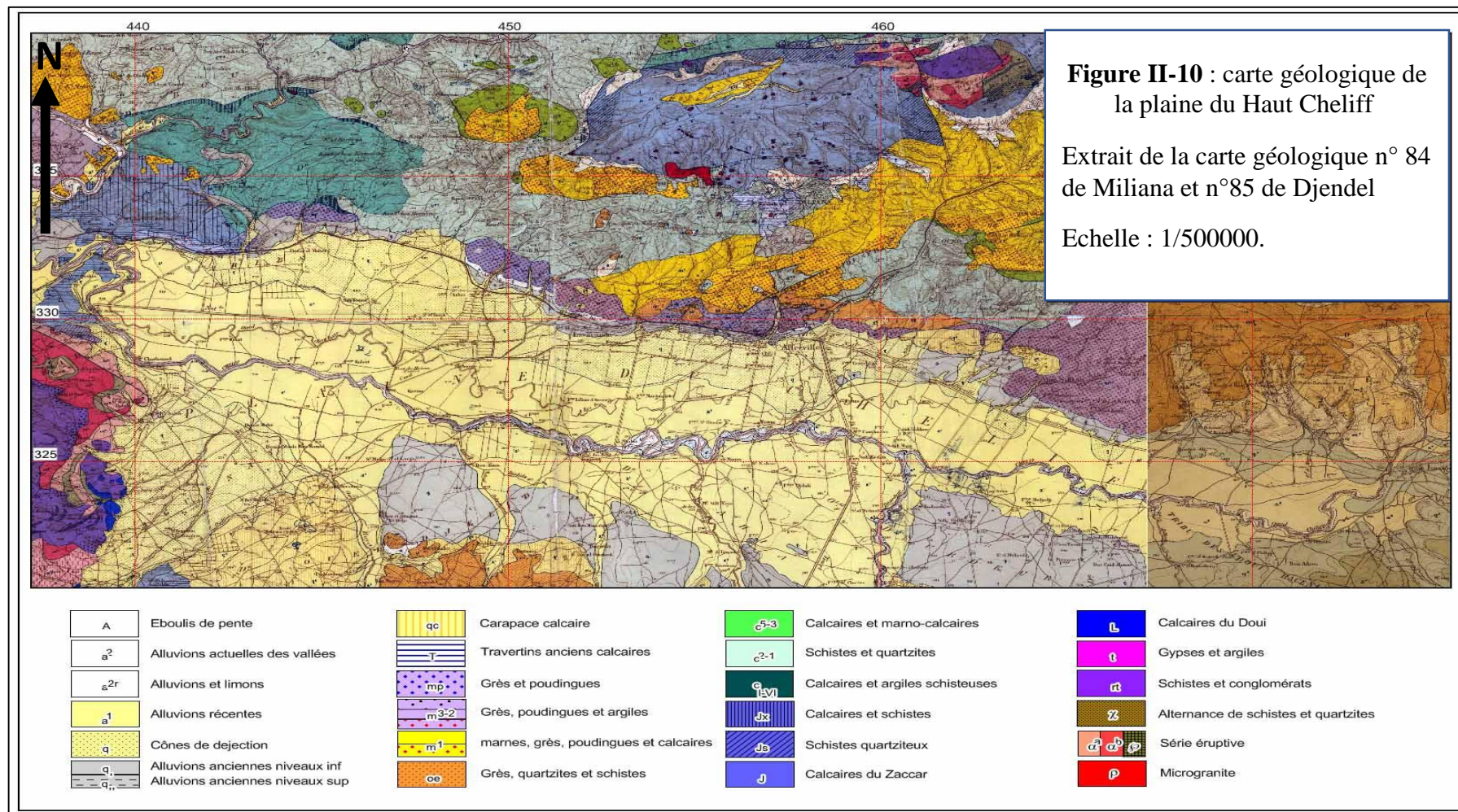
La structure actuelle de cette région est due à la superposition de plusieurs phases de plissement et de déformation d'âge primaire, secondaire et tertiaire. Cette évolution longue et complexe a donné à la fin de l'Oligocène des massifs ascendants primaires et jurassiques appartenant au groupe de l'amygdale intra-tellien extrusive au milieu des schistes crétacés du sillon subsidient tellien.

I.5.3 Conclusion

De cette étude stratigraphique, lithologique et structurale, il en ressort les niveaux aquifères potentiels suivants :

- Les calcaires Jurassiques : Les calcaires d'âge Jurassique constituent un important réservoir qui se particularise par la présence des fissures représentatives d'un milieu approprié pour la circulation et le stockage de l'eau souterraine. Toutefois, la densité et la répartition. Leur puissance peut atteindre les 400m.
- Les aquifères du Miocène : Ils se présentent sous forme de conglomérats plus ou moins argileux et sableux. Les calcaires du Miocène affleurent le long de la limite Sud de la vallée.
- L'observation de ces affleurements et les données de forages, suggèrent la présence d'espaces vides et de fissures.

- Les aquifères du Pliocène : Le Pliocène se présente sous forme de grés (Astien). Ce sont des grés sableux jaunâtres passant à leur sommet à des sables dunaires à hélix. Son épaisseur moyenne est de 100m.
- Les aquifères alluvionnaires du Quaternaire : Les descriptions lithologiques des forages indiquent que plus de 20% des matériaux traversés sont décrits comme étant des sables, des graviers ou des grés. Ces données montrent également une gamme de profondeurs de forages qui va de 20 à 150m. L'aquifère alluviale du haut Chélif constitue l'aquifère le plus important et le plus exploité.



I.6 IDENTIFICATION DES AQUIFÈRES

I.6.1 Introduction

L'identification des propriétés aquifères des différentes formations géologiques a été établie sur la base de différents critères.

I.6.1.1 Critère faciès lithologiques

Les terrains qui forment les aquifères potentiels dans la région d'étude sont représentés par :

- Le Miocène supérieur, formé de grès au sommet passant vers le bas à des marnes par l'intermédiaire de couches grésio-argileuses.
- Le Quaternaire, constitué de galets, graviers, sables et limons argileux. Ces alluvions sont perméables et représentent le principal aquifère de la plaine du haut Chéelif.

I.6.1.2 Critère morpho-structural

Le bassin du haut Chéelif est un synclinal néogène reposant sur un substratum crétacé (D. Pradines 1971). Ces terrains crétacés bordant tout le bassin ne peuvent être aquifère car principalement marneux et constituent, par conséquent, une limite étanche pour les eaux souterraines. Les limites ainsi définies englobent en rive gauche de l'oued Chéelif de grandes étendues de terrains miocène constitués pour l'essentielle d'entre eux d'argiles peu perméables.

La plaine du Haut Cheliff correspondant à une vaste zone déprimée d'orientation est-ouest à l'intérieur de laquelle une masse importante de sédiments post-nappe Mio -Plio -Quaternaire s'est accumulée. Les coupes lithologiques transversales effectuées dans la plaine du Haut Chéelif, font apparaître l'allure synclinale des différentes formations constituant le sous-sol.

I.6.1.3 Critère condition aux limites

Le haut Chéelif est un bassin traversé d'Est en Ouest par l'oued Chéelif qui y pénètre par le seuil de Djendel et en sort par celui du Doui. Le seuil de Djendel est formé par les marnes du Miocène supérieur imperméables et celui du Doui est constitué de schistes quartzeux et calcaires, semi perméable à perméables, recouverts par des sédiments argileux formant ainsi un « seuil » étanche pour le bassin du haut Chéelif.

I.6.2 Géométrie des aquifères

I.6.2.1 Apport des coupes hydrogéologiques

Les alluvions constituent l'aquifère le mieux connu dans notre zone d'étude tant du point de vue de la nature des terrains que de leur géométrie. En effet le nombre important de forages

réalisés dans la plaine nous permet de mettre en évidence la lithologie et la géométrie de ces terrains ainsi que leur comportement hydrodynamique.

I.6.2.2 Apport des résultats de l'étude géophysique

Une campagne de géophysique a été réalisée au niveau du haut Chélib par la Compagnie Général de Géophysique (CGG) en 1969. 192 sondages électriques avec des longueurs de lignes allant de AB=1000 m à 6000 m ont permis d'étudier les couches de ce bassin jusqu'à des profondeurs importantes.

Les sondages électriques ont été répartie sur toute la plaine selon des profils de direction Nord-Sud ce qui a permis de réaliser des coupes géo électriques transversales et des cartes en iso pâque. Ces résultats apportent beaucoup de connaissance notamment sur la configuration géométrique des ensembles aquifères.

a) Échelle des résistivités : L'échelle de résistivité adoptée dans le cadre de l'étude de la nappe alluviale par la (CGG) à partir de l'étalonnage à l'aide des forages et sondages est résumée dans le tableau ci-dessous

Tableau II-5 : des échelles de la résistivité.

age	Nature geologies	Resistivity (oh mm)
Quaternaries	Alluvions	50à100
	Alluvions peu permeables	5à30
Pliocene	Calcaire gréseux et marne	60à80
	Marne	3à20
Miocene	Argile quartzitiques	10à20
	Marne	40à50

b) Interprétation des coupes géo électriques : Nous avons sélectionné quatre coupes géo électriques (Fig.10 et11) Nord-Sud qui ont permis d'illustrer la configuration géométrique des ensembles aquifères. Ces coupes présentent la même allure, sauf pour celles situées aux extrémités Est et Ouest du bassin.

Toutes les coupes montrent en effet :

- Un synclinal miocène marneux très épais, dont l'axe est décalé vers le Nord du bassin.
- La base des grès miocènes marque bien la dissymétrie du synclinal. Dans l'axe du synclinal, la côte du mur des grès est généralement comprise entre 0 et +100. Les grès s'amenuisent vers l'Ouest où ils peuvent être remplacés par d'autres formations grossières.

- Le remplissage alluvial marque, en général, l'allure du synclinal notamment à l'Est du bassin où les grès et les alluvions se confondent pratiquement. Vers l'Ouest, les deux niveaux se dissocient notamment au Nord, dans l'axe du synclinal, où une épaisse couche d'argile d'une résistivité de 10 à 12 Ohm.m surmonte les grès miocènes.
- Au centre du bassin à l'environ de Sidi Lakhdar, les grès viennent au contact des alluvions d'où la difficulté de les différencier des niveaux grossiers sur lesquels ils reposent.
- Tout à fait à l'Ouest, en s'approchant du seuil du Doui, les formations grossières s'amenuisent et reposent en discordance sur les terrains créacés sou jacentes.
- Sous les limons, il existe un niveau grossier, très épais (80 à 100 m) à l'Est de la plaine du haut Chélif, il diminue vers l'ouest mais néanmoins garde une épaisseur utile de 30 m à 100 Ohm.m dans l'axe de l'ancien lit de l'oued.
- Du Nord au Sud la résistivité diminue progressivement du fait de l'augmentation de la proportion des argiles et aussi par l'apport d'eaux très chargées.

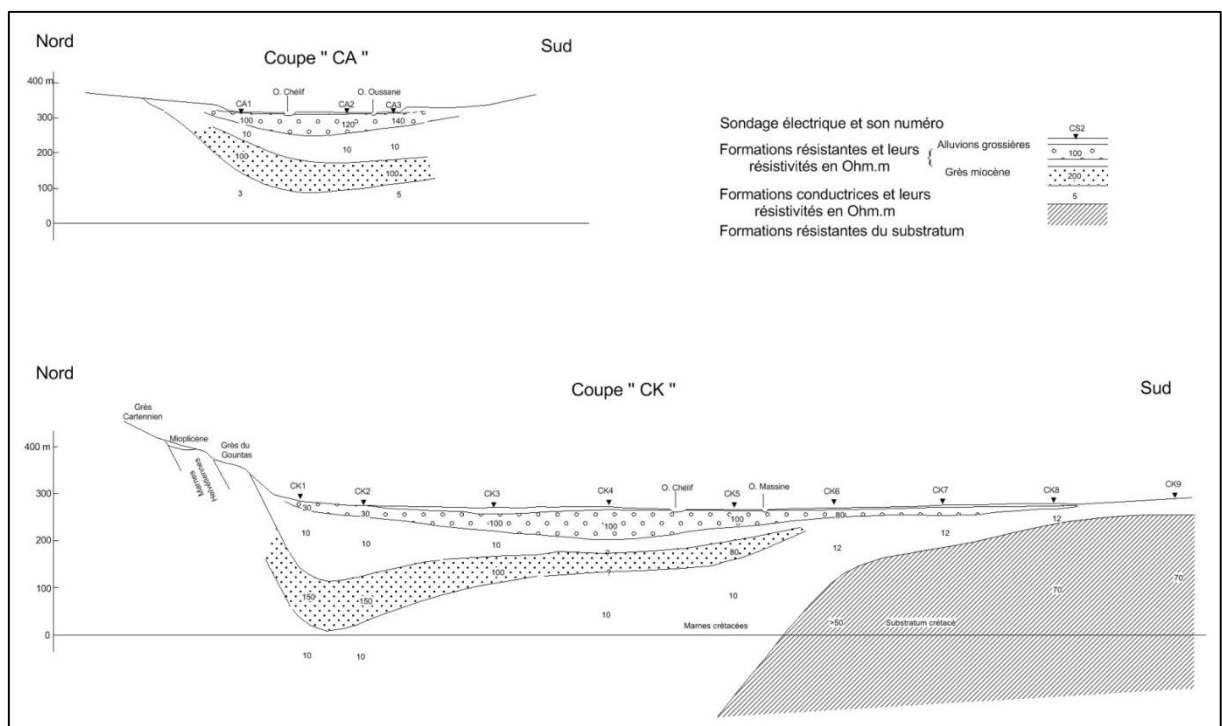


Figure II-11 : Coupes géo électriques "CA" et "CK" (CGG, 1969).

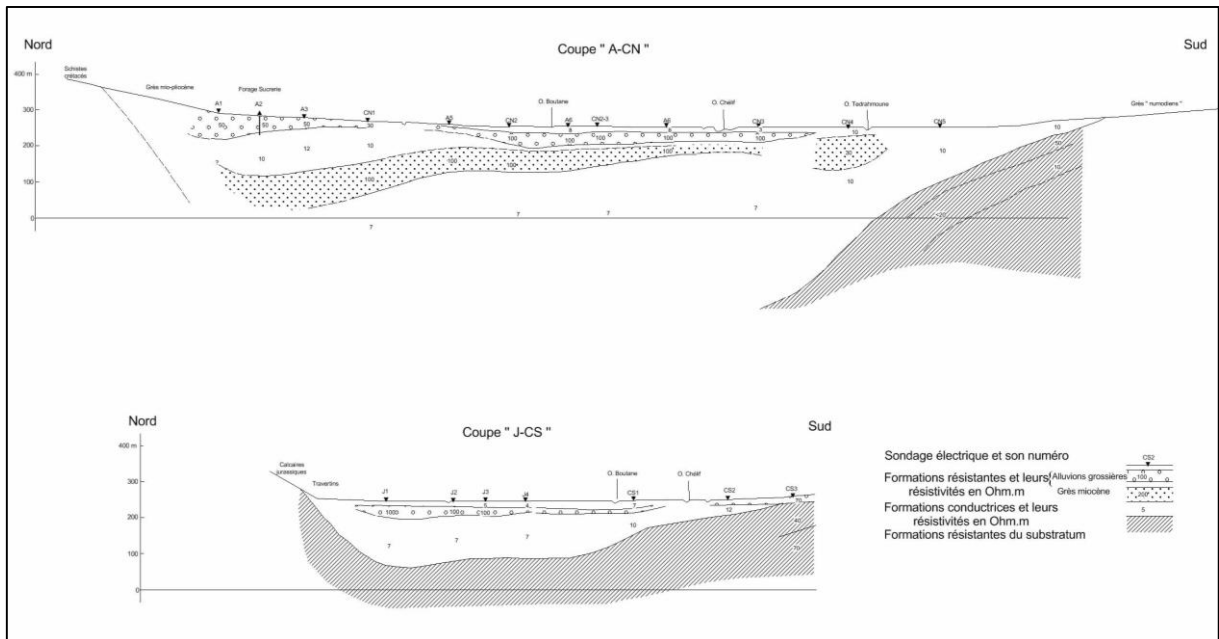


Figure II-12 : Coupe géo électrique ‘A-CN’ et ‘J-CS (CGG, 1969).

c) Coupe géo électrique (CH) passant par la région d’El Khemis :

Cette coupe située à l’Ouest d’El-Khemis et passant par les sondages électriques (Ch7, Ch6, Ch5, Ch4, Ch3, Ch2 et CL1) montre ce qui suit :

- Dans la partie centrale, entre les sondages électriques (Ch3, Ch2), les argiles deviennent plus épaisses et atteignent une épaisseur d’environ 50m avec des résistivités de 15 ohm.m. Les alluvions ont presque la même épaisseur au long de la rive droite d’Oued Chélif d’une résistivité maximale de 100ohm m, la rive gauche de l’Oued Chélif, on constate l’amincissement des alluvions caractérisées par une résistivité de 30 ho mm.
- Le substratum des formations alluviales représenté par des argiles affleure au Sud (au niveau du sondage électrique Ch6) et au Nord avec une résistivité de 10 ho mm.. On remarque qu’entre les sondages électriques (Ch1 et Ch2) l’épaisseur du substratum est très importante et peut atteindre 150m avec une résistivité de 12 ho mm.
- La coupe géo électrique CH montre d’autre part un second niveau résistant (150m) d’une épaisseur moyenne de 100m attribués aux grès du Djbel Gountas .
- Sur la rive gauche de l’Oued Cheliff on remarque que l’épaisseur des formations alluviales diminue suite à la remontée du substratum Crétacé de la formation schiste-quartzitique.

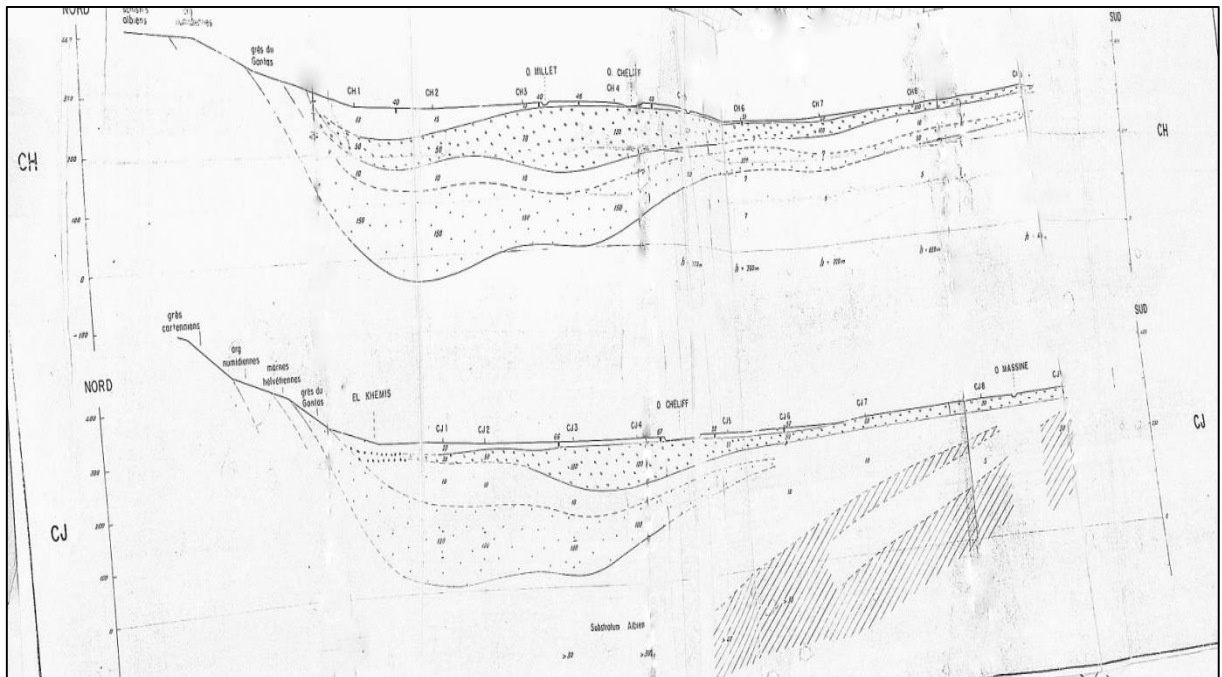


Figure II-13 : Coupe géo électrique de la plaine de Khemis Miliana (ANRH Khemis miliana).

d) - Interprétation des cartes des résistivités apparentes en ligne AB=300m :

La carte des résistivités apparente en ligne AB = 300m, constitue une écorchée géologique à profondeur constante (en moyenne 30 à 90 m). La longueur de ligne a été choisie de manière à donner une image de la répartition des alluvions grossières.

Nous distinguons :

- Un axe résistant de direction Est-Ouest tout le long de l'oued de Cheliff ou la résistivité est supérieure à 30oh mm.
- Les résistivités plus élevées (90 oh mm), sont localisées dans la partie Ouest de la ville de Djendel.
- De part et d'autre de cet axe les résistivités sont faibles.
- Les résistivités élevées sont attribuées aux alluvions du Quaternaire.

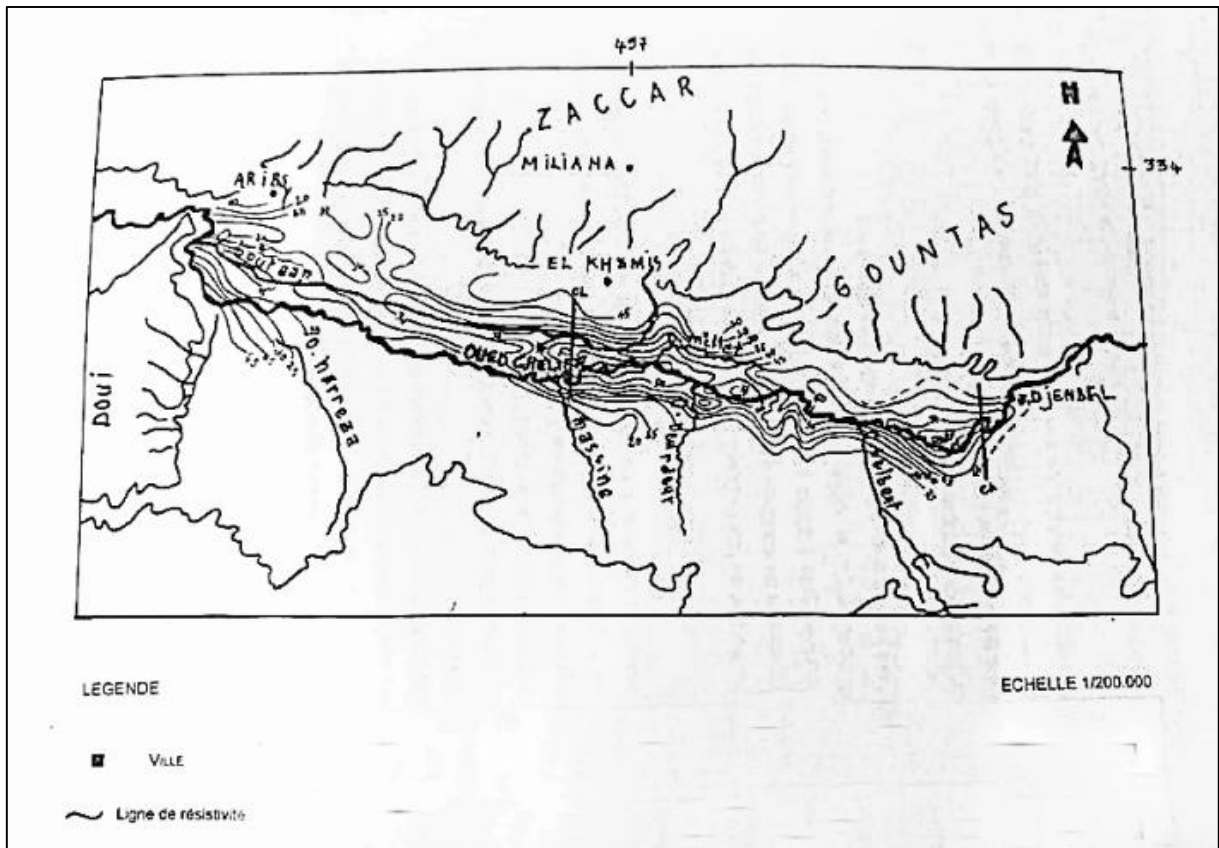


Figure II-14 : carte des résistivités apparentes en ligne ab=300 m (Messelmi.H).

e) Carte des résistances transversales :

Cette carte représente la répartition de la résistance transversale permet de distinguer les niveaux caractérisés par une bonne résistivité, les plus épais on distingue alors :

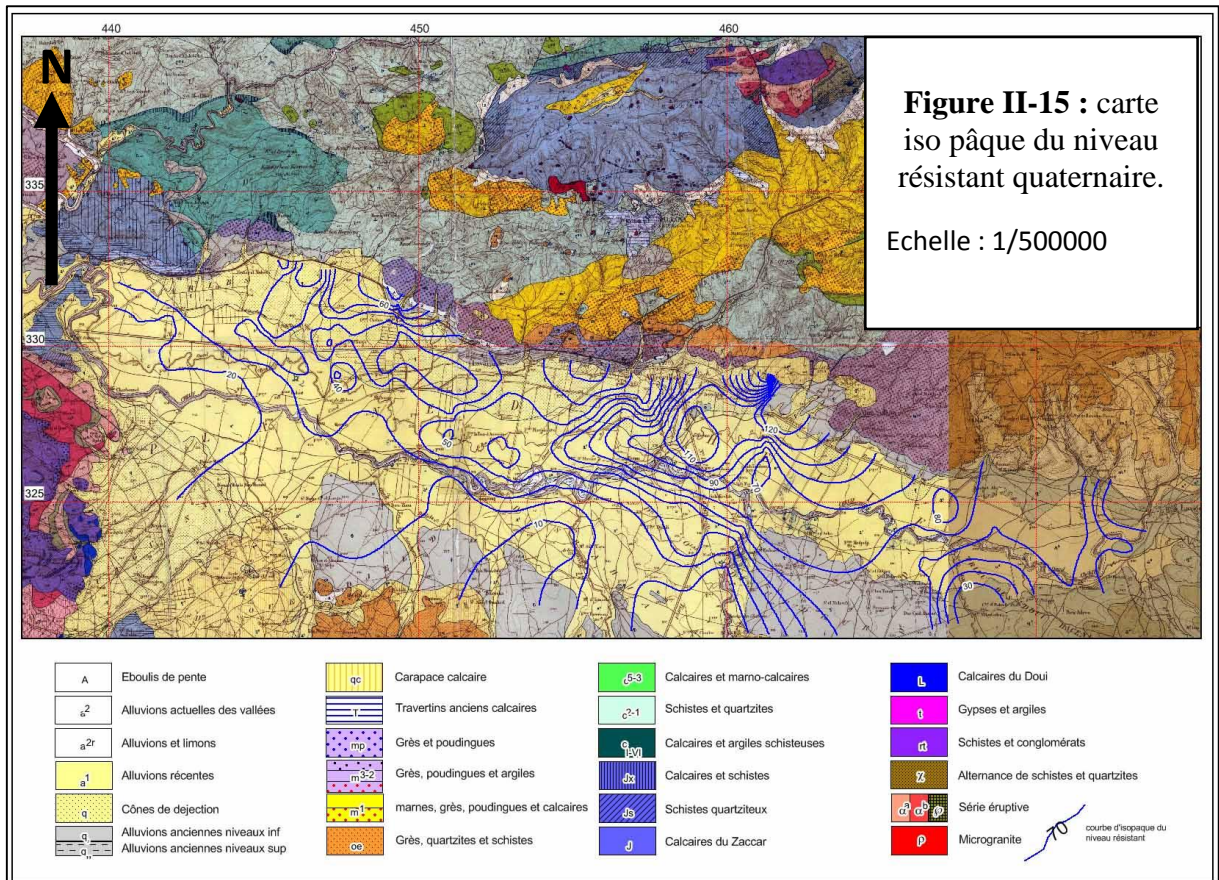
On observe numement sur la carte axe résistant d'orientation Est-Ouest sur rive droite de l'oued Cheliff dont les variations sont de 5000ohm m² à l'Oued d'El Khemis et 7000 à 10000ohm m² à l'Est ailleurs, les résistances transversales sont de l'ordre de 1500 ho mm².

L'axe résistant coïncide dans son tronçon ouest (5000 ohm.m²) avec oued Boutane et à l'est (7000 à 10000ohm m²) avec l'oued Miller. On observe au Nord et au Nord-Ouest les grés et poudingues caractérisés par une résistance transversale de 4000ohm m² et à l'Est El Khemis ce qui correspond à des fortes épaisseurs de grés (200m). Par contre, à l'Ouest, les valeur varient entre 5000 à 10000 ohm m² , le sillon des grés du Miocène supérieur s'amincit progressivement jusqu'à disparaître sous les alluvions néogènes .

f) Carte iso pâque du résistant quaternaire :

La carte iso pâque du niveau résistant quaternaire (Fig15), montre une diminution de l'épaisseur des alluvions grossières d'Est en Ouest et du Nord vers le Sud. Les plus fortes épaisseurs correspondent à un chenal le long de la rive droite de l'Oued Chélif, soulignant

probablement l'ancien lit de cet oued. On remarque une brusque diminution de l'épaisseur des alluvions grossières au niveau d'oued Soufey, ce qui pourrait s'expliquer par la remonté du substratum crétacé à cet endroit.



I.6.2.3 Conclusion

Le long du chenal résistant, l'épaisseur des alluvions grossières est de 100 à 140m au Nord, au Sud elle n'est que de 20m. La nappe alluviale est séparée de la nappe des grès mio-pliocènes par une couche relativement épaisse d'alluvions argileuse. Cette couche est continue sauf à l'Ouest où le contact entre les deux formations est mis en évidence. Au Nord de la plaine, les grès Mio-Pliocène atteignent les 200m d'épaisseur, sur la rive gauche ils sont totalement absents et les alluvions quaternaires sont discordantes sur le Miocène marneux. Ce dernier s'amincit dans la région d'Oued Massine provoquant la remontée du substratum.

Sur la base de ces observations multicritères nous pouvons distinguer les aquifères suivants :

- Les grès et poudingues du Pliocène affleurant au Nord de la plaine sont totalement absents dans le reste de cette dernière. Cette formation, constituant un aquifère à porosité d'interstice, plonge sous les terrains quaternaires pour former une nappe captive sauf à l'est de la plaine où les alluvions grossières quaternaires reposent directement sur les grès et poudingues miocènes.

• Les alluvions quaternaires recouvrant toute la plaine du Haut Chélif et constitué par des galets, graviers et sables. C'est un aquifère à porosité d'interstice et à nappe libre. Tous les forages réalisés au niveau de la plaine ont recoupé les alluvions grossières sur des épaisseurs allant de 30 à plus de 100 m et ont fournis des débits de l'ordre de 50 l/s voir plus.

I.6.3 CARACTÉRISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

Dans le but d'estimer les paramètres hydrodynamiques, à savoir la transmisivité et la perméabilité, nous avons utilisé les résultats définitifs (exploitables) des essais de pompages effectués par la direction des ressources en eau d'Ain Defla. Leur interprétation est basée sur l'expression d'approximation de Jacob.

Dans la région étudiée, les propriétés hydrodynamiques ne sont connues que localement à la lumière de quelques valeurs déduites des essais de pompages qui varient de $3 \cdot 10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$ à l'Est de la plaine, jusqu'à $1,2 \cdot 10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$ à l'Ouest.

I.6.4 INVENTAIRE DES POINTS D'EAU DE LA PLAINE DU HAUT CHÉLIF

L'inventaire a été réalisé par l'ANRH (secteur de Khemis-Miliana) en collaboration avec la DRE de Ain Défla. Cet inventaire a dénombré un réseau assez dense et réparti sur toute la plaine du Haut Chélif. Il comporte 40 puits domestiques, 49 forages pour l'alimentation en eau potable et 4 piézomètres de surveillance.

Nous avons établi une carte montrant la répartition de ces points dans le secteur d'étude.

I.7 COMPORTEMENT PIEZOMETRIQUE

Le suivi de l'évolution piézométrique de la nappe dans le temps et dans l'espace permet de reconnaître d'une part, la direction générale de l'écoulement et les zones d'alimentation et de dépressions, et permet aussi d'avoir une idée sur le temps des jours des eaux dans la couche aquifère et par conséquent nous informe sur le degré des échanges géochimiques entre l'eau et la roche.

D'après la carte piézométrique des hautes eaux juin 2013 (Figure 17), on distingue qu'il y a une circulation des eaux souterraines dans la nappe alluviale du haut Cheliff qui se fait d'Est vers l'Ouest parallèlement au cours d'eau d'oued Cheliff. Les courbes hydro-isohypses se resserrent à l'amont avec un gradient hydraulique important de l'ordre de 0,09, et de l'ordre 0,01 dans la partie sud-est. Par contre, elles deviennent plus espacées dans la partie centrale avec un gradient hydraulique de 0,008. En aval, il y a une convergence des courbes vers le même axe de drainage (Attafi,2018).

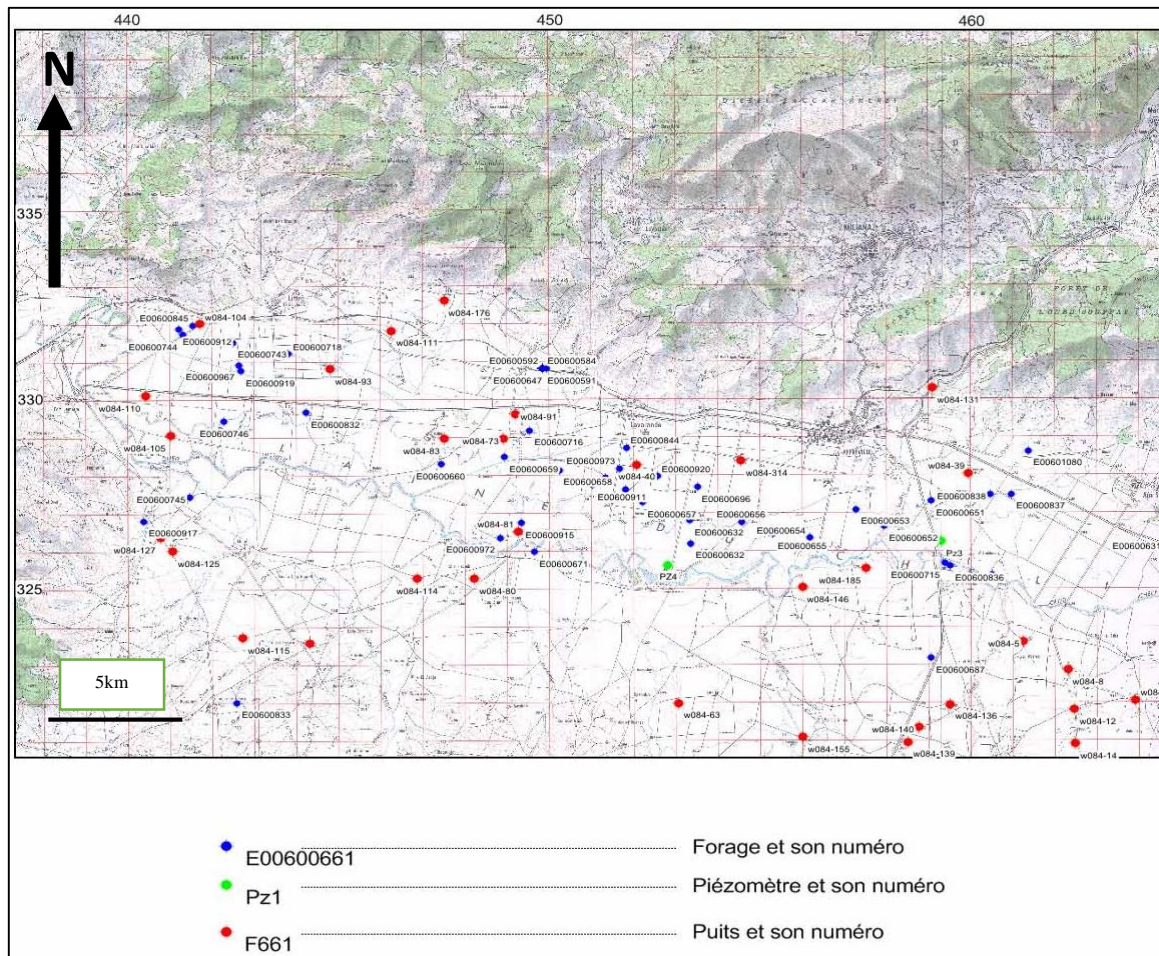


Figure II-16 : carte d'inventaire des points d'eau de la plaine de Khemis Miliana.

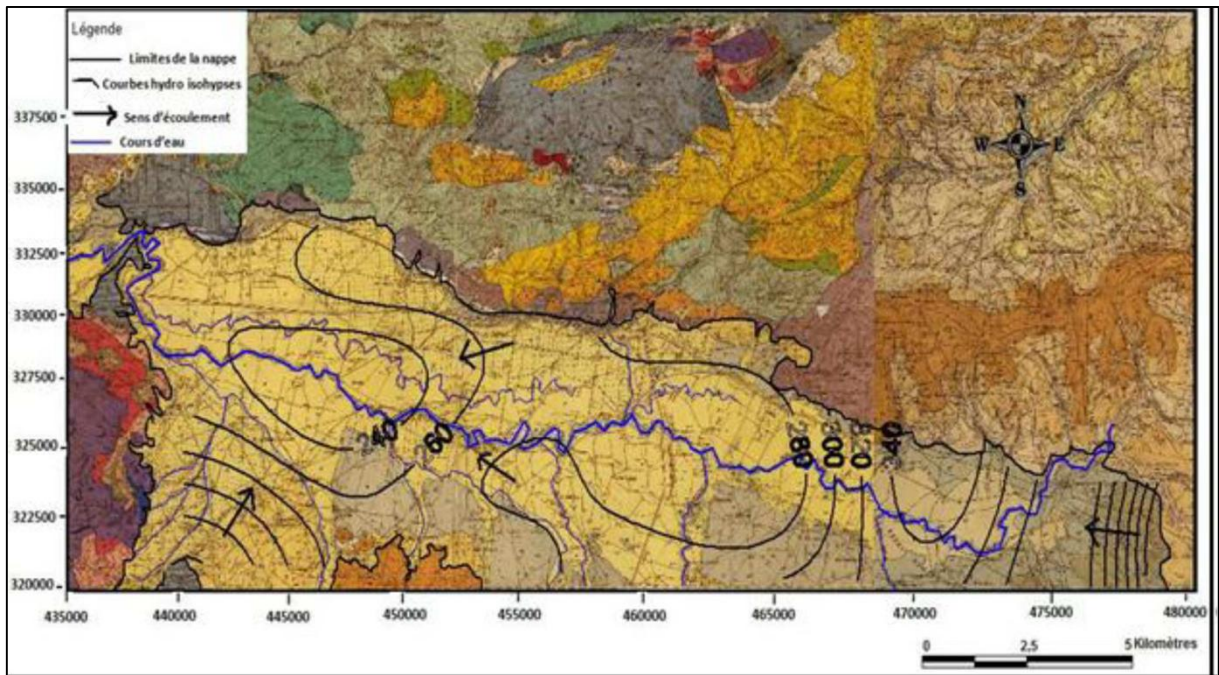


Figure II-17 : Carte piézométrique de la nappe alluviale du Haut-Chélif (Période des hautes eaux : juin 2013) (Reicha, 2016).

I.8 QUALITE DES EAUX DU HAUT CHELIFF

La qualité des eaux de cette région a subi ces dernières années une certaine détérioration, à cause de rejets urbains non contrôlés, de l'utilisation intensive d'engrais chimiques et de fertilisants dans l'agriculture ainsi que de son exploitation désordonnée. Ces éléments modifient le chimisme de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités (Touchai, Fadhila. -2017). Les eaux souterraines présentent une homogénéité des ions et dominances des chlorures pour certains échantillons. Donc le faciès global remarquable est chloruré calcique et sodique.

I.9 CONCLUSION

D'après l'étude géomorphologique, nous constatons que le bassin versant englobant la plaine de Khemis-Miliana (Haut Cheliff) a une forme allongée, ce qui favorise l'infiltration des eaux de pluie. En effet, les différents paramètres du relief montrent que le bassin du Haut Cheliff a une pente faible ce qui favorise également l'infiltration des eaux au détriment du ruissellement.

L'étude climatique établie sur une période de 23 ans (2000 et 2015), montre que la région d'étude est caractérisée par un climat semi – aride avec une température moyenne annuelle de 18.5°C et des précipitations moyennes annuelles, estimées à 377,2 mm. L'évapotranspiration réelle est estimée à 229,8 mm, mobilisant 60,92% des précipitations.

Le ruissèlement représente que 4,88% des précipitations, ce qui représente une lame de 18,43mm. L'alimentation de la nappe se fait à l'aide de l'infiltration qui est estimée à 101,01 mm soit 26,51% des précipitations.

Dans la série stratigraphique de la plaine alluviale du Haut Cheliff, ces on tels formations d'âge Mio-Plio-Quaternaires qui forment le remplissage le plus important et constituent l'aquifère le plu solliciter.

La variation lithologique et le jeu des fractures font de ces formations un aquifère multi couche avec des intercalations argileuses plus ou moins épaisses. Le substratum est formé par les marnes bleues du Miocène supérieur et du Pliocène qui affleurent sur les bordures Nord et Sud de la plaine.

La nappe alluviale est séparéedelanappedesgrésparunecoucherelativementépaissed'alluvions argileuse. Cette couche est continue sauf à l'ouest où le contact entre les deux formations est mis en évidence.

Au Nord de la plaine, les grés du Mio-Pliocène atteignent les 200m d'épaisseur, à la rive gauche, ils sont totalement absents et les alluvions quaternaires sont discordantes sur le Miocène ou les schistes marneux.

La surface piézométrique est pas assez profonde ce qui augmente l'effet de l'évaporation dans la zone septentrionale ou le gradient hydraulique diminue, donné an ainsi suffisamment de temps a l'interaction entre les eaux sous terraines et lithologie.

D'après l'étude géophysique Le long du chenal résistant l'épaisseur des alluvions grossières es de 100 jusqu'à 140m au Nord, au Sud elle n'est que de 20m.

La nappe alluviale est séparée de la nappe des grés par une couche relativement épaisse d'alluvions argileuse. Cette couche est continue sauf à l'Ouest ou le contact entre les deux formations existe. Au Nord de la plaine les grés Moi-Pliocène atteignent les 200m d'épaisseur, à la rive gauche, ils sont totalement absents et les alluvions Quartenaires sont discordantes sur le Miocène marneux, ce dernier s'amincit dans la région d'Oued Massine provoquant la remontée du substratum.

I.10 IMPLANTATION DU FORAGE

L'implantation de ce forage a été faite sur la base de plusieurs critères déduits de cette synthèse hydrogéologique.

I.10.1 Critère géologique

D'après l'étude géologique et stratigraphique nous concluons que les formations susceptibles d'être aquifères dans la région d'étude sont représentées par :

- Les limons et les alluvions de Quaternaire.
- Les grès et poudingues du Pliocène.

L'extrait de la carte géologique de la feuille de Miliana permet de constater que le site proposé pour l'implantation du forage est situé dans l'axe de la plaine ou affleurent les sédiments clastiques du Quaternaire.

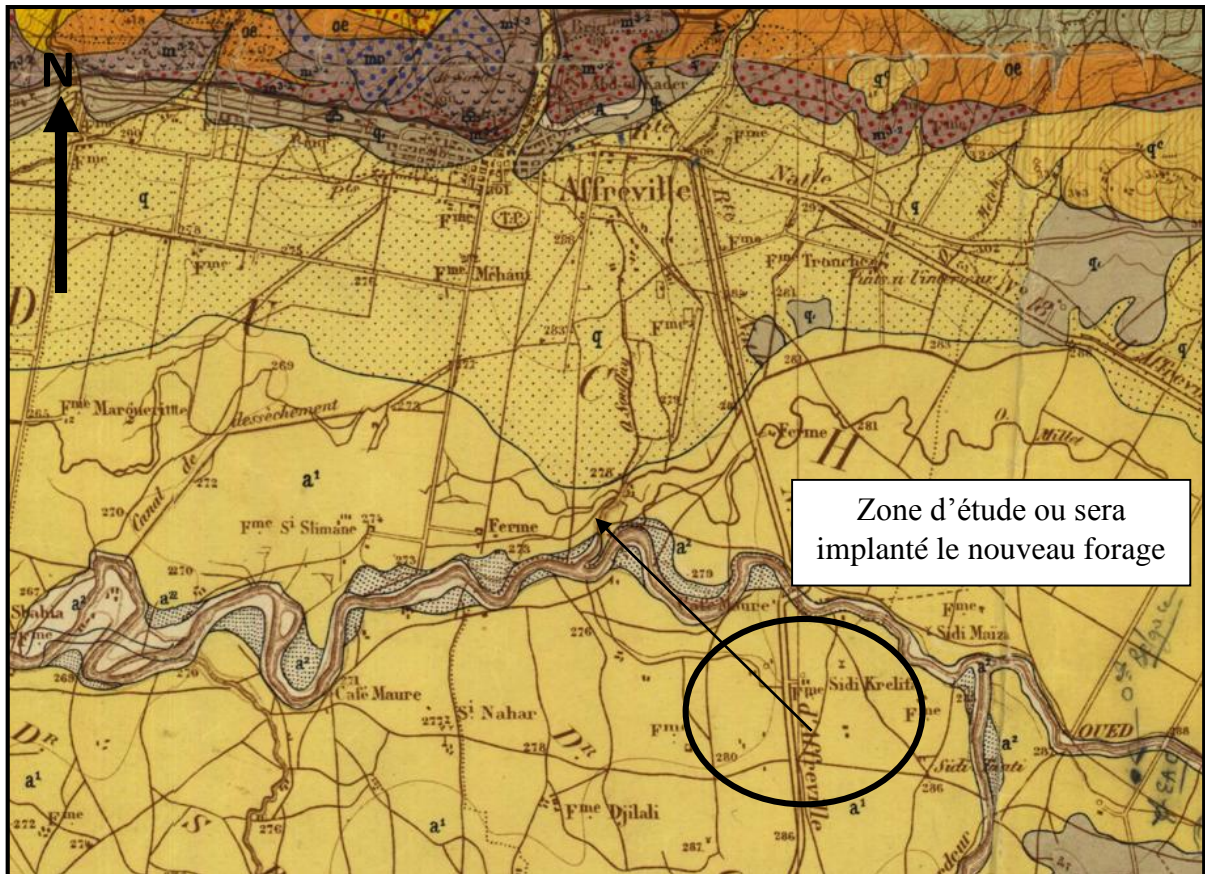


Figure II-18 : extrait de la carte géologique de la feuille de Miliana au 1/50000 illustrant la situation du forage projeté (la légende de la carte est représentée sur la figure).

I.10.2 Critère relatif à l'Alimentation de la nappe

L'alimentation de la nappe se fait par l'infiltration des eaux de précipitation sur les surfaces de l'impluvium des aquifères, mais aussi par les cours d'eau qui parcourent la plaine (figure13 et tableau 03)

I.10.3 Critères hydrogéologiques

D'après l'étude hydrogéologique nous constatons que les écoulements des eaux souterraines, illustrés par l'allure des iso pièzes (voir carte piézométrique sur la figure 17) convergent vers le centre de la plaine où sera implanté le nouveau forage. Le site constitue donc une zone très favorable d'accumulation des eaux souterraines.

Par ailleurs, la carte ci-dessous montre que la zone étudiée où sera implanté le forage est caractérisée par un aquifère ayant une bonne transmisivité (de l'ordre de 10-2 m²/s) et une bonne perméabilité, cela permet de présager un bon débit de la nappe.

L'allure des courbes iso pièzes illustrées sur cette même figure mais également sur la figure17, montre une convergence des écoulements depuis l'amont et les bordures de la plaine vers le centre dont l'axe est parcouru par l'oued Cheliff. C'est donc une zone de convergence des écoulements de la nappe. Cela constitue un atout favorable pour une zone d'appel des eaux qui seront soutirées par le futur forage.

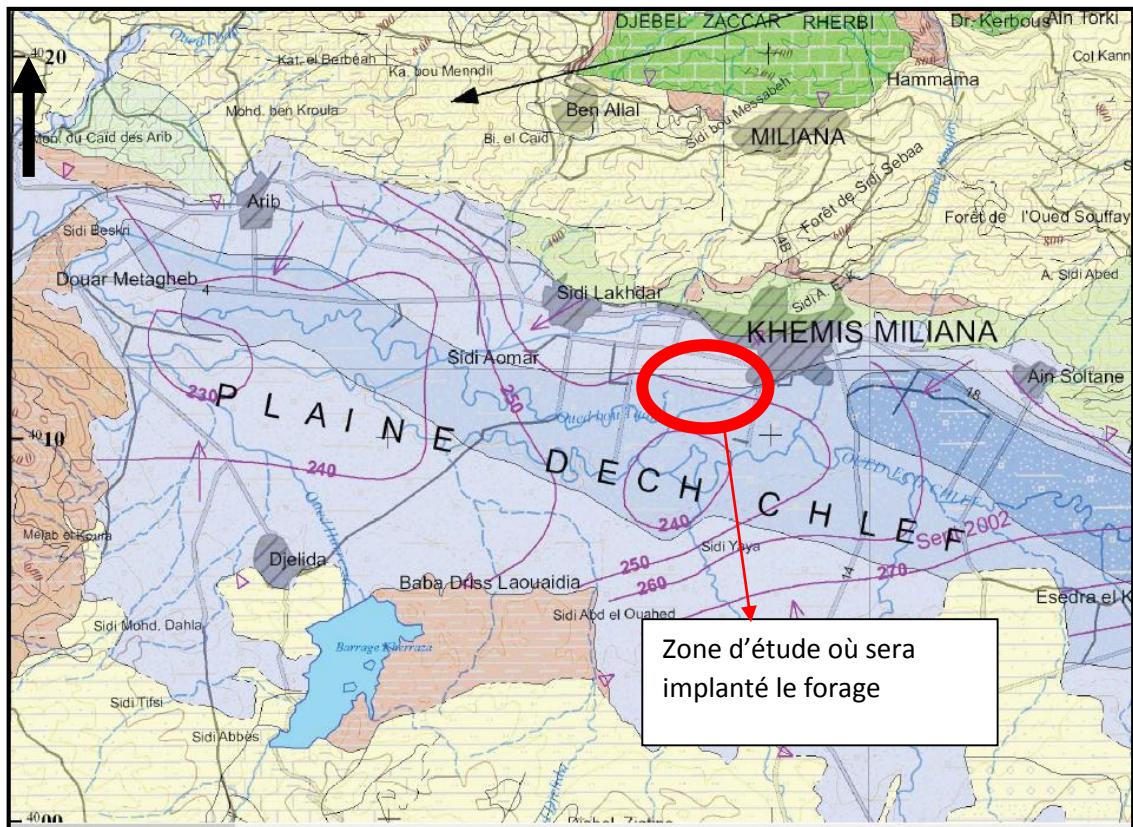
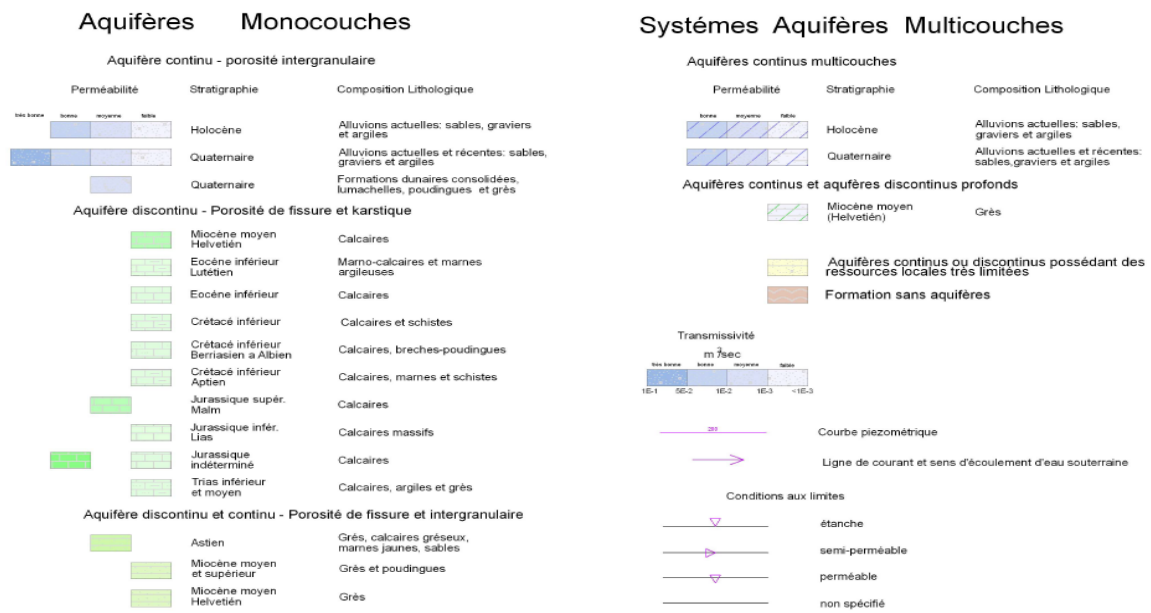


Figure II-19 : extrait de la carte hydrogéologique au 1/200000 de la région de Blida (INERGAPROJEKT, 2008).

Légende



I.10.4 Critère géophysique

D'après l'étude géophysique nous constatons que les formations qui ont une grande résistivité sont :

- Les alluvions du Quaternaire.
- Les grès du Pliocène.

En effet, l'examen des coupes géo électriques permet de constater que ces deux aquifères sont séparés par un horizon conducteur probablement argileux. Vu l'épaisseur relativement faible (< 100m) des alluvions quaternaires qui constituent le premier aquifère et surtout la profondeur du niveau statique (30m), il est indispensable de réaliser un forage qui captera le second aquifère attribué aux grès et sables du Pliocène apparaissant avec des résistivités de 120 à 150 oh mm). Le toit de ce dernier est atteint a -130m.

Le substratum des deux ensembles aquifères est représenté par des marnes du Miocène identifiables sur la coupe ci-dessous avec des résistivités de moins de 10 oh mm).

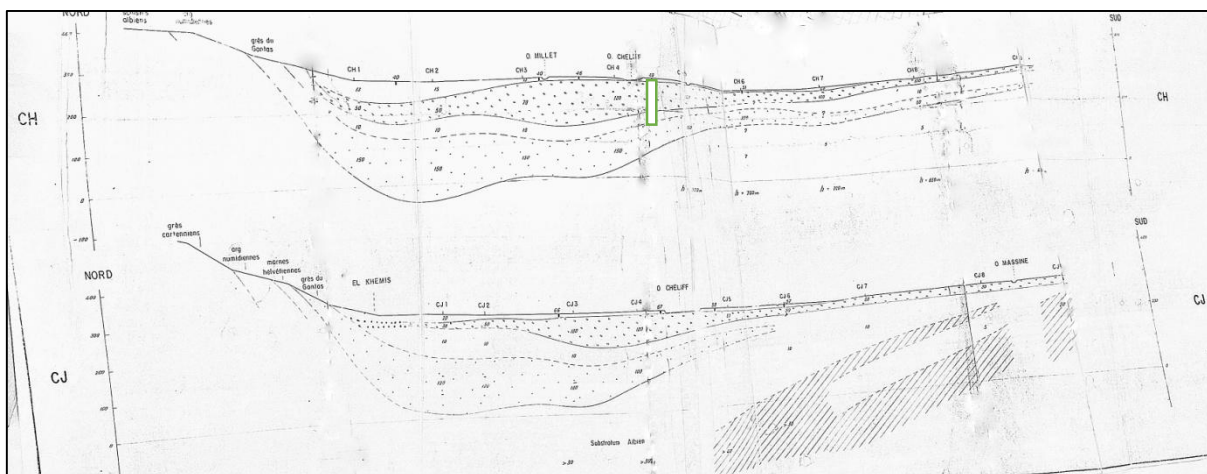


Figure II-20 : configuration géométrique des aquifères illustrés par la coupe géo électrique CH passant par la zone d'étude et implantation du forage.

La carte en iso pâque du niveau résistant quaternaire de (figure15), permet également de constater que le site proposé pour la réalisation du forage est caractérisé par un remplissage alluvionnaire constituant le premier aquifère présente une épaisseur variant de 90 à 100m. C'est d'ailleurs le seul site à l'échelle de toute la plaine où ces alluvions développent une épaisseur maximale.

I.10.5 Critères environnementaux

I.10.5.1 Risques de pollution

Dans le voisinage de la région proposée à l'étude d'implantation du forage, il n'y a pas de sites potentiels de pollution. Ainsi ni décharge, ni zones industrielles n'y sont implantées. Le seul risque de pollution est généré par l'utilisation des engrais azotés et des pesticides dans les prés où sont cultivés des céréales et des arbres fruitiers.

A ce titre, nous suggérons d'effectuer des analyses physico-chimiques avec dosage et suivis des éléments relatifs aux nitrates, nitrites et ammonium ainsi que les pesticides.

Les rejets urbains des habitations limitrophes sont toutes raccordés au réseau de collecte des eaux usées.

I.10.5.2 Risques d'inondation

Le forage sera implanté sur la plaine en rive gauche du cours d'oued Cheliff. Il est distant de 150m de ce dernier. Le dénivelé entre le site d'implantation et le lit de l'oued est importante (plus de 10m). Cette géométrie topographique permet de conclure que le site du forage est délogé des zones propices aux inondations qui peuvent surgir de la remontée des eaux du cours d'eau d'oued Cheliff

Une protection de l'ouvrage et de ces annexes contre les risques d'inondation n'est donc pas nécessaire.



Figure II-21 : Extrait d'image satellitaire illustrant la situation du forage implanté par rapport au cours d'eau d'oued Cheliff.

I.10.6 Conclusion


La synthèse de ces critères permet de confirmer la productivité de la zone d'étude, et toutes les conclusions hydrogéologiques permettent de proposer un forage qui aura un bon débit.

Il sera implanté au point de coordonnées géographiques suivantes :

X : 36°13'46,53'' N

Y : 02°14'35,10'' E

Le forage aura une profondeur de 180m et captera l'aquifère quaternaire et l'aquifère pliocène



**Partie 02 : Suivi des
travaux de réalisation du
forage**

II Suivi des travaux de réalisation du forage

II.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous mentionnerons les étapes de réalisation du forage sur la base des procès-verbaux de suivis des travaux de sa réalisation.

II.2 OBJECTIF DU FORAGE

Le forage est destiné à l'alimentation en eau potable de l'agglomération du village de BIR OULED KHELIFA situé au sud de Khemis Miliana dans la wilaya d'Ain Defla.

II.3 ORGANISATION DU CHANTIER DU FORAGE

Un chantier est limité dans l'espace et dans le temps. Cet à la fois le lieu où l'on va construire notre ouvrage et dans lequel on s'installe, il se compose de :

- Les périmètres de sécurité d'un, rayon de 30m par rapport de l'axe du forage.
- L'appareille de forage installé sur la plate-forme de béton.
- La pompe à boue installé entre le bac à boue et l'appareil de forage.
- Espaces de stockage des produits chimique (bentonite et ciment...etc.).
- Bourbier de débris ou cuttings et un réservoir d'eau.
- Un espace de stockage de matériel lourd (compresseur, tiges de forage).
- Un bureau du géologue et du chef de chantier.

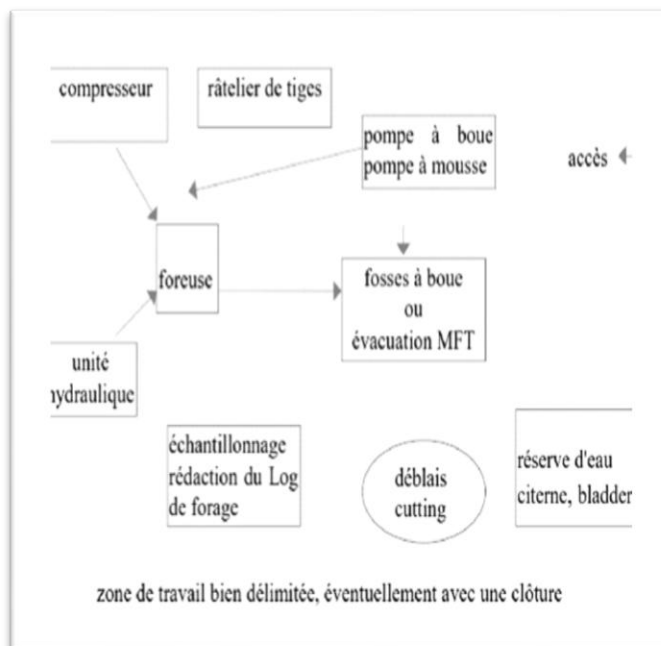


Figure II-1 : Conception d'une organisation d'un chantier de forage

II.4 PROGRAMME PREVISIONNEL DU FORAGE

Le programme du forage est établi en fonction des résultats de l'étude d'implantation de l'ouvrage. Ce programme est fonction de la profondeur de l'ouvrage projeté, du diamètre final de forassions prévu et des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques.

Ainsi, il est prévu de forer sur une profondeur de 180m de sorte à capter les aquifères représentés par les alluvions du Quaternaire et les grès du Pliocène.

Le programme prévisionnel de sa réalisation comprend les étapes suivantes :

- Forage au diamètre 20'' ou plus sur une profondeur de 10m
- Mise en place d'un tube guide en acier noire (4 mm d'épaisseur) de même de 10m de longueur.
- Cimentation de l'espace annulaire entre le trou et le tube guide.
- Forage de reconnaissance au diamètre 12''^{1/4} de -10 à -180m.
- Prélèvement de cuttings
- Enregistrement des diagraphies
- Elargissage en 17''^{1/2}.
- Elargissage finale en 19''.
- Equipement tubulaire en TNRS 12''^{1/4}.
- Mise en place du massive de gravier.
- Développement du forage.
- Essai de pompage

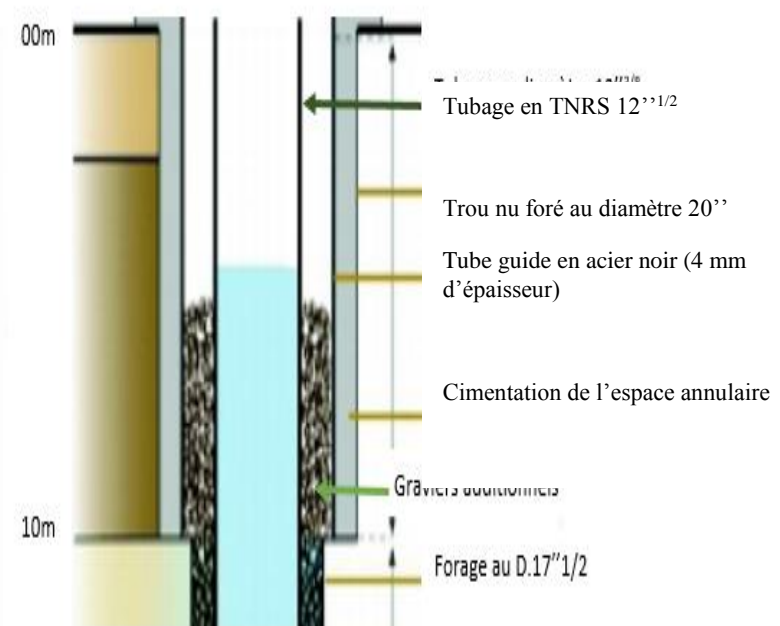


Figure II-2 : Schéma simplifié résumant les différentes phases de réalisation du forage.

II.5 CHOIX DE LA METHODE DE FORAGE

Le comportement des terrains à la foration dépendra bien sûr de leur nature, mais aussi de leur teneur en eau. L'expérience seule permet d'évaluer correctement la remontée de cuttings et l'avancement du forage en fonction de la méthode utilisée. Au-delà d'une certaine profondeur le rotary à l'air est exclu car difficile à maîtriser (remontée des cutting). Dans les terrains peu consolidés, la technique valable est celle du rotary à la boue. Toutefois, il convient à l'hydrogéologue de recommander la technique adéquate en fonction, bien évidemment, des

conditions hydrogéologiques, mais aussi d'autres aspects liés au coût de réalisation, au diamètre souhaité, la profondeur à atteindre, à l'accessibilité des sites et aussi à la durée de réalisation.

La méthode du rotary est plus rapide et plus efficace et permet à l'hydrogéologue une parfaite maîtrise des informations pouvant être recueillies, à savoir : une bonne description des cuttings, possibilité de réaliser des enregistrements de diagraphies. Le principe de cette méthode est décrit dans le paragraphe suivant.

II.5.1 La technique rotary

Elle est relativement récente, ses premières utilisations remettant aux années 1920. Cette technique utilisée spécialement dans les terrains sédimentaires non consolidés, pour les machines légères, mais des machines puissantes de rotary peuvent travailler dans les terrains durs.

Un outil monté sur une ligne de tige est animé d'un mouvement de rotation et d'une pression verticale assurée par le poids de la masse tige. Le mouvement de rotation est transmis à la ligne de sonde par la table de rotation qui entraîne la tige carrée (Kelly) à laquelle est fixé le train de tige.

La ligne de sonde et le Kelly sont creux et laissent passer la boue de forage et sont suspendus au crochet du mat par la tête d'injection. Cette dernière relie, par un col de cigogne, l'intérieur de la ligne de sonde avec le flexible d'injection et la pompe à boue.

Cette boue injectée à l'intérieur des tiges par la pompe traverse l'outil de forage (trépan) comportant des trous et remonte à la surface par l'espace annulaire en entraînant les particules de sédiments ou cuttings « broyés » par le mouvement de rotation et de pression exercés sur l'outil.

Dans son mouvement vers le haut, la boue tapisse les parois du trou et forme un « mud cake » épais qui maintient stable les parois du trou. Arrivée au sol, la boue chargée de cuttings, est écoulee à travers de rigoles, dans un ou plusieurs bassins (ou fosses préalablement creusées) pour faire décanter les cuttings avant d'être réinjectée par une pompe à boue.

Les cuttings sont échantillonnées et numérotées et permettent la reconstitution de la colonne lithologique du forage.

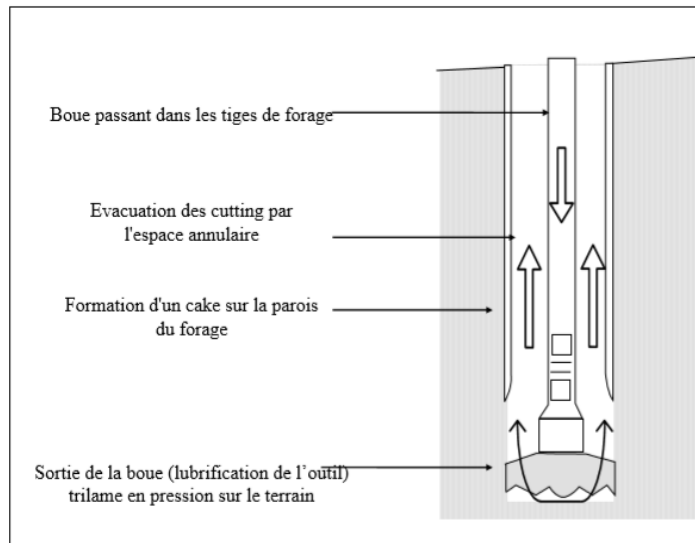


Figure II-3 : Schéma simplifié illustrant le mode de circulation de la boue dans le trou du forage.

Les outils utilisés sont divers

- **Outils à lames** utilisés dans les formations compactes à texture fine et de dureté peu élevée.
- **Taillants** pour roto percussion (MFT).
- **Outils à molette** : broient et font éclater la roche.

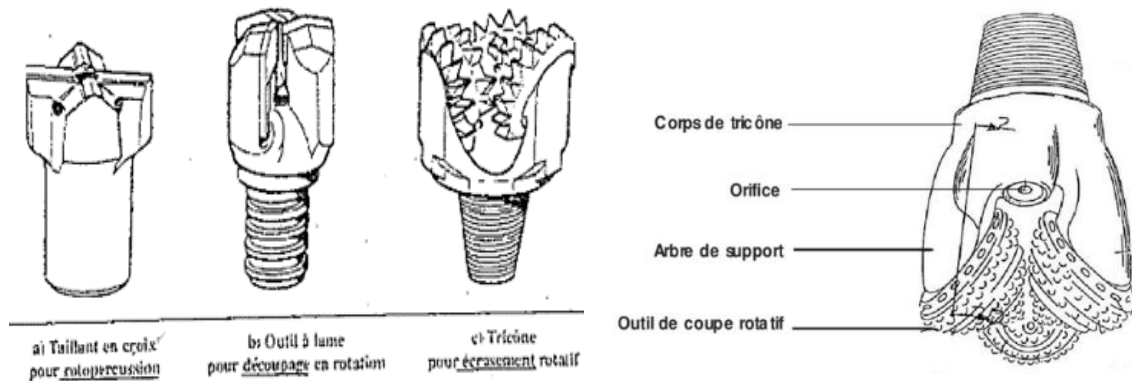


Figure II-4 : Croquis des différents outils de forage.

Il y a des outils à dents lentes et espacées pour les formations tendres et des outils à dents courtes et rapprochées pour les terrains dure. Dans le cas de notre forage nous recommandons d'utiliser un outil a dents lentes et espacés.

II.5.2 Les avantages du forage au rotary

Le forage au mode rotary a circulation inverse présente plusieurs avantages qui s'énumèrent comme suit :

- La perméabilité de la formation autour du trou est peu perturbée par le fluide de forage.
- Elle permet de forer dans des terrains à mauvaise tenue nécessitant un tubage de protection ou de maintien.
- Très recommandée dans les forages d'exploration ou de reconnaissance
- Permet un bon carottage lithologique (prélèvement de cuttings de manière régulière).
- Avantages dans les enregistrements des diagraphies.
- les forages de grands diamètres sont exécutés rapidement et économiquement
- pas de tubage pendant la foration
- facilité de mise en place de la crépine

II.5.3 La boue du forage

En 1979, l'American Pétroleur Institute (API) définit le fluide de forage comme un fluide en circulation continue durant toute la durée du forage, aussi bien dans le sondage qu'en surface. Le fluide de forage, appelé aussi boue de forage, est un système composé de différents constituants liquides (eau, huile) et/ou gazeux (air ou gaz naturel) contenant en suspension d'autres additifs minéraux et organiques (argiles, polymères, tensioactifs, déblais, ciments, ...). Le fluide de forage est préparé dans des bacs à boues, il est injecté à l'intérieur des tiges jusqu'à l'outil d'où il remonte dans l'annulaire, chargé de déblais formés au front de taille. A la sortie du puits, il subit différents traitements, décantation, tamisage, dilution, ajout de produits, de façon à éliminer les déblais transportés et à réajuster ses caractéristiques physico-chimiques à leurs valeurs initiales, puis il est ensuite réutilisé.

La boue de forage est indispensable dans ce type de forage, dont le risque d'éboulement est omniprésent car la formation aquifère est représentée par des alluvions meubles. Les actions de la boue se résument comme suit :

Les boues de forage doivent avoir des propriétés telles qu'elles facilitent, accélèrent le forage, favorisent ou tout au moins ne réduisent pas d'une manière sensible et permanente les possibilités de production des sondages.

-Nettoyage de puits

La boue doit débarrasser le trou des formations forées qui se présentent sous forme de déblais appelés plus couramment "Cuttings ". L'aptitude de la boue à entraîner les déblais dépend des variables suivantes : sa rhéologie ; sa densité et sa vitesse de circulation dans l'espace annulaire. Si la rhéologie et la densité relèvent de la boue elle-même, il n'en va pas de même de la vitesse de remontée qui dépend du débit des pompes à boues, du diamètre de forage et de celui du train de sonde.

-Maintenance des déblais en suspension

La boue doit non seulement débarrasser les puits des déblais de forage durant les périodes de circulation, mais elle doit également les maintenir en suspension pendant les arrêts de circulation, dans le but d'empêcher la sédimentation des déblais afin de redémarrer le forage sans coincement, et ceci est possible grâce à la nature thixotrope du fluide.

-Sédimentation des déblais fins en surface

Alors que la boue doit permettre le maintien en suspension des déblais dans le puits durant les arrêts de circulation, ce même fluide doit laisser sédimenter les déblais fins en surface, afin de les éliminer.

-Refroidissement de l'outil et la diminution des frottements de la garniture de forage

Du fait de son passage en surface, la boue en circulation se trouve à une température inférieure à celle des formations, ce qui lui permet de réduire efficacement l'échauffement de la garniture de forage et de l'outil. Cet échauffement est dû d'une part à la température de fond et d'autre part à la transformation d'une partie de l'énergie mécanique en énergie calorifique.

La circulation de la boue au centre de l'outil assure son nettoyage ainsi que sa lubrification. Cette dernière est bien sûr en fonction du type de boue et de ses caractéristiques.

-Dépôt d'un cake imperméable

La filtration dans les formations perméables d'une partie de la phase liquide de la boue crée un film sur les parois du sondage. Le film est appelé Cake. Sa formation dépend, non seulement de la vitesse de filtration, mais de la distribution, de la compressibilité des particules solides, de la pression différentielle de filtration et de la température. Le dépôt du cake permet de consolider et de réduire la perméabilité des parois du puits. De ce fait, il est possible de réaliser des découverts importants, donc de réduire le nombre des tubages techniques et de réaliser ainsi une économie notable.

Ce cake doit posséder certaines qualités qui sont fonction du type de boue et de l'équilibre physico-chimique du fluide. La pression hydrostatique est contrôlée par la masse volumique de la boue. Cette pression doit être assez élevée pour maintenir les parois du puits.

-Prévention des venues d'eau

Afin d'éviter le débit dans le sondage des fluides contenus dans les réservoirs rencontrés en cours de forage, la boue doit exercer une pression hydrostatique suffisante pour équilibrer les pressions de gisements. La pression hydrostatique souhaitée est maintenue en ajustant la densité entre des valeurs maximales et minimales : un minimum afin de contrôler la pression des couches et maximum afin de ne pas créer des suppressions qui pourraient endommager les formations et les réservoirs (colmatage).

-Augmentation de la vitesse d'avancement

Au même titre que le poids sur l'outil, la vitesse de rotation, le débit du fluide, le choix du type et des caractéristiques de la boue conditionnent les vitesses d'avancement instantané, la durée de vie des outils et le temps de la manœuvre, ou en un seul mot, les performances de forage. Un filtrat élevé augmente la vitesse d'avancement. Les très faibles viscosités sont aussi un facteur favorable à la pénétration des outils.

-La récupération des informations géologiques

Les déblais remontés par la boue sont la principale source d'information du géologue et permettent d'établir des logs lithologiques de forages. Ces logs sont importants dans la phase d'établissement du programme d'équipement tubulaire.

II.5.3.1 Préparation des fosses à boue

Les fosses à boue constituent une réserve de fluide de forage, et permettent le recyclage de la boue par décantation. Un premier canal de 2 mètres de longueur et de 0.20 X 0.20 m de section est creusé à partir de l'emplacement choisi pour le forage. Il se jette dans la première fosse. La première fosse (fosse de décantation) facilite la sédimentation amorcée dans le canal. Le second canal doit être décalé de l'axe du premier afin de former une chicane qui ralentit le flux et favorise la décantation. La seconde fosse (fosse de pompage) est une réserve où est pompée la boue pour être injectée dans le train de tige. Les fosses et canaux sont régulièrement curés et nettoyés des sédiments déposés en cours de forage.

Le dimensionnement des fosses à boue se fait en fonction de la profondeur du forage à réaliser. Idéalement, le volume total des fosses doit être égal à 3 fois le volume du forage :

- Profondeur du forage : 180m
- Diamètre final d'élargissage : 19''
- Soit donc un volume du trou de l'ordre de 87m³. La fosse de décantation doit être deux fois plus grande que la fosse d'aspiration.

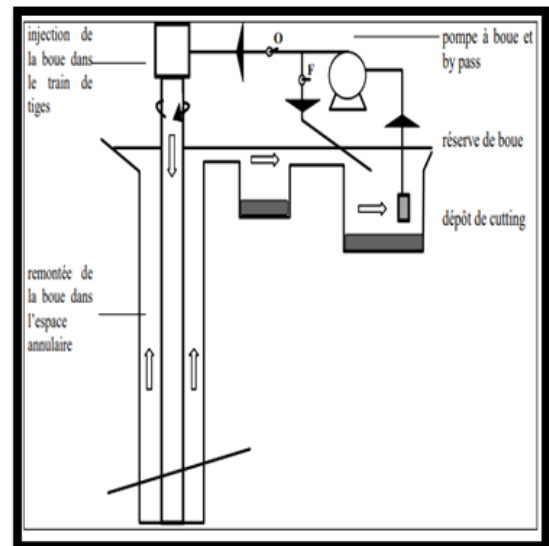


Figure II-5 : Schéma simplifié illustrant les bassins de boue.

II.5.4 Tube guide

Le tube guide est dans presque tous les cas nécessaires et peut être défini comme le tube qui isole tout le puits des terrains encaissants et qui durant les opérations contient le fluide du forage. Contractuellement le forage que nous suivons nécessite un tube guide de 10m de longueur et de 20'' de diamètre. L'espace annulaire entre le trou et le tube sera cimenté par un laitier de ciment. Cette cimentation se fera gravitairement en injectant le laitier de ciment avec une densité de 1.3.

II.5.5 Forage de reconnaissance

C'est un forage de petit diamètre pour des raisons économiques et de reconnaissance des aquifères. Le forage est entamé après prise du tube guide, en 12''1/4 jusqu'à la profondeur prévue et qui est de 180m. durant ce forage des prélèvements de puttings (échantillons de terre qui remontent par circulation inverse de la boue) pour description et identification des formations susceptibles d'être aquifère. Cette reconnaissance sera appuyée par un enregistrement de diagraphie.

A l'issue de cette reconnaissance il sera procédé aux opérations d'élargissage et d'équipement tubulaire du trou si les conclusions de l'hydrogéologue sont favorables pour assurer la productivité du forage. Dans le cas contraire le trou sera rebouché et abandonné.



Figure II-6 : outil de forage 12''1/4 (photo prise sur le chantier.

II.5.5.1 Prélèvement des cuttings

Le mode de prélèvement et la qualité des échantillons dépend de la technique de forage employée. La représentativité des échantillons de cuttings dans le cas des forages par battage ne pose pas de problèmes, car l'échantillon est prélevé directement de la cote considérée sans modification de sa composition ni délai de remontée à la surface.

Dans le cas de forage au rotary les cuttings qui remontent en surface sont hydrauliquement séparés par le fluide du forage (les éléments fins remontent plus vite que les fractions grossières. Pour obtenir une bonne représentativité des échantillons nous recommandons de procéder comme suit :

- Interrompre l'avancement de l'outil en maintenant la circulation jusqu'à ce que la boue ne contienne plus de cuttings.
- Reprendre l'avancement de l'outil en notant les cotes de début et fin de prélèvement et recueillir des échantillons produits par la zone forée. On prélève un échantillon tous les deux mètres ou à chaque fois qu'il y a variation de la nature du terrain.

Les échantillons ne doivent pas être prélevés dans le tamis mais directement dans la boue à la sortie du forage (dans la rigole). L'échantillon sera essoré, séché et placé dans un sac en plastique, de préférence transparent, et étiqueté.

Cependant les conditions de réalisation sont toujours riches d'information sur les terrains traversés et méritent d'être relevées (cadence d'avancement, pertes éventuelles lors d'usage de fluide, refus ...).

Dans le cadre du forage que nous suivons, le prélèvement des cuttings se fait pour chaque mètre foré. Les échantillons sont lavés et étiquetés (figure ci-dessus).

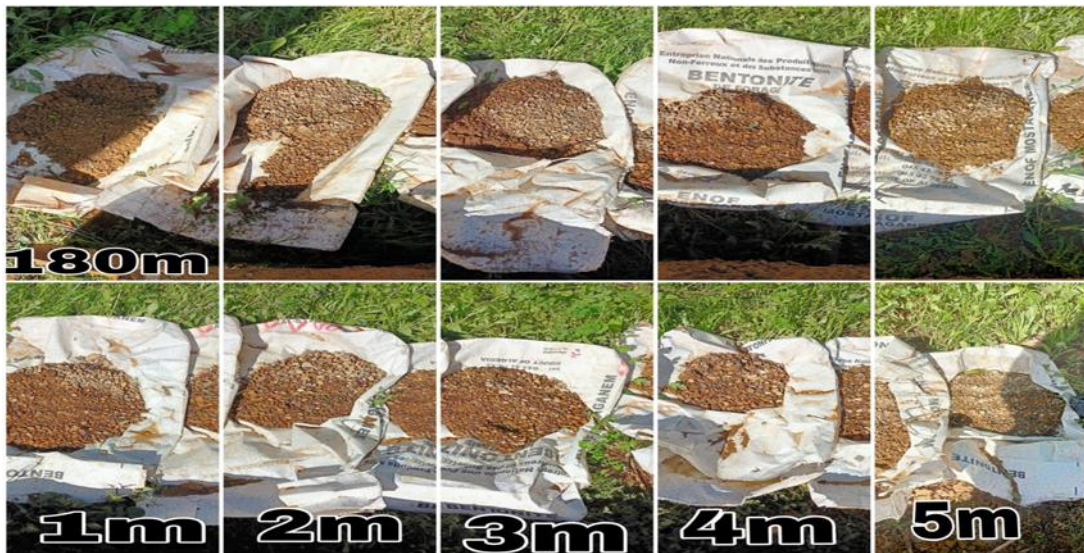


Figure II-7 : prélèvement des cuttings.

II.5.5.2 Lithologie du forage

La description des cuttings prélevées nous a permis d'établir une coupe ou log lithologique du forage. Cette coupe montre la prédominance alluvions quaternaires en surface et des grès pliocènes en profondeur.

Le prélèvement des cuttings ainsi que leur description ont permis d'établir la coupe lithologique du forage. On observe ainsi ce qui suit :

- De 0 à 140m : alluvions composées de galets, graviers et sables grossier dans une matrice argileuse.
- De 140 à 150m : Argiles plastiques jaunâtres.
- De 150 à 175m : Grès et sables.
- De 175 à 180m : Argiles.

II.5.5.3 Diagraphie

La diagraphie est une méthode géophysique qui consiste à mesurer à l'aide de déférente sondes, les caractéristiques des roches traversées lors d'un forage. D'une manière générale on appel diagraphie tout enregistrements d'une caractéristique physiques d'une formation géologique traversée par un sondage en fonction de la profondeur.

a-Objectif : La diagraphie est un enregistrement (continu) des parois d'un sondage. Cet enregistrement a pour objectif l'acquisition des paramètres physique (mécaniques, thermiques, hydraulique, électriques...) ou chimiques qui sont en relation direct ou indirect avec les caractéristiques de la roche en profondeur.

- La roche est constituée de :
- Une partie solide : épaisseur, radioactivité naturel, densité, impédance acoustique, homogénéité, température, pendage, l'étage et fracturations.
- Une partie fluide : nature et contacte des liquides interstitiels, résistance et résistivité électrique, pression hydrostatique /litho statique, log neutron, densité optique.

b-Type de diagraphe : on distingue deux types de diagraphe :

- Diagraphie instantané ou temps réel : C'est tous les paramètres géophysiques acquis au cours de la réalisation du sondage.
- Diagraphie différé (carottage électrique) : C'est l'enregistrement de paramètre géophysique après la réalisation d'une partie, ou du sondage entier, en utilisant des sondes diagraphiques qui communique avec la surface par le biais de ligne électrifiées.

c- Les moyens techniques d'enregistrement : ils comprennent un treuil, les circuits de contrôle et de commande, les outils, les sondes et un système d'enregistrement.



Figure II-8 : Treuil



Figure II-9 : Boîtier de commande et de digitalisation de l'équipement Mount Sopris.



Figure II-10 : Système d'acquisition de l'équipement OYO.

d-Présentation d'une diaggraphie : La présentation est très importante. Sur l'entête du log on doit voir figurer un certain nombre de renseignements indispensables :

- le nom de la compagnie,
- le numéro du forage et ses coordonnées,
- l'outil utilisé,
- tous les autres logs enregistrés en même temps, c'est-à-dire pendant la même opération,
- Depth – Driller : la profondeur atteinte par le forage,
- Depth – Logger : la profondeur maximum atteinte par le log,
- Btm log interval : la profondeur à laquelle le log commence véritablement,
- Top log interval : la profondeur à laquelle le log est arrêté,
- Type fluid in Hole : le type de fluide remplissant le forage, type de boue avec ses caractéristiques, densité, viscosité, pH, etc.,
- Source sample : provenance de l'échantillon de boue, en général, pris à la dernière circulation,
- Rm (m = mud = boue) : résistivité de la boue,
- Rmf (mud filtrate) : résistivité du filtrat,
- Rmc (mud cake) : résistivité du mud cake,
- Time since circulation : temps qui s'est écoulé après la dernière circulation jusqu'au log,
- Permanent datum : niveau de référence (très important en diagraphies pour l'eau),
- Casing : tubage,
- KB : Kelly bush, élévation de la table de forage.

e –Interprétation de la diaggraphie

L'enregistrement effectué sur le forage a permis de mesurer les paramètres suivants :

- Résistivité (petite et grande normale)
- Gamma ray
- Polarisation spontanée

D'une manière générale la résistivité varie de 50 à 70 ohm m. on y observe toutefois qu'il y'a :

- Un pic de 160 ohms m entre 120 et 160 m qui prouve que la formation a une bonne perméabilité.
- Un pic entre 110 et 120 m mis en évidence surtout par la GAMA RAY.
- Entre 165 et 180m une résistivité de 10 ohms m qui ne prouve pas obligatoirement que la formation est argileuse. Cela peut être dû à l'accumulation de la bentonite par décantation au fond du trou.
- Les écarts observés entre les valeurs de la petite normale et la grande normale permettent d'attester de la bonne qualité chimique des eaux de la formation (l'eau n'est pas chargée).

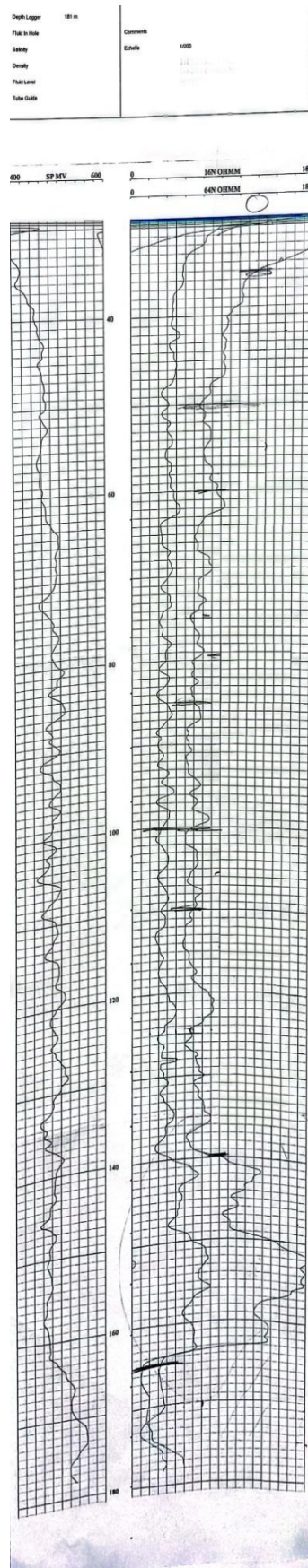


Figure II-11 : données de la diaggraphie du forage.

II.5.5.4 Conclusion

A l'issue de cette reconnaissance combinant les observations de terrain, la description des cuttings et l'interprétation des diagraphies, nous concluons que le forage a traversé des formations perméables (susceptibles d'être aquifères) constitués d'une centaine de mètre de graviers, sables et argiles du Quaternaire et des grès sableux du Pliocène enfouis sous une épaisse couche d'argiles séparant les deux aquifères potentiels.

II.6 ELARGISSAGE DU TROU

Selon le programme prévisionnel il est prévu dans le contrat d'élargir le trou en deux phase 17''1/2 et 19''. Ce diamètre au 19'' permettra de gagner un espace annulaire assez large qui sera rempli de graviers filtrant de sorte à retenir au maximum l'entraînement des particules de sables.

Les opération d'élargissage doit se faire successivement aux diamètre 17''1/2 puis en 19'' jusqu' à la profondeur prévue contractuellement (180m). En effet, la reconnaissance a montré que l'aquifère est continu jusqu'à cette cote.



Figure II-12 : outil de forage 17'' 1/2 (photo pris sur le chantier).

II.7 EQUIPEMENT TUBULAIRE

II.7.1 Plans de tubage

L'idéal est de disposer d'un forage de section constante et de placer un tubage de même diamètre d'un bout à l'autre. Mais en réalité dans les forages profonds on place des colonnes télescopiques avec réduction des diamètres au fur et à mesure que la profondeur augmente.

II.7.2 Programme des crépines

Le bon choix des crépines (diamètre, longueur, types et dimensions des ouvertures, matière, épaisseur) permet d'assurer le bon rendement du forage et sa durée de vie.

Les matériaux utilisés sont des alliages qui résistent le mieux aux attaques chimiques : fer, bronze, acier inoxydable, fer galvanisé, PVC. La corrosion électrolytique est à craindre quand deux métaux différents sont reliés électriquement dans une solution conductrice. Il est donc recommandé d'utiliser des crépines et tube de même nature (pour éviter l'effet pile). Le choix du matériau dépend bien évidemment du coût mais surtout de la granulométrie de l'aquifère. Les ouvertures de type Johnson permettent un large choix dans les dimensions des ouvertures et on peut aller jusqu'à moins de 0.25mm, contrairement aux autres types de crépine où il est souvent techniquement impossible d'avoir de petites ouvertures.

Dans notre cas on a choisi le type TNRS (tôle noire roulée soudée) parce que les eaux de la région ne sont pas acides. Les craintes de corrosion sont donc réduites, leur coût réduit et leur résistance mécanique sont autant d'atouts qui ont permis d'opter pour ce type de matériaux.



Figure II-13 : tubage du forage (photo pris sur le chantier).

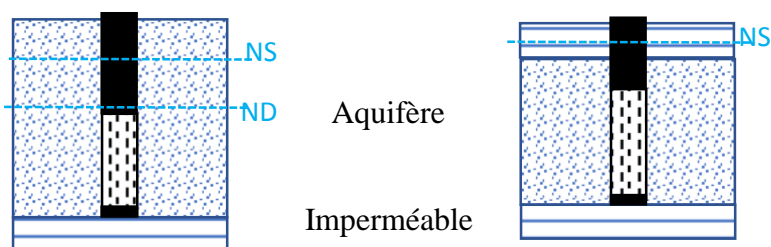
II.7.3 Position des crépines

La crépine doit être placée dans une position où les caractéristiques hydrauliques sont les meilleures. Pour choisir cette position, on doit se baser sur :

- les diagraphies instantanées,

- pertes de boue...
- le carottage.
- l'analyse granulométrique des échantillons de cuttings.
- les essais de perméabilité.

En règle générale, on crépine 70 à 80% de l'épaisseur des nappes captives. Par contre dans les nappes libres, il faut éviter de dénoyer les crépines : le niveau dynamique ne doit pas être rabattu au-dessous du bord supérieur de la crépine et on crépine le tiers de l'épaisseur total de l'aquifère.



D'après la règle générale la position des crépines doit être comme suit :

- Dans le premier aquifère (aquifère des alluvions) il faut éviter de dénoyer les crépines. Le niveau statique dans la région se situe à 24m du niveau du sol et le niveau dynamique connu grâce aux essais de pompage effectués sur les forages voisins captant les mêmes aquifères est de 55m pour des débits de 20l/s
- Dans la nappe captive (nappe des grès) on doit crépiner 80% de l'épaisseur de la nappe, l'épaisseur de la nappe qui est de 30m.

Tableau II-1 : programme d'équipement tubulaire.

Profondeur	Tubages	Type	Diametre
0-65m	Tube plein	TNRS 5mm	12''
65-85m	Tube crépiné	TNRS 5mm a nervures repoussées	
85-90m	Tube plein	TNRS 5mm	
90-110m	Tube crépiné	TNRS 5mm a nervures repoussées	
110-115	Tube plein	TNRS 5mm	
115-140	Tube crépiné	TNRS 5mm a nervures repoussées	
140-155m	Tube plein	TNRS 5mm	
155-175m	Tube crépiné	TNRS 5mm a nervures repoussées	
175-180m	Tube plein + sabot	TNRS 5mm	

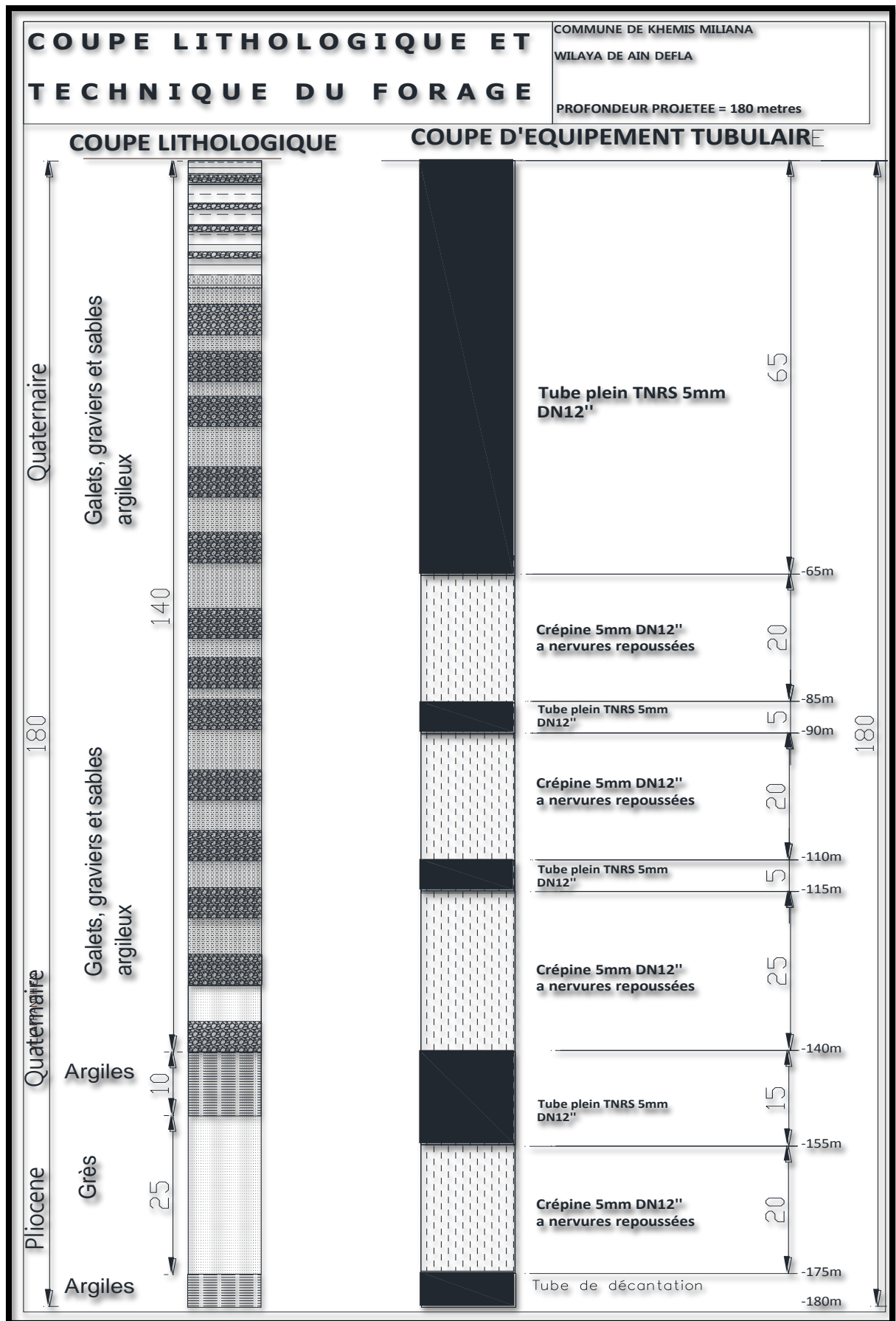


Figure II-14 : coupe lithologique du forage.

II.8 DIMENSIONNEMENT DU MASSIF DE GRAVIER

II.8.1 Définition et rôle

Il s'agit d'une enveloppe de 10 à 25cm d'épaisseur autour de la crépine. Il est disposé entre la crépine (tubage) et le terrain. Cet espace est appelé « espace annulaire ». Dans le forage rotary il est conseillé lors de sa mise en place de maintenir le forage en circulation de boue allégée de sorte à éviter ce que communément appelé les bouchons.

Le gravier est constitué d'éléments arrondis de nature siliceuse. Cela permettra d'augmenter la perméabilité et la porosité du massif de gravier. La nature siliceuse est vivement recommandée car ce type de roche résiste mieux à la dissolution (mise en solution) et assurera donc sa durée de vie.

La granulométrie du massif de gravier est déterminée à partir de l'analyse granulométrique de la formation aquifère. Son rôle :

- Permet « d'ouvrir » plus largement les crépines et donc réduire les pertes de charge singulières
- Le maintien de l'aquifère meuble
- Une fois le développement terminé, il maintient l'aquifère dans un état stable et augmente la porosité au voisinage de la crépine.

Le massif de gravier (MG) est indispensable dans les cas suivants :

- Terrains aquifères constitués de sables fins et uniformes. Dans ce cas le MG permettra de choisir une ouverture plus grande des crépines.
- Nappes aquifères épaisses et artésiennes : le MG permet de réduire le diamètre de la crépine et d'augmenter sa longueur (maintien des parois)
- Aquifères constitués par des formations mal cimentées : le MG maintient le terrain et évite sa dégradation pendant la production.

II.8.2 Essai granulométrique et tracé de la courbe granulométrique

Lors de l'analyse des cuttings nous avons sélectionné un échantillon qui contient des particules fines pour une analyse granulométrique. L'analyse granulométrique consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un granulat dont les dimensions sont comprises entre 0,063 et 125 mm. On appelle :

- Refus sur un tamis : la quantité de matériau qui est retenue sur le tamis.
- Tamisat (ou passant) : la quantité de matériau qui passe à travers le tamis.

II.8.2.1 Principe de l'essai

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les masses des différents refus et tamisats sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme graphique.

II.8.2.2 Matériel utilisé

Les dimensions de mailles et le nombre de tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue. La norme actuelle (EN 933-2) préconise, pour l'analyse granulométrique, la série de tamis suivante en (mm) : 0.063, 0.125, 0.25, 0.50, 1, 2, 4, 8, 16, 31.5, 63, 125.

II.8.2.3 Résultats

- on a pesé le refus du tamis ayant la plus grande maille : soit R1 la masse de ce refus.
- par la suite nous avons poursuivi la même opération avec tous les tamis de la colonne pour obtenir les masses des différents refus cumulés.
- Les masses des différents refus cumulés R_i sont rapportées à la masse totale de l'échantillon m_l .
- Les pourcentages de refus cumulés ainsi obtenus, sont inscrits sur la feuille d'essai. Le pourcentage des tamisats cumulés sera déduit.



II.8.2.4 Tracé de la courbe granulométrique

Les pourcentages des tamisats cumulés sont reportés sur une feuille semi-logarithmique. La courbe a été tracée de manière continue en portant (Fig 14) :

- en abscisse : les dimensions des mailles, échelle logarithmique
- en ordonnée : les pourcentages sur une échelle arithmétique.

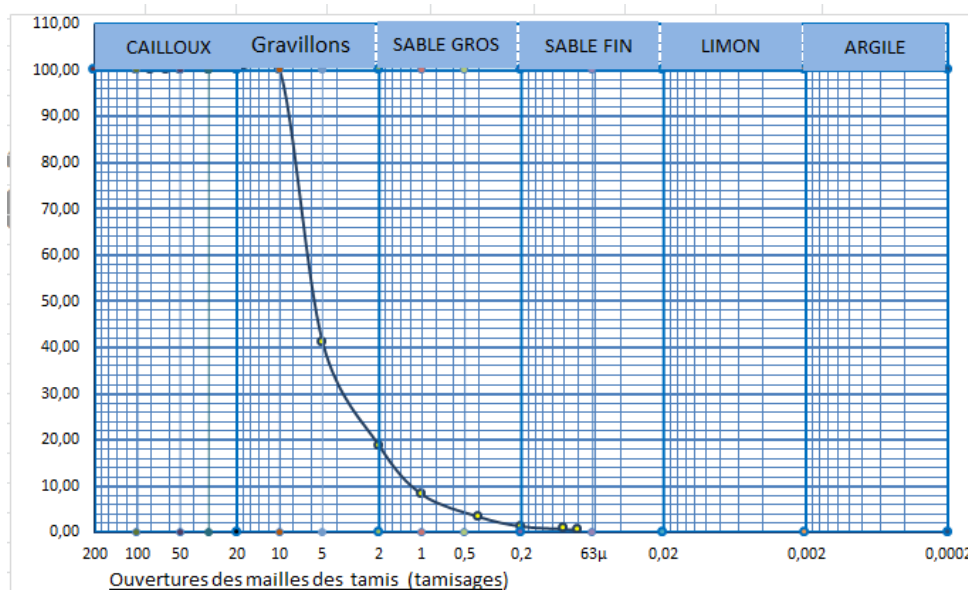


Figure II-15 : courbe granulométrique.

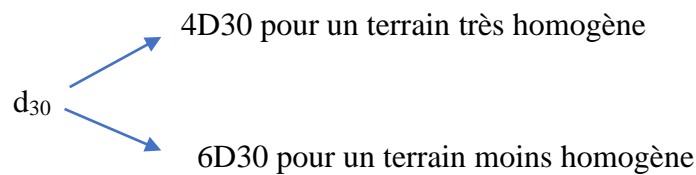
II.8.3 Dimensionnement du massif de gravier

II.8.3.1 Principe

On notera « D » : diamètre des particules de la formation aquifère et « d » : le diamètre du massif de gravier. Deux cas de figure se présentent :

Premier cas : $U_{aq} = D_{60}/D_{10} < 2.5$:

- Formule de Johnson (USA) : on prendra un massif de gravier ayant un coefficient d'uniformité $U_{gr} = d_{60}/d_{10} = 2$ de sorte que le diamètre du MG $d_{10} = 8D_{10}$
- Formule de Johnson utilisé en France :



Avec un coefficient d'uniformité $U_{gr} = d_{60}/d_{10} = 2$ à 2.5 pour les deux cas

Deuxième cas : $U_{aq} = D_{60}/D_{10} = 2.5$ à 5.

- Formule de Terzaghi : on prendra un massif de gravier ayant un diamètre d_{15} compris entre : $4D_{15} < d_{15} < 4D_{85}$ (selon Bremond) ou $5D_{15} < d_{15} < 4D_{85}$ (selon Colas De francs).

II.8.3.2 Application

$$U_{aq} = D_{60}/D_{10} = 5,638$$

Dans ce cas nous appliquerons la formule de Tarzaghi qui préconise de prendre un massif de gravier ayant un diamètre d_{15} compris entre :

$$4D_{15} < d_{15} < 4D_{85} \text{ (selon Bremond)}$$

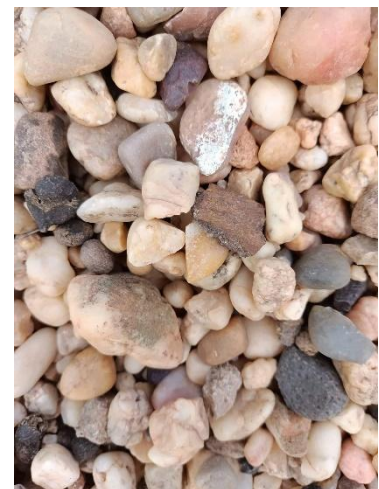
Ou

$$5D_{15} < d_{15} < 4D_{85} \text{ (selon Colas De francs).}$$

Le diamètre du massif de gravier sera alors situé entre 4.6 et 24mm.

II.8.3.3 Ouverture des crépines

Les dimensions des ouvertures des crépines sont dimensionnées à partir de l'interprétation de la courbe granulométrique du terrain aquifère. Quand il n'y a pas de massif de gravier (roches compactes à fissures ouvertes et propres : sans argiles ou limons), la crépine doit retenir 40 à 50% des



particules du terrain. En présence du massif du gravier, l'ouverture des fentes de la crépine doit être inférieure au diamètre de la particule la plus fine du gravier utilisé.

Les ouvertures des crépines sont dimensionnées en unité slot = 1/1000 pouces.

D'autres part le choix du type de crépine permet d'optimiser le pourcentage des vides ou indice des vides « I ». Cet indice conditionne la vitesse d'entrée de l'eau. Un tube crépiné dont $I < 0.5$ soumettra la crépine à de forts jets d'eau (vitesse d'entrée de l'eau trop élevées) ce qui provoquera à long terme sa détérioration.

$$I = \frac{\text{surface totale des fentes}}{\text{surface du tube}}$$

Le diamètre des ouvertures des crépines sera alors inférieur au diamètre de la fraction fine du massif du gravier. Nous proposons donc une ouverture de diamètre de 3mm.

II.9 DEVELOPPEMENT DU FORAGE.

II.9.1 Généralités

Après la mise en place de la colonne de tubage (tubes pleins et tubes crépinés) et du gravier et avant de mettre le forage en production, il est indispensable de procéder à son développement. Cela consiste, entre autres, à améliorer la perméabilité de la formation aquifère située autour de la crépine et à stabiliser cette formation. Il permet aussi d'éliminer les éléments fins qui colmatent naturellement le terrain et la boue de forage utilisée (mud cak) lors de la foration et à agrandir les fissures dans les roches massives fissurées. Il faut savoir que la mise en production immédiate d'un forage sans développement aurait des conséquences fâcheuses :

- Elle ne permettrait pas de d'obtenir le débit optimal pouvant être fourni par l'aquifère.
- Elle entrainerait certainement d'importantes venues de sables (endommagement de la crépine et de la pompe, colmatage, et tassement du massif de gravier)

Le développement d'un forage consiste à nettoyer la zone de l'aquifère à proximité immédiate des crépines afin d'éliminer tous déblais et fluides de forage, ainsi que les sédiments en suspension.

Le développement d'un forage est réalisé soit par pompage, soit par soufflage (air-lift) et il doit permettre d'atteindre un débit nominal d'au moins 30% supérieur au débit d'exploitation du forage. Un forage doit être développé jusqu'à l'obtention d'une eau claire dépourvue de turbidité et de toutes particules fines. Le développement de certains forages prend quelques

heures tandis que pour d'autres, il peut nécessiter plusieurs jours, selon la géologie du terrain et la méthode de forage.

On peut se passer du développement dans le cas d'un aquifères à terrain fissuré ou karstiques et alluvionnaires (graviers propres).

II.9.2 Procédés utilisés

Ils existent plusieurs protocoles techniques permettant de réaliser un développement d'un forage. Le choix du protocole suppose une bonne connaissance du contexte hydrogéologique et technique du forage mais aussi des moyens disponibles :

- Air lift,
- Développement a la pompe,
- Pompage alterné - différentes méthodologies peuvent être mises en œuvre pour obtenir de brefs et puissants chocs de pression,
- Pistonnage - création d'un mouvement de «va et vient » par l'emploi d'un piston actionné verticalement,
- Jetting -projection d'un puissant jet d'eau (éventuellement d'air) horizontal à travers la crépine, généralement associé à l'air lift,
- sur pompage – à utiliser par tranche successive de crépines ou pour des débits d'exploitation beaucoup plus faibles que le débit de sur pompage,
- Surfaturations dans le cas de forage en terrain consolidé (granite, calcaire, grès, etc.) –
- Développement chimique : utilisation de différents agents chimiques (acide, polyphosphates etc..) sélectionnés en fonction des caractéristiques lithologiques des formations,

II.9.2.1 Développement par surpompage :

C'est la méthode la plus simple, elle est couramment utilisée, mais ce n'est pas la plus efficace. Le procédé consiste à mettre, provisoirement, le forage en production par un pompage à un régime (débit) supérieur à celui fixé pour l'exploitation. L'inconvénient de cette méthode réside dans les faits suivants :

- Le surpompage est unidirectionnel, il est donc sans effets sur les ponts de sable qui ne peuvent être rompus que par un flux alterné.
- Ce procédé entraîne une détérioration rapide de la pompe utilisée.
- Si l'on augmente le débit d'exploitation (pour répondre a des besoins supplémentaires) les venues de sables sont à craindre

II.9.2.2 Développement par pompage alterné

Cela consiste à mettre le forage en pompage par une pompe avec un débit maximal pour atteindre un rabattement maximal et on arrête brusquement le pompage. Toute l'eau de la colonne d'aspiration va retomber brusquement. On crée ainsi des variations brutales de pression

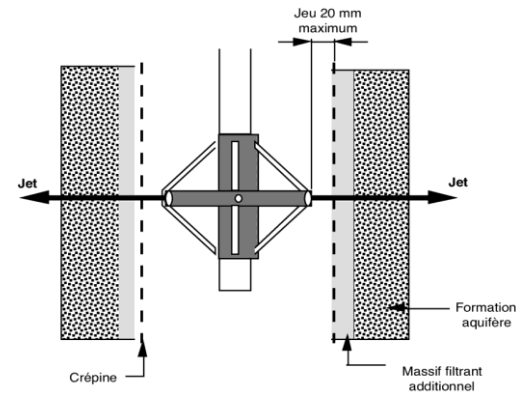
qui ont pour effet de développer la formation. On recommence l'opération autant de fois que nécessaire jusqu'à obtention d'eau claire. On emploie de préférence une pompe centrifuge classique à axe vertical, sans clapet de pied.

II.9.2.3 Développement par pistonnage

Cette méthode exercée à l'aide d'un piston actionné verticalement dans les deux sens à l'intérieur d'un forage tubé et crépiné. Dans son mouvement de remontée, le piston crée une dépression, au-dessous de lui, qui attire l'eau et le sable fin de la formation vers la crépine. Ce sable traverse la crépine et s'accumule à l'intérieur. On l'extrait ensuite par cuillère. Le classement des matériaux de la formation et du massif du gravier, tout autour et au voisinage immédiat de la crépine, s'opère progressivement dans cette zone sensible.

II.9.2.4 Développement par lavage au jet sous pression

Le lavage au jet sous pression est simple et moins coûteux. Un outil à jet, très facile à construire, est relié à une pompe à haute pression, la tuyauterie, rigide ou souple, la robinetterie et la cuverie correspondantes constituent tout l'équipement. Les puissants jets d'eau ou de solution chimique sont projetés, à travers la crépine, dans la formation, ou dans le massif de gravier additionnel qui l'entoure. Par la lente rotation de cet outil, combinée avec un mouvement vertical de va-et-vient, la surface entière de la crépine est soumise à l'action vigoureuse des jets.

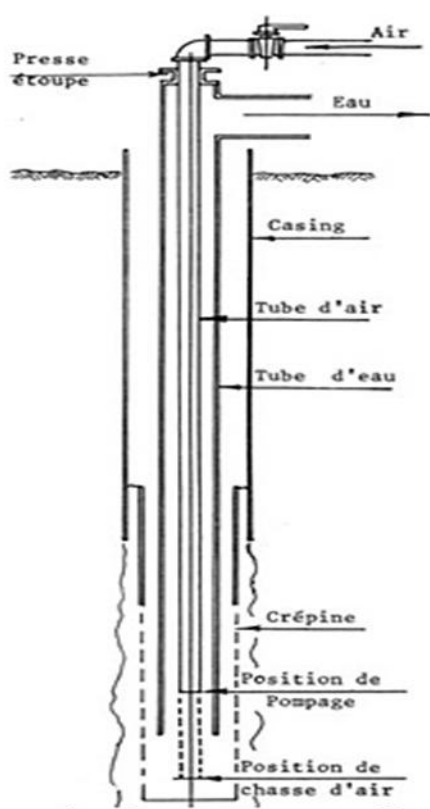


La turbulence créée déplace les particules de sable qui pénètrent dans la crépine et qui sont extraites soit par pompage air lift soit à l'aide d'une cuillère.

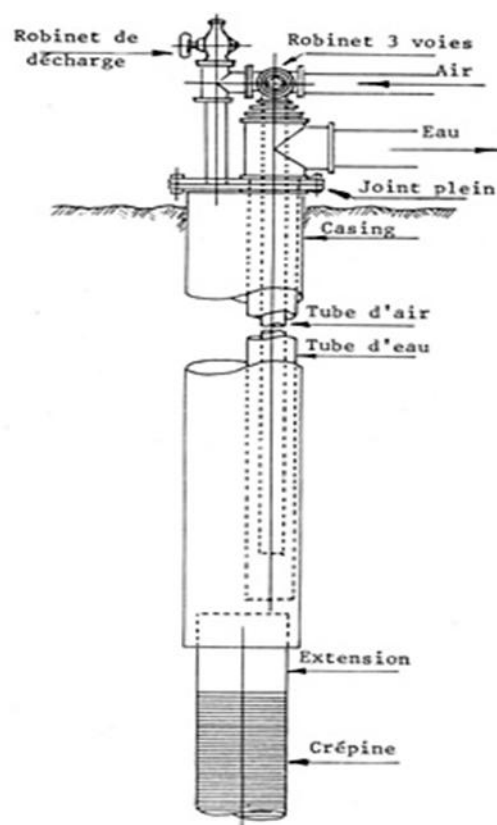
II.9.2.5 Développement par air lift

Cette méthode est la plus efficace si elle est bien adaptée et bien conduite. Elle présente l'avantage de n'entraîner aucune détérioration du matériel employé. Cette méthode permet à la fois d'extraire les particules fines et de pomper l'eau chargée vers l'extérieur en alternant l'action de flux et de reflux provoquée par de grands volumes d'air introduit dans l'ouvrage via un compresseur d'air. Cette méthode offre aussi de meilleurs résultats quant au tassement du massif de gravier et le classement de ces éléments.

La figure suivante montre le montage à réaliser. L'opération consiste à alterner les phases de pompage à l'air-lift (en utilisant un compresseur d'air) et de soufflage brusque. Cette dernière phase est réalisée en descendant le tube d'air à l'intérieur de la crépine.



(Source documentaire : SFE)



(Source documentaire : SFE)

Figure II-16 : Equipements et dispositif de développement d'un forage à l'air lift.

II.9.2.6 Conclusion

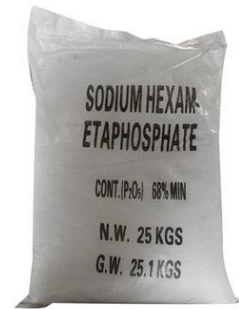
En raison d'une panne produite sur le forage, les travaux sont toujours à l'arrêt et cette opération de développement n'est pas encore réalisée. Contractuellement il est programmé un développement à l'air lift en utilisant un compresseur d'air de 20 bars pendant une durée de 72 heures. Le programme de développement que nous suggérons est comme suit :

Etape 1	Profondeur	Durée minimale
Première chambre	65-85m	4 h
Seconde chambre	90-110m	8h
Troisième chambre	115-140	12h
Quatrième chambre	155-175m	12h
Etape 2 : après injection de l'Hexamétaphosphate	Profondeur	Durée minimale
Première chambre	65-85m	4 h
Seconde chambre	90-110m	8h
Troisième chambre	115-140	12h
Quatrième chambre	155-175m	12h

II.9.3 Traitement chimique

II.9.3.1 Traitement aux polyphosphates

Les polyphosphates (pyrophosphates tétrasodiques hexamétophosphates de sodium, etc.) agissent sur les échanges sodium-calcium, et provoquent la défloculation des argiles qui sont ensuite éliminées par pompage à l'air lift. Ce produit assure l'élimination du mud cake et de la bentonite utilisée lors du forage ainsi que les éléments argileux de la formation aquifères (si elle en contient). Leur mise en œuvre s'effectue par des pistonages successifs à l'air lift (dispositif à tête de forage fermée) pour obtenir un effet mécanique qui déstabilise le dépôt argileux. Le produit est fourni en poudre emballé dans des sacs et doit être dilué dans de l'eau avec agitateur avant son introduction dans le forage.



II.9.3.2 Traitements aux acides

Ce moyen est utilisé pour les terrains aquifères renfermant des éléments que le produit employé permet d'éliminer en les solubilisant. On le recommande pour les terrains à perméabilité de fissures (les carbonates les granites les grès à ciments calcaires) dans la mesure où l'acide chlorhydrique permet d'agrandir les passages d'eau en terrain fissurés. Son action est très rapide. Elle peut être répétée en fonction des améliorations constatées.

II.9.3.3 Conclusion

La nature des terrains traversés qui ne contiennent des terrains carbonatés laisse suggérer un traitement unique à l'hexa métaphosphate. Cette solution permettra d'éliminer le mud cake et de défloculer la bentonite et les argiles présents dans les niveaux quaternaires. Cette opération est indispensable pour permettre à l'eau des niveaux aquifères de s'écouler vers le forage. À cet effet nous préconisons d'injecter, à tête fermée, 200kg de produits en deux phases de 100kg chacune.

Le développement s'effectuera au système Air-Lift. L'entreprise doit être équipée de :

- compresseur avec compte heures fonctionnel.
 - pression minimale de service : 20 bars
 - volume d'air produit
 - diamètre colonne eau 80mm
 - diamètre colonne air 2 pouces
 - vanne pour pompage alterné
 - robinet de retour

- un bac de 01 m³ avec vanne de vidange pour les mesures de débit
- un appareil de mesure du niveau d'eau : sonde
- un chronomètre
- un poste à souder pour un éventuel développement à forage fermé.
- un équipement approprié pour un éventuel traitement à l'aide de produits chimiques :
- polyphosphates - acides - chlore

Le pompage à l'air lift se fera par un dispositif qui comprend :

- Des tubes d'eau (de 80mm de diamètre) avec vanne à la sortie du puits,
- Les tubes d'air seront introduits à l'extérieur des tubes d'eau.

L'air sera injecté par un compresseur jusqu'à obtention d'eau claire. La vanne sera fermée toutes les heures à raison de 4 mn pour créer une turbulence dans l'ouvrage permettant la destruction des ponts de sables. L'objectif de cette opération consiste à extraire toutes les particules fines en suspension et de nettoyer les dépôts fins du fond du trou. L'action simultanée de pompage et de barbotage permet de créer un flux d'eau dans le sens aquifère-système de captage et inversement et donne alors de bons résultats pour l'élimination des particules fines y compris celles qui sont retenues par le massif de gravier filtrant.

L'injection d'air lift et pompage se fera de haut en bas en face de chaque crépine et nettoyage du tube de décantation. Cette opération, dont la durée sera déterminée par l'ingénieur chargé du suivi, doit néanmoins durer au moins 72 heures.

II.10 LES ESSAIS DE POMPAGE

II.10.1 Généralités

Les tests de pompage interviennent après les opérations de nettoyage et de développement du forage. Ils sont d'autant plus importants que le prélèvement envisagé est élevé. On distingue les essais de puits et les essais de nappe.

II.10.2 Objectifs des essais de pompage

Les essais de pompage ont comme objectifs :

a- la détermination des différentes caractéristiques hydrodynamiques de la nappe aquifère :

- La perméabilité K
- La transmissivité T
- L'étendue de la nappe : le rayon d'action Ra (rayon d'influence)

- Le coefficient d'emmagasinement S

Dans ce cas on réalise un essai de pompage de longue durée.

b- le réglage optimal du débit d'exploitation d'un forage pour éviter la surexploitation et l'assèchement de la nappe, à travers :

- La détermination du débit spécifique, du rabattement spécifique, la productivité de l'ouvrage, le débit maximum admissible et le rabattement maximum admissible.
- La détermination des durées et des périodes de pompage.
- La détermination de la position optimale pour l'emplacement de la pompe.

Dans ce cas on réalise des essais de pompage de courtes durées (essais par palier). Ce type d'essai, dit de courte durée, réalisé à débits croissants de durée constante, vise à s'assurer des capacités de production du forage. L'essai permet de déterminer le débit à ne pas dépasser en cours d'exploitation (débit critique) sous peine de détérioration de l'ouvrage et le débit d'exploitation optimum. Les caractéristiques de la pompe dépendent des résultats obtenus. Les tests consistent en 3 à 5 pompages à débit croissant mais de durée constante (1 à 2 h) espacés d'un temps d'arrêt au moins équivalent permettant à la nappe de retrouver son niveau d'équilibre initial. Les débits des différents paliers sont choisis sur la base du débit atteint en fin de développement. La durée est à moduler en fonction du débit escompté. Le pompage doit être accompagné de la mesure simultanée des niveaux d'eau dans le forage.

Ces données permettent de tracer la courbe caractéristique du forage qui montrent l'évolution des rabattements en fonction du débit (voir figure suivante qui illustre un exemple d'application).

La courbe caractéristique montre une pente régulière dans sa partie initiale et une partie terminale qui s'incurve. La partie incurvée révèle des turbulences dans l'écoulement de l'eau souterraine vers la pompe qui, à terme peuvent endommager celle-ci, déstabiliser le massif de gravier et provoquer l'apparition d'eau turbide. Il convient donc de ne pas dépasser un débit critique que l'on situe graphiquement au point d'inflexion de la courbe caractéristique. Le débit d'exploitation sera fixé à 10% en dessous de ce débit critique. D'autres facteurs peuvent également conduire à réduire le débit d'exploitation : ne pas dénoyer les crépines ni la pompe (contrainte sur le rabattement) et respecter les éventuelles contraintes liées à l'influence du forage sur les puits voisins.

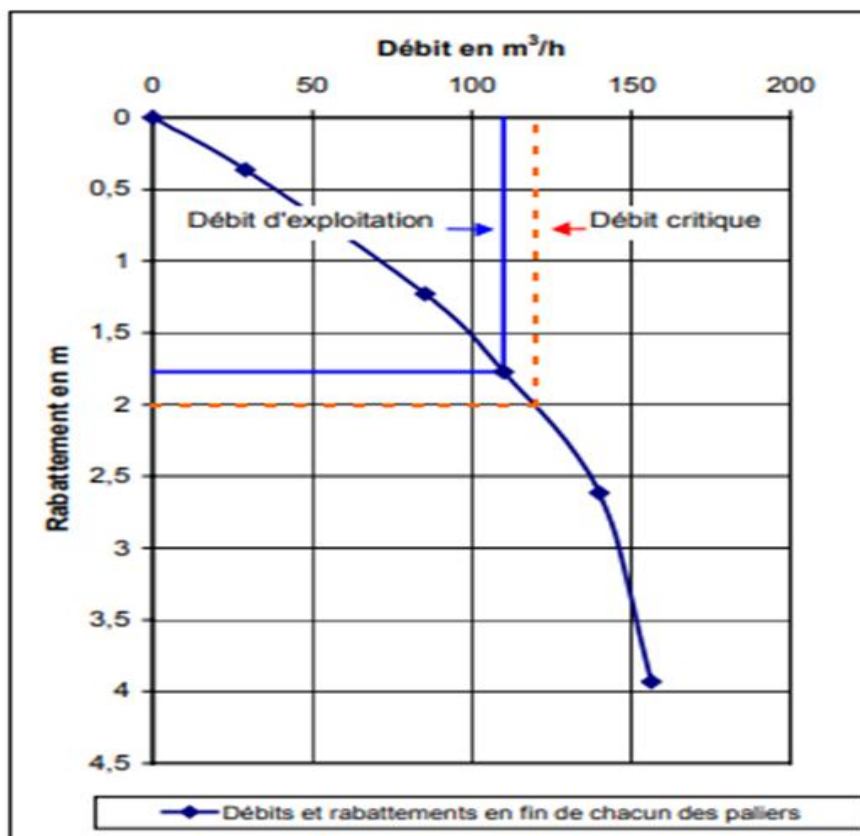


Figure II-17 : Courbes des rabattements en fonction des débits.

Après les opérations de traitement, le forage doit subir un essai de pompage par palier afin d'évaluer le débit d'exploitation. L'essai comportera :

- Un essai à blanc de 12 heures avec débits croissants de 2 à 8 l/s.
- Un essai par paliers (enchaînés, de 4h) selon le programme suivant :

Palier de débits	Débits (l/s)	Durée en mn
1 ^{er} palier	8	120
2 ^{eme} palier	16	120
3 ^{eme} palier	24	120

Les niveaux statique et dynamique doivent être mesurés à chaque fin de palier dans le forage en pompage.

Les équipements nécessaires pour cette opération sont :

- Une pompe immergée de 24 l/s minimum à 150m de HMT

- Colonne d'eau de 80mm de diamètre minimal
- Deux sondes électriques pour la mesure du niveau d'eau
- Deux chronomètres
- Un bac avec vanne de vidange pour les mesures de débit
- Vanne de sortie du puits
- Tuyauterie pour évacuer l'eau à 15 mètres du forage

A la fin des opérations de l'essai, un autre essai de longue durée de 72h sera réalisé avec un débit constant qui sera déterminé suite aux essais précédents. La durée de l'essai pourra être réduite s'il y a stabilisation du niveau ou prolongée jusqu'à obtention d'eau claire. Cet essai permettra de tracer une courbe de l'évolution des rabattements mesurés dans le forage en fonction du temps de pompage.

L'interprétation de la courbe selon le modèle de jacob ou de theis permettra de calculer les paramètres hydrodynamiques des aquifères notamment la transmissivité, la perméabilité et le coefficient d'emménagement.



Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

La région du Haut Cheliff est caractérisée par un climat semi-aride, avec un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec, influencé par des facteurs géographiques (éloignement de la mer, altitude et orientation des reliefs). L'étude géomorphologique, montre que les différents paramètres du relief attestent d'un bassin du Haut Cheliff ayant une pente faible, ce qui favorise également l'infiltration des eaux au détriment du ruissèlement.

L'étude climatique établie sur une période de 23 ans (2000 et 2015), montre que la région d'étude est caractérisée par une température moyenne annuelle de 18.5°C et des précipitations moyennes annuelles estimées à 377,2 mm. L'évapotranspiration réelle est estimée à 229,8 mm, mobilisant 60,92% des précipitations. Le ruissèlement ne représente que 4,88% des précipitations, ce qui représente une lame de 18,43mm. L'alimentation de la nappe se fait à l'aide de l'infiltration qui est estimée à 101,01 mm soit 26,51% des précipitations.

La plaine alluviale du Haut Cheliff correspond à un remplissage alluvionnaire d'âge mio-plio-quaternaire, représenté par des dépôts alluvionnaires du Quaternaire et des grès et poudingues du Mio-Pliocène d'une épaisseur de 50 à 100 m. Les marnes constituent le substratum de ce complexe aquifère. Les coupes lithologiques transversales effectuées dans la plaine du Haut Cheliff font apparaître l'allure synclinale des différentes formations constituant le sous-sol.

Le meilleur moyen d'obtenir une eau de bonne qualité est l'exploitation d'un aquifère par la réalisation d'un forage d'eau, qui doit être implanté dans un environnement propre, éloigné de toute source potentielle de pollution, de manière à limiter les risques de dégradation de la qualité des eaux souterraines lors de sa réalisation ou de son exploitation.

La synthèse des connaissances hydrogéologique de la région a permis de reconnaître la géométrie des aquifères notamment par l'appui des connaissances géophysiques. D'après l'étude géophysique nous constatons que les formations qui ont un intérêt hydrogéologique sont représentées par les alluvions du Quaternaire et les grès du Pliocène. En effet, l'examen des coupes géo électriques permet de constater que ces deux aquifères sont séparés par un horizon conducteur probablement argileux. Vu l'épaisseur relativement faible (< 100m) des alluvions quaternaires qui constituent le premier aquifère et surtout la profondeur du niveau statique (30m), nous avons préconisé de réaliser un forage qui captera aussi bien le premier aquifère et le second aquifère attribué aux grès et sables du Pliocène apparaissant avec des résistivités de 120 à 150 ohm.m. Le toit de ce dernier est atteint à -130m. De ce fait le forage à réaliser aura

Conclusion générale

une profondeur de 180m et servira à renforcer la capacité de mobilisation des eaux pour subvenir aux besoins en eau potable de la ville de Bir Ouled Khelifa.

Le creusement des forages demande des connaissances spécialisées et des compétences techniques. Cependant, les opérations de terrain dans des zones difficiles exigent souvent de la flexibilité et de l'imagination pour éviter et résoudre les problèmes techniques.

Le bon choix des crépines (diamètre, longueur, types et dimensions des ouvertures, matière, épaisseur) permet d'assurer le bon rendement du forage et sa durée de vie. La crépine doit être placée dans une position où les caractéristiques hydrauliques sont les meilleures.

L'interprétation des diagraphies instantanées, la description des cuttings et les informations recueillies sur le chantier (comportement de la boue du forage) ont permis d'établir le programme d'équipement tubulaire du forage. Le dimensionnement du slot des ouvertures des crépines mais aussi de massif de gravier a été fait sur la base des analyses granulométriques des échantillons de cuttings. En effet, le tracé de la courbe granulométrique a permis de déterminer le coefficient de conformité du massif du gravier et de déduire ainsi le diamètre des ouvertures des crépines.

Le développement du forage est nécessaire pour maximiser la productivité du forage et optimiser la capacité de filtration du massif de gravier. On y parvient en enlevant les particules fines et les additifs de fluide de forage, et en compactant le massif filtrant.

Les tests de pompage (l'essai de puits, et l'essai de nappe) permettent de définir le débit de la pompe qui équipera l'ouvrage, sa position et le régime d'exploitation ; ceci pour protéger à la fois la ressource, le forage et la pompe.



Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

Ahmadouche S., Ben Hammou I., 2021 : Profils en travers le long de lit de l'oued Chélif dans la partie de la plaine du Haut Cheliff : caractéristiques hydrogéologiques (mémoire fin d'études université de Khemis Miliana 2021).

Attafi, 2018 : évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines a la pollution a l'aide d'une méthode spécifique si : application sur l'aquifère alluvial du haut Cheliff, mémoire fin d'étude. Université Djilali Bounaama Khemis Miliana.

Agence Nationale des Ressources Hydrauliques : Données de températures et précipitations 2021.

Belmouloud F., 2012 : Etude géologique de la région d'Ain Defla (université des sciences et de la technologie USTHB) année 2012.

Bremond R. ,1965 : Etude des caractéristiques technologiques des puits et forages sur leur rendement et leur longévité.

CICR., 2012 : Réalisation et réhabilitation des forage dans les conditions de terrain (revue technique).

Compagnie Générale de la Géophysique., (1969) : études géophysique des plaines du Cheliff, demrh, Alger de Montpellier, in international journal of earth sciences. Année 1958.

Claus R., 1972 : Le milieu du haut-chelif et ses implications agronomiques. L'agronomie tropicale. Série 2, agronomie générale.

Dom zig.,2006 : Déformation active et récente, et structuration tectonosédimentaire de la marge sous-marine algérienne. Année 2006.

DRE Ain Defla : données piézométriques.

INERGAPROJEKT., 2008 : carte des ressources en eaux au 1/200000, de la région de Blida.

Institut National de cartographie., 1986 : carte géologique Miliana 84.

Kireche o., 1993 : évaluation géodynamique de la marge tellienne maghrébine d'après l'étude du domaine parautochtone shistose.

Références bibliographiques

Landjerit A., Cherabli F., (2021) : Étude de la qualité physico-chimique des eaux souterraines et de surfaces destinées pour l'alimentation en eau potable dans la ville d'Ain Defla mémoire fin d'études université de Khemis Miliana. Année 2021.

Mattaeur m., (1958) : Le style tectonique des chaînes telliennes et Rifaines. Université.

Mabilot A., 1971 : les forage d'eau-guide pratique.

Messelmi.H., (2011) : Evolution physico-chimique des eaux souterraines de la nappe alluviale du moyen Chélif (mémoire de Master en géosciences, eau et Environnement, Centre universitaire de Khemis Miliana année 2011).

Metaiche Mehdi, 2013 : Forage-technique et procédés.

Sahraoui N., 2015 : étude de la cohérence entre la vulnérabilité a la pollution et la qualité des eaux souterraines : plaine de Khemis Miliana. Algérie (université de Khemis Miliana) année 2015.

Office National de la Géologie, 1927 : Carte Géologique au 1/500000 Khemis Miliana .

Touhari F., 2016 : études de la qualité des eaux de la vallée du haut Cheliff école nationale supérieur d'hydraulique Algérie. Année 2016.

Pérédons, 1957 : étude géologique du bassins néogène sublittoraux de l'Algérie occidentale.