

REPUBLIQUE ALGERIENNE DIMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLEB –BLIDA 1

Faculté de Technologie
Département des Sciences de l'Eau et Environnement



MEMOIRE DE MASTER

Filière : Hydraulique

Spécialité : Ressources Hydrauliques

Thème :

**Suivi technique de la réalisation d'un forage d'eau pour le
renforcement d'AEP de la commune de Chebli – Blida.**

Présenté par :

- REGHISSA Brahim
- SANA Ahmed

Devant le jury composé de :

M. M BESSNASSE	Professeur. U.de BLIDA	Présidente
M. BOUZERIA HOUSSEYEN	MCB. U.de BLIDA	Examineur
M. A GUENDOZ	Professeur. U.de BLIDA	Promoteur
M. BACHIR MOHAMED ALI	Ingénieur d'Etat, DRE, de Blida	Co-Promoteur

2021-2022

الملخص :

أنجزنا هذا الحفر وهدفنا في هذه المذكرة هو المتابعة التقنية لتعزيز إمدادات مياه الشرب في بلدية الشبلي. وتمت عملية المراقبة بدأ من تثبيت الموقع (الحفر الاستكشافي. التسجيل البياني. برنامج الأنابيب. تنزيل الأنابيب. الحصى) وتم العمل بنجاح. كما أكدت اختبارات التطوير والضخ بعد انتهاء العملية بإنتاج 12 لتر في الثانية من التدفق. وهذا يلبي الهدف المحدد من الدراسة ويساهم في تعزيز مياه الشرب ببلدية الشبلي.

الكلمات المفتاحية: الحفر. موارد المائية. سهل متيجة. اختبار الضخ. هيدروجولوجيا

Résumé :

La réalisation du forage objet du suivi technique de ce mémoire entre dans le cadre de renforcement de l'AEP de la commune de Chebli.

Les opérations de suivi depuis l'installation du chantier au (forage de reconnaissance, l'enregistrement diagraphie, programme de tubage, descente de tubage, massif de gravie ...etc) ont été effectués avec succès.

Les essais de développement et du débit confirment ces opérations avec la production du débit de 12 L/s.

Ce qui répond à l'objectif fixé dans l'étude et dans contribue au renforcement de l'AEP Chebli.

Mots clés : Forage, ressource en eau, plaine de Mitidja, essais de pompage, hydrogéologie.

Abstract :

Our objective in this note is technical follow-up to enhance drinking water supply in Chebli municipality.

Monitoring started from the installation of the site (reconnaissance drilling, logging graphique Tube Program, tube download,) Implemented successfully.

Development and flow tests confirm these operations with the production of 12 L/s flow.

This meets the study's objective and contributes to the promotion of drinking water in Chebli municipality.

Keywords: Drilling, water resources, plain of Mitidja , pump tests , hydrogeology

Remerciement :

Avant tout, nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir accordé la foi, le courage, la santé et les moyens de conception de ce modeste travail

Nous adressons des remerciements particuliers à notre encadreur Monsieur le professeur « **A. GUENDOZ** » qui nous a dirigés au cours de cet ambitieux travail. Son esprit critique et ces judicieux conseils ont grandement facilité la réalisation de cette étude.

Nous tenons à remercier notre Co-encadreur monsieur **BACHIR** pour son soutien, aide et pour les sorties au chantier qui nous ont permis de prendre une idée sur la vie professionnelle.

Nous voulons exprimer notre reconnaissance envers les responsables de DRE qui ont suivi la réalisation du forage

Nous saisissons également cette occasion pour adresser mes profonds remerciements aux responsables et au personnel de l'entreprise Djeddou. Un grand merci pour leur accueil chaleureux au sein du chantier à la commune de Chebli. Ils m'ont beaucoup appris sur leur travail.

Nous tenons à remercier l'ensemble de l'équipe de laboratoire de **l'ADE de CHIFFA** pour leur patience et ses précieux conseils.

Nous tenons aussi à gratifier les membres de jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail.

A tous les enseignants du département science de l'eau et l'environnement, Université Blida 1

Dédicace

*Ce mémoire n'aurait pas pu aboutir sans la bénédiction du **Bon Dieu**, qui nous a donné le courage et la volonté pour réaliser ce travail et qui a entendu nos prières.*

*A ma source de puissance, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie « **mon père**». Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi. Que **DIEU** vous accorde longue vie et prospérité.*

*A l'étoile et la flamme qui guide ma vie **Ma mère**, qui a œuvré pour ma réussite, par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie. Que Dieu vous accorde longue vie et prospérité.*

*A mes chères frères **HAMZA** et son épouse **Meriem**, **AZZEDINE** et **SID AHMED**, et un dédicace tout particulier A ma chère sœur **KHAOULA**, qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.*

A ma grand-mère, mon grand-père, mes oncles et tantes, à mes cousins et cousines

*Et toute la famille **REGHISSA ET SAADAT***

*A mon grand-père **Ibrahim** et ma grand-mère **Khaira** et ma tante **Messaouda** que dieu les préserve dans son vaste paradis*

*Sans omettre mon binôme **AHMED** pour son bon humeur et pour les moments jamais inoubliables, Je dédie ce travail dont le grand plaisir lui revient en premier lieu pour ses conseils, aide, et encouragements.*

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagné durant mon chemin d'études, mes aimables amis, mes collègues d'études, mes frères et sœurs de cœur et mes professeurs.

Enfin, je dédie ce mémoire à tous ceux qui nous ont aidées de près ou de loin à achever ce modeste travail.

REGHISSA Brahim

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

*Aux êtres les plus chers dans ma vie **Mon très cher père**, mon repère, pour son aide inestimable et son soutien durant mes parcours et toute ma vie.*

***A Ma très chère mère**, ma douce, pour sa patience, sa tendresse et son aide précieux. Pour leur : amour, sacrifice, patiences, soutien moral et matériel depuis mon enfance jusqu'à ce jour.*

Que Dieu les garde pour nous, et je leurs dit : « merci pour tout et que nous avons toujours besoin de vous ».

A mes très chers frères Bilal, Rabah, son épouse Fayza et ses enfants Adam, Khadidja, Sohaib

A mes très chères sœurs Sadjeya et ses enfants Ilyas, Amer, Zineb ; Hamida et ses enfants Wail, Farah, Meriem, Houssam, Mohamed ; Naima et ses enfants Chaima, Marwa, Mohamed, Mahmoud ; Baya et ses filles Ritadj, Doaa, Aridj ; Rahima et ses enfants Abd El Moumen, Ayoub.

***A ma chère grand-mère Khaira
A ma chère tante Zohra***

A Mon chère binôme, Mon frère « Ibrahim », pour son entente, son oreille attentive, durant toute cette période.

***A tous mes amis et mes collègues qui me sont très chères
A tous les membres de ma promotion.***

A tous ceux qui me sens chers et que j'ai omis de citer.

SANA Ahmed...

LISTE DES ABREVIATIONS

AEP : alimentation en eau potable

SEV : sondage électrique vertical

D.R.E : Direction des Ressources en Eau

A.P.C : assemblée populaire communale

A.N.R.H : Agence National des Ressources Hydriques

B.V : Bassin Versant

C.G.G : Compagnie Générale De Géophysique

T.N.R.S : Tôle Noir Roulé Soudé

T.P : Tube Plaine

T.C : Tube Crépiné

N.S : Niveau Statique

N.D : Niveau Dynamique

O.M.S : Organisation Mondiale de Santé

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 : Localisation de la ville de Chebli (source A.P.C Chebli service technique)	4
Figure II-1 : Distribution du courant créée par une électrode dans un sol homogène et isotrope	16
Figure II -2 : Représentation des Equipotentiels et des filets de	16
Figure II-3 : Répartition du courant Électrique	17
Figure II-4 : Représentation d'un SEV.....	18
Figure II-5 : Matériel d'acquisition multi-électrodes	18
Figure II-6 : Différentes configurations pour la méthode électrique,	21
Figure II-7 : Dispositif de Schlumberger et Wenner	22
Figure II-8 : machine Rotary	25
Figure II-9 : le mât.....	27
Figure II-10 : moufle fixe	28
Figure II-11 : moufle mobile	28
Figure II-12 : Photo de Tête d'injection	29
Figure II-13 : Photo de Table de rotation.....	29
Figure II-14 : Photo de Pompe a boue.....	30
Figure II-15 : Photo de treuil.....	30
Figure II-16 : Photo de tige d'entraînement.....	31
Figure II-17 : Photo de tiges forage.....	32
Figure II-18 : Photo de masses tige.....	32
Figure II-19 : outils avec différents diamètres.....	33
Figure III-1 : Présentation de la plaine de la Mitidja (source : ANRH)	36
Figure III-2 : Localisation du champ captant du forage projeté.....	38
Figure. III-3 : Carte de localisation des stations pluviométriques.....	41
Figure III.4 : Histogramme de Variation des précipitations moyennes mensuelles pour la période (1980-2017)	42
Figure. III- 5 : Histogramme de Variation des Température à la station de Dar El Beida (1980-2010).....	43
Figure III-6 : Carte géologique de la plaine de la Mitidja	45
Figure II-7 : Carte de situation du sondage électrique (CGG).....	47
Figure II-8 : Coupe géo électrique « V »	48

Figure III-9 : Coupe interprétative transversale de la Mitidja dans le bassin de Mazafran.....	49
Figure III-10 : Carte piézométrique de la nappe de la Mitidja.....	52
Figure IV-1 : Photo: installation de la machine rotary.....	56
Figure IV-2 : photo bassin à boue.....	57
Figure IV-3 : photo sac de la bentonite	58
Figure IV-4 : photo tube guide	58
Figure IV-5 : Photo processus de forage d'illustration.....	59
Figure IV-6 : Photo du conditionnement des cuttings dans des sachets étanches.....	60
Figure IV-7 : photo Illustrations des équipements employés pour réaliser une diagraphie.....	61
Figure IV-8 : photo de différents diamètres des outils de foration	71
Figure IV-9 :photo tube décanteur avec sabot.....	71
Figure IV-10 : photo de tube crépine et plein	72
Figure IV-11 : Photo mise en place du tubage	72
Figure IV-12 : photo de mise en place du massif filtrant	74
Figure IV-13 : Photo d'un compresseur de 16 bars.....	75
Figure IV-14 :photo Opération de développement à l'air lift du captage (vanne ouverte).....	76
Figure IV-15 : Coupe technique longitudinale de l'opération de développement à l'air lift (vanne ouverte)	77
Figure IV-16 : Coupe technique longitudinale de l'opération de développement a l'air lift (l'opération de barbotage)	77
Figure IV-17 : photo préparation et injection de l'héxamétaphosphates	78
Figure IV-18 : photo Sonde piézométrique manuelle.....	79
Figure IV-19 : photo Débitmètre.....	80
Figure V-20 : photo Compteur analogique.....	80
Figure IV-21 : La courbe d'ajustement de $s/Q=f(Q)$	82
Figure IV-22 : courbe caractéristique de forage FCh4.	83
Figure IV-23 : courbe de descente.....	85

Figure IV -24 : Courbe la remontée	87
Figure V-1 : Photo d'un conductimètre.	91
Figure VI-2 : Photo du PH-mètre utilisé.....	92
FigureVI-3 : Photo d'un Turbidimètre (TL2300).....	93
Figure VI-4 : Photo d'un Spectrophotomètre (UV-Visible).....	94
Figure : photo enregistrement diagraphie	ANNEXE

LISTE DES TABLEAUX :

Tableaux	Page
Tableau I.1 : Population actuelle et prévisionnelle (A.P.C Chebli service statistique)	5
Tableau I-2: Evolution de la Dotation nette en l/j/hab. (source PNE).	5
Tableau I.3 : Débit moyen journalier brute aux différentes années.	6
Tableau I.4 : Rendement global fixé selon le Plan National de l'Eau de 2010	7
Tableau I.5 : tableau des besoins de consommation	8
Tableau II-1 : Porosité, perméabilité et résistivité de différentes roches	15
Tableau III-1 : Caractéristiques de la forme du BV.	40
Tableau. III-2 Caractéristiques des stations pluviométriques.	40
Tableau III-4 : Précipitations interannuelle moyennes des précipitations (1980-2017)	42
Tableau III-5 : Température moyenne, maximale et minimale à la station de Dar El Beida (1980-2010)	43
Tableau III-6 : litho stratigraphique de la plaine de la Mitidja (Quaternaire)	46
Tableau II-7 : Les résistivités des couches traversées.	48
Tableau III-8 : Coefficients d'emmagasinement S rapportés par McDonald	51
Tableau IV-1 : Programme de Coupe lithologique	62
Tableau IV-2 : programme du tubage	63
Tableau IV-3: Différents diamètres des outils utilisés	64
Tableau IV-4 : Caractéristiques de pompage par paliers de l'ouvrage de production FCh4	75
Tableau IV-5 : les essais de pompage de longue durée Q= 12 l/s (la descente)	78
Tableau IV-6 : les essais de pompage de longue durée Q= 12 l/s (la remontée)	80
Tableau V-1 : les valeurs des différents paramètres physico-chimiques de l'eau du forage FCh4	91

TABLE DES MATIERES

Introduction générale.....	02
➤ Chapitre I : la présentation de la ville de Chebli – Blida.....	03
1.1 Situation géographique et administrative :.....	04
I.2 : Données socio-économiques :.....	05
I.2 .1: Donnée démographique :.....	05
I.2 .2: La dotation :.....	05
I.2 .3: Calcul des ratios :.....	06
➤ Chapitre II : Généralités sur les techniques de reconnaissance et de forage :	09
II.1 : Technique de reconnaissance :.....	10
□ Géophysique appliquée :	10
II.1 .1: Introduction :	10
II.1 .2 : Principe de la méthode par prospection électrique :	11
II.1 .3 : Propriété physique des roches :.....	11
II.1 .4 : La résistivité électrique des roches :	12
II.1.5 : les methodes electriques.....	15
II.2 : Généralité sur les techniques de forage ::.....	22
II.2.1 :Introduction.....	22
II.2.2 : Forage par battage :.....	22
II . 2.3 :Par marteau fond de trou :	23
II . 2.4. : forage par rotary :.....	25
➤ Chapitre III : Présentation de la zone d'étude.....	34
III . 1:Situation géographique :	35
III . 2 :Aperçu géomorphologique :	36
III . 3 :Aperçu Hydro-climatique :	40
III . 4 :Aperçu géologique	44
III . 5 : Aperçu Hydrogéologique :.....	48
III. 6. La piézométrie :.....	51
➤ Chapitre IV : Description des travaux de foration.....	55
IV.1 : Description des opérations de suivi de réalisation du forage :.....	56

IV.2 : Opération de foration :.....	58
IV.3: Reconnaissance géophysique par diagraphie :.....	60
IV.4 : Alésage :.....	63
IV.5 : Opération descente du tubage :.....	64
IV.6 : Le massif filtrant :.....	66
IV.7 : Développement :.....	69
IV.8 : Les essais de pompage :.....	73
➤ CHAPITRE V : étude de la qualité physico-chimique de l'eau de forage (FCH4)	83
V.1:Matériel et méthode d'analyse :	84
V.2:Paramètres physiques :	85
V.2.1:Conductivité électrique :	85
V.2.2 : Température :	86
V.2.3:Le potentiel hydrogène pH :	86
V.2.4: Turbidité :	87
V.3 :Paramètres chimique :	87
V . 3.1 :Titre Alcalimétrique Complet (TAC) :	87
V . 3.2 :Titre Alcalimétrique (TA) :	87
V . 3.3 :La dureté totale (TH) :.....	87
V . 3.4 :Teneur des Nitrates NO_3^- :.....	88
V . 3.5 :Teneur en ammonium (NH_4^+):.....	88
V . 3.6 : Teneur des nitrites (NO_2^-) :.....	89
V . 3.7 :Teneur en chlorures (Cl^-) :.....	89
V . 3.8 :Teneur en Sulfates (SO_4^{2-}):	89
V . 3.9 :Teneur en fer total (Fe) :.....	90
V . 3.10 :Teneur en calcium (Ca^{2+}) et en magnésium (Mg^{2+}):	90
V . 4 :Résultats et interprétation :	91
➤ Conclusion générale	94
➤ références bibliographiques.....	95
➤ ANNEXE.....	99

Introduction générale

INTRODUCTION

L'eau est maintenant un problème critique pour toutes les sociétés. La crise actuelle est bien plus qu'une question de rareté. L'Algérie souffre aujourd'hui de pénuries chroniques d'eau, ce qui conduit à des pénuries, en particulier dans les zones urbaines.

Nous mentionnons en particulier la ville de Blida, Avec le développement socio-économique d'une part et la forte pression démographique et urbaine d'autre part, la demande en eau est en constante augmentation. Dans ce contexte, le projet de forage (FCH4) dans la région de Chebli a été réalisé par la Direction des Ressources en Eau. Pour le renforcement d'AEP de la commune de Chebli-Blida.

L'objectif de ce travail est de faire le suivi technique de toutes les opérations de réalisation de ce forage FCH4, depuis l'installation du chantier jusqu'à la dernière opération des essais de pompage.

En plus le projet de fin d'étude est scindé en deux parties ; la première partie traite sur une étude bibliographique.

Et la deuxième partie représente l'aspect pratique.

La partie bibliographique est composée de trois chapitres énumérés comme suit :

- Chapitre I : Présentation de la ville de Chebli – Blida.
- Chapitre II : Généralités sur les techniques de reconnaissance et de forage.
- Chapitre III : Présentation de la zone d'étude.

La seconde partie est composée aussi de deux chapitres énumérés comme suit :

- Chapitre IV : Description des travaux de foration.
- Chapitre V : étude de la qualité physico-chimique de l'eau de forage (FCH4).

CHAPITRE I :

Présentation de la ville de Chebli – Blida.

CHAPITRE I : Présentation de la ville de Chebli – Blida

Dans ce qui suit, nous allons présenter la commune de Chebli, en indiquant sa situation géographique, puis nous allons estimer ses besoins de consommation en eaux potable.

I.1 : Situation géographique et administrative :

Créée lors du découpage administratif de 1984, Chebli se situe au Sud de son chef-lieu de Daïra Bouainan à environ **08 km**, Chebli est distante de 33 km d'Alger et **22 km**, de son chef-lieu de Wilaya Blida. Géographiquement, la Commune se trouve en plein centre de la plaine de la Mitidja (enclavée entre l'atlas tellien au Sud et le sahel de Birkhadem au Nord). Elle englobe une superficie d'environ **6146 ha** avec une population de **42328 habitants**, soit une densité de **6,89habitants à l'hectare**. [1]

Ses limites administratives sont :

- Au Nord : Ouled Chebel et Birtouta
- A l'Est : Sidi Moussa et Oued EL Harrach
- Au Sud : Bouinan et Hamam Melouane
- A l'Ouest : Boufarik

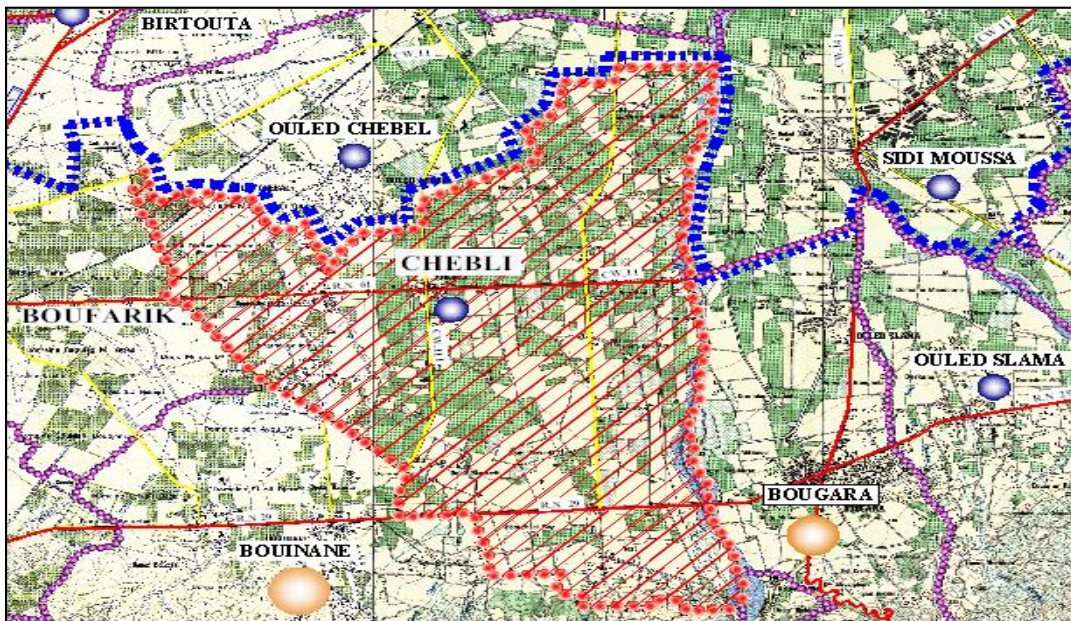


Figure I-1 : Localisation de la ville de Chebli (source A.P.C Chebli service technique)

CHAPITRE I : Présentation de la ville de Chebli – Blida

I.2 : Données socio-économiques :

II.2 .1: Donnée démographique :

D'après le recensement qui a été effectué par le service de l'APC de Chebli en 2020, la commune était composée de 42328 habitants.

Le calcul prévisionnel de la population future obéit à la relation :

$$P_n = P_0(1 + \tau)^n$$

P_0 : Population à l'année de référence

P_n : Population future

τ : taux démographique estimé à 3 %

n : nombre d'années

Tableau I.1 : Population actuelle et prévisionnelle (A.P.C Chebli service statistique)

Horizon	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Population (hab.)	42328	48964	56762	65804	76284	88438	102524

II.2 .2: La dotation :

La dotation unitaire domestique varie dans le temps et selon la typologie de l'agglomération. Notre zone d'étude est considérée comme une zone urbaine dit « supérieur » selon le PNE 2010 (Plan national de l'Eau 2010) compte tenu de la dimension de sa population estimée en 2020 à 42328 habitants. [2]

Tableau I-2: Evolution de la Dotation nette en l/j/hab. (source PNE).

Typologie agglomération/ strates de population	
Désignation	Caractéristique
Les métropoles à statut particulier de délégation (SPE)	Alger ; Oran ; Constantine ; Annaba
Les métropoles	Villes de plus de 300.000 habitants
L'urbain dit « supérieur »	1000.000 < pop. <300.00 habitants

CHAPITRE I : Présentation de la ville de Chebli – Blida

L'urbain	20.00 < pop. < 100.000 habitants
Semi urbain	5.000 < pop < 20.000 habitants
Semi rural	3.000 < pop < 5.000 habitants
Rural aggloméré	600 < pop < 3.000 habitants
Rural épars	Population inférieure à 600 habitants (100 unités d'habitation)

II.2 .3: Calcul des ratios :

- Débit moyen journalier brute Q_m^j :

Par définition c'est le rapport entre le volume écoulé, durant une journée complète (de 0 à 24 h), et la durée correspondante. Ce volume est calculé à partir de la chronique des débits instantanés. Si le débit est exprimé en (m³/s), le volume est calculé en (m³) et la durée est de 86 400 (s).

La consommation moyenne journalière est exprimée en mètre cube par jour et donnée par la relation suivante : [2]

$$Q_m^j = \frac{Dot \times pop}{1000} \text{ m}^3 / \text{j}$$

Q_m^j : Débit moyen journalier en m³/j ;

Dot : Dotation unitaire en l/j/hab. ;

pop : Nombre de consommateurs.

Tableau I.3 : Débit moyen journalier brute aux différentes années.

Horizon	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
<i>La population</i>	43051	48964	56762	65804	76284	88438	102524
<i>La dotation</i>	160	160	175	185	210	215	218
Q_m^j (l/s)	79.72	90.67	114.96	140.89	185.41	220.07	258.68

CHAPITRE I : Présentation de la ville de Chebli – Blida

- **Débit maximal journalier Q_{max}^j :**

Le débit maximal journalier noté Q_{max}^j est défini comme étant le débit d'une journée de l'année ou la consommation est maximale. [2]

$$Q_{max}^j = Q_{moy}^j / Rg \text{ en } (m^3/j)$$

- Q_{max}^j : Débit maximal journalier en (m^3 / j) ;
- Q_{moy}^j : Débit moyen journalier en (m^3 / j) ;
- R : Rendement.

a\ Débit maximal journalier :

$$Q_{max}^j (\text{dis}) = Q_{moy}^j / Rg \text{ } m^3 / j$$

Tableau I.4 : Rendement global fixé selon le Plan National de l'Eau de 2010

Horizon	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Rendement de distribution (Rd)	54	59	60	68	72	77	81

- **Débit de pointe journalier Q_p^j** : Le débit journalier de pointe noté Q_p^j sera obtenu en affectant à la demande de base un coefficient de pointe journalière k_p^j et en tenant compte du rendement du système global de distribution d'eau. [2]

Et il exprimé par la formule suivante :

$$Q_p^j = k_p^j \times Q_{max}^j \text{ } m^3 / j$$

Q_p^j : Débit de pointe journalière en (m^3 / j) ;

k_p^j : Coefficient de pointe journalière $1,05 \leq k_p^j \leq 1,15$;

Nous choisissons la valeur moyenne $k_p^j \approx 1.1$

CHAPITRE I : Présentation de la ville de Chebli – Blida

Tableau I.5 : tableau des besoins de consommation

Horizon	Unité	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Population	hab.	43051	48964	56762	65804	76284	88438	102524
Dotation	l/hab./j	160	160	175	185	210	215	218
Q_m^j	l/s	79.72	90.67	114.96	140.89	185.41	220.07	258.68
Q_m^j	m ³ /j	6888.16	7834.24	9933.35	12173.74	16019.64	19014.17	22350.23
Rg	%	54	59	60	68	72	77	81
Q_{\max}^j	m ³ /j	12756	13278.37	16555.58	17902.55	22249.5	24693.72	27592.87
K_p^j	/	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Q_p^j	m ³ /j	14031.6	14606.21	18211.14	19692.81	24474.45	27163.1	30352.2

CHAPITRE II :

Généralités sur les techniques de reconnaissance
et de forage.

CHAPITRE II : Généralités sur les techniques de reconnaissance et de forage.

II.1 : Technique de reconnaissance :

- Géophysique appliquée :

II.1 .1: Introduction :

La géophysique est la science qui étudie les phénomènes Physiques dont la terre et l'univers sont le siège. La géophysique est née de l'interaction de ces phénomènes physiques avec les paramètres physiques liés à la roche ou caractéristiques des roches. [3]

Les méthodes géophysiques mesurent les variations spatiales et temporelles des propriétés physiques du sous-sol. En fait, le géophysicien mesure certains paramètres physiques du sous-sol afin d'en obtenir une image qu'il essaie ensuite de traduire en terme géologique. Quand la prospection géophysique vise à définir des paramètres qui sont en liaison directe ou indirecte avec les ressources en eau souterraine, il s'agit de l'hydro géophysique. [4]

Les paramètres physiques des roches (caractéristiques des roches) sont : La densité, la résistivité électrique, la susceptibilité magnétique, l'élasticité (paramètres élastiques), la permittivité électrique ou diélectrique, la température, la porosité, la perméabilité, le rayonnement ou radiation.

Ainsi à chaque relation établie entre propriété physique de la roche (paramètre physique de la roche) et champ physique se construit une méthode géophysique, nous avons par conséquent :

- o la méthode gravimétrique
- o La méthode magnétique
- o La méthode sismique
- o La méthode électromagnétique
- o La méthode électrique
- o La méthode radioactive [3]

Dans le cadre de ce mémoire on développera beaucoup plus la méthode géophysique par prospection électrique.

CHAPITRE II : Généralités sur les techniques de reconnaissance et de forage.

II.1 .2 : Principe de la méthode par prospection électrique :

La prospection électrique est une des méthodes géophysiques, appliquée dans l'exploration du sous-sol, par sondage électrique vertical ou par profilage électrique (recherche des conducteurs). Le signal émis consiste à envoyer un courant électrique dans le sol à travers des électrodes d'émission (A, B) et recevoir la réponse du sous-sol à travers les électrodes de réception (M, N). La profondeur d'investigation s'étale de quelques centimètres à quelques centaines de mètres de profondeur; donc son spectre d'utilisation est très large: En sub-surface, en recherche minière, dans l'agriculture, dans l'aménagement du territoire, construction de bâtiments, des ponts et chaussés, voies ferrées, dans les recherches archéologiques, également dans la recherche des aquifères en hydrogéologie. Elle est utilisée en sub-surface, grâce aux techniques de multi électrodes, on peut ausculter la partie superficielle du sol avec une grande précision. [3]

La base théorique de la prospection électrique, consiste à étudier le champ électrique correspondant aux coupes géo électriques prédéfinies ou données théoriques (modèles théoriques). Le modèle théorique celui des courbes théoriques ou abaque est obtenu à partir de cette formule :

$$\rho_a = \rho_1 [1 + 2 \sum r^3 (K_{12}) n / [(r^2 + (2nh_1)^2)^{3/2}]$$

La résolution du problème inverse consiste à retrouver les paramètres géo électriques à partir des données expérimentales; le problème inverse est la confrontation du modèle théorique avec celui du modèle expérimental Le modèle expérimental est obtenu à partir des mesures prises sur le terrain et sont convertis à l'aide de cette formule :

$$\rho_a = K \cdot \Delta V / I ; \quad K : \text{coefficient du dispositif}$$

II.1 . 3 : Propriété physique des roches :

Une roche : Une roche peut être définie comme un assemblage de minéraux ayant hérité de liaisons plus ou moins fortes au cours de son histoire géologique. La description d'une roche se fait sur un échantillon observé à la loupe et éventuellement au microscope optique polarisant ou électronique à balayage. On décrit la texture, les minéraux présents, la taille des grains, les fissures et les altérations. [3]

CHAPITRE II : Généralités sur les techniques de reconnaissance et de forage.

Le nom d'une roche est donné en fonction de sa composition minéralogique, de sa texture et de son mode de formation. Ce dernier conduit à distinguer trois grandes familles de roches : sédimentaires, métamorphiques et magmatiques.

Les propriétés ou caractères physico-chimiques des roches adoptés pour les études géophysiques doivent, à la fois, être suffisamment différenciés ou contrastés d'un milieu à l'autre ou d'une roche à l'autre et d'autre part fortement ressentis (forte amplitude) afin d'assurer un bon enregistrement du signal par les différents capteurs géophysiques.

- ❖ Densité des roches
- ❖ Propriétés magnétiques des roches.
- ❖ Vitesse de propagation d'un ébranlement dans les différentes roches.
- ❖ Propriétés électriques des Roches (résistivité)
- ❖ Propriétés électromagnétiques
- ❖ Propriétés radioactives
- ❖ Propriétés thermiques [3]

II.1 . 4 : La résistivité électrique des roches :

II.1.4.1 : Définition :

La résistivité électrique ρ (ou son inverse la conductivité, $\sigma = 1/\rho$) d'un milieu est par définition la propriété physique qui détermine l'aptitude de ce milieu à s'opposer au passage du courant électrique. Elle est exprimée en ohm.mètre ($\Omega.m$ ou ohm.m) et la conductivité en siemens/mètre (S/m) ; en hydrogéologie on utilise habituellement la conductivité en mS/m ou le $\mu S/cm$ pour avoir des valeurs entières. La résistivité d'un sol dépend essentiellement (Astier, 1971) de la teneur en eau, de la minéralisation de l'eau, de la teneur en argile ainsi que de la granulométrie. [3]

Calcul de la résistivité :

Nous Supposons que sur la surface de la terre homogène de résistivité ρ il y a deux prises de terre ponctuelles A et B et deux électrodes M et N entre lesquelles on peut mesurer la différence de potentiel. Calculons la différence de potentiel ΔV entre les électrodes M et N. [3]

CHAPITRE II : Généralités sur les techniques de reconnaissance et de forage.

- Potentiel en **M**

$$V_M = \rho \cdot I / 2 \pi (1/r_{AM} - 1/r_{BM})$$

- Potentiel en **N**

$$V_N = \rho \cdot I / 2 \pi (1/r_{AN} - 1/r_{BN})$$

ΔV entre M et N

$$\Delta V = \rho \cdot I / 2 \pi (1/r_{AM} - 1/r_{BM} - 1/r_{AN} + 1/r_{BN})$$

$$K = 2 \pi / (1/r_{AM} - 1/r_{BM} - 1/r_{AN} + 1/r_{BN})$$

On a la résistivité: (en Ohm)

$$\rho_a = K \cdot \Delta V / I$$

C'est la formule de Schlumberger exprimant la proportionnalité entre la résistivité apparente, le coefficient du dispositif, la tension entre les électrodes de réception MN et le courant d'émission I.

II.1.4.2 : La salinité :

Une eau avec la même concentration en poids de sels dissous aura une résistivité différente selon les ions en présence. [5]

II.1.4.3 : La loi d'Archie :

Cas d'une roche saturée Dans le cas d'une roche saturée, « **ARCHIE** » a établi une relation expérimentale liant la résistivité de la roche à la porosité et à la résistivité de l'eau d'imbibition. [5]

$$\rho_r = \rho_w a \phi^{-m}$$

ρ_w = résistivité de l'eau d'imbibition

ϕ = porosité

a = facteur qui dépend de la lithologie et qui varie entre 0.6 et 2

m = facteur de cimentation

On a l'habitude de regrouper sous le terme de facteur de formation :

$$F = a \phi^{-m}$$

CHAPITRE II : Généralités sur les techniques de reconnaissance et de forage.

Dans la pratique on admet pour les formations meubles, sables et grés, la formule de

« HUMBLE » :

$$F = 0,62. \varnothing^{-2,15}$$

Et pour les roches bien cimentées :

$$F = 1. \varnothing^{-2}$$

En définitive nous obtenons pour la loi d'Archie :

$$\rho_r = F \rho_w$$

II.1.4.4 : La saturation :

La loi d'Archie a été Etablie pour des roches saturées en eau, il faut maintenant tenir compte d'un nouveau paramètre ; la saturation. [5]

$$\text{saturation} = S_w = \frac{\text{volume des pores remplis d'eau}}{\text{volume total des pores}}$$

La loi d'Archie devient alors

$$\rho_r = F \rho_w S_w^{-n}$$

On peut aussi écrire :

$$S_w = \sqrt[n]{\frac{F \rho_w}{\rho_r}}$$

- $F \rho_w$ = résistivité de la roche saturée en eau
- ρ_r = résistivité de la roche désaturée en eau
- $n \approx 2$. L'exposant n varie très peu avec les formations, sa valeur est environ de 2 pour la plupart des formations de porosité normale dont la teneur en eau est comprise entre 20 et 100 %
- Les roches très conductrices (porosité grande, perméabilité faible) sont inexploitable du point de vue hydrogéologie. Exemples : les argiles.
- Les roches très résistantes (porosité faible) contiennent insuffisamment d'eau libre pour être intéressantes

CHAPITRE II : Généralités sur les techniques de reconnaissance et de forage.

Tableau II-6 : Porosité, perméabilité et résistivité de différentes roches [5]

Roches	Porosité totale (%)	Perméabilité (cm/s)	Résistivité (ohms*m)
Argilite	35	10^{-8} - 10^{-9}	70 à 200
Craie	35	10^{-5}	30 à 300
Tuf volcanique	32	10^{-5}	20 à 300
Marnes	27	10^{-7} - 10^{-9}	20 à 100
Grès	3 à 35	10^{-3} - 10^{-6}	30 à 800
Dolomite	1 à 12	10^{-5} - 10^{-7}	200 à 10'000
Calcaires	3	10^{-10} - 10^{-12}	200 à 10'000
Métaschistes	2.5	10^{-4} - 10^{-9}	300 à 800
Gneiss	1.5	10^{-8}	1'000 à 20'000
Quartzite	<1	10^{-10}	1'000 à 10'000
Granite	1	10^{-9} - 10^{-10}	1'000 à 15'000
Gabbro	1 à 3	10^{-4} - 10^{-9}	6'000 à 10'000
Basalte	1.5	10^{-6} - 10^{-8}	800 à 15'000

II.1.5 : LES METHODES ELECTRIQUES :

La résistivité variée

- De 1 à quelques dizaines d'ohms.m pour les argiles et les marnes.
- D'une dizaine à quelques centaines d'ohms.m pour les sables et les grès marneux.
- D'une centaine à plusieurs milliers d'ohms.m pour les calcaires et les roches Eruptives.

La correspondance entre la résistivité et le faciès géologique est une notion d'une grande importance pratique. Parfois, certains faciès, des argiles par exemple, gardent pratiquement la même résistivité sur des centaines de kilomètres ; en général, la résistivité d'une formation est moins constante et peut Evoluer progressivement le long d'une même formation spécialement dans les déupés quaternaires. [5]

II.1.5.1 : Les filets de courant et les Equipotentiellés :

II.1.5.1.1 : Le principe :

Examinons maintenant comment mesurer la résistivité des roches. La loi d'Ohm nous permet de prévoir le cheminement des filets de courant dans un milieu homogène isotrope. Soit un terrain homogène et isotrope de résistivité ρ limité par une surface plane du côté de l'air. Envoyons un

CHAPITRE II : Généralités sur les techniques de reconnaissance et de forage.

courant continu I à l'aide d'une électrode ponctuelle A. L'écoulement du courant se fera par filets rectilignes rayonnant autour de A et produira des variations de potentiel dans le sol à cause de la résistance ohmique de celui-ci. La répartition du potentiel peut être représenté par des demi sphères centrées sur A. [6]

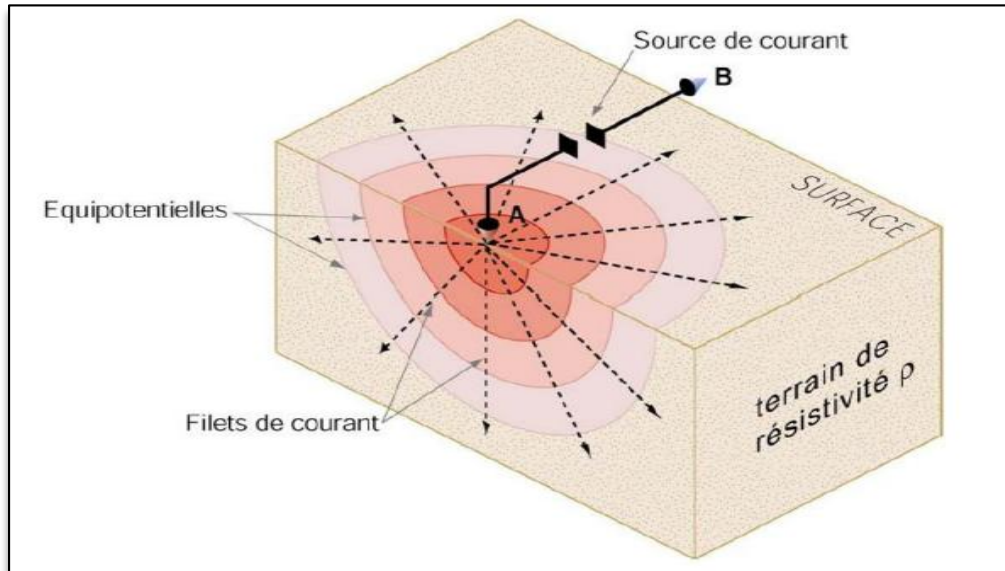


Figure II-1 : Distribution du courant créée par une électrode dans un sol homogène et isotrope

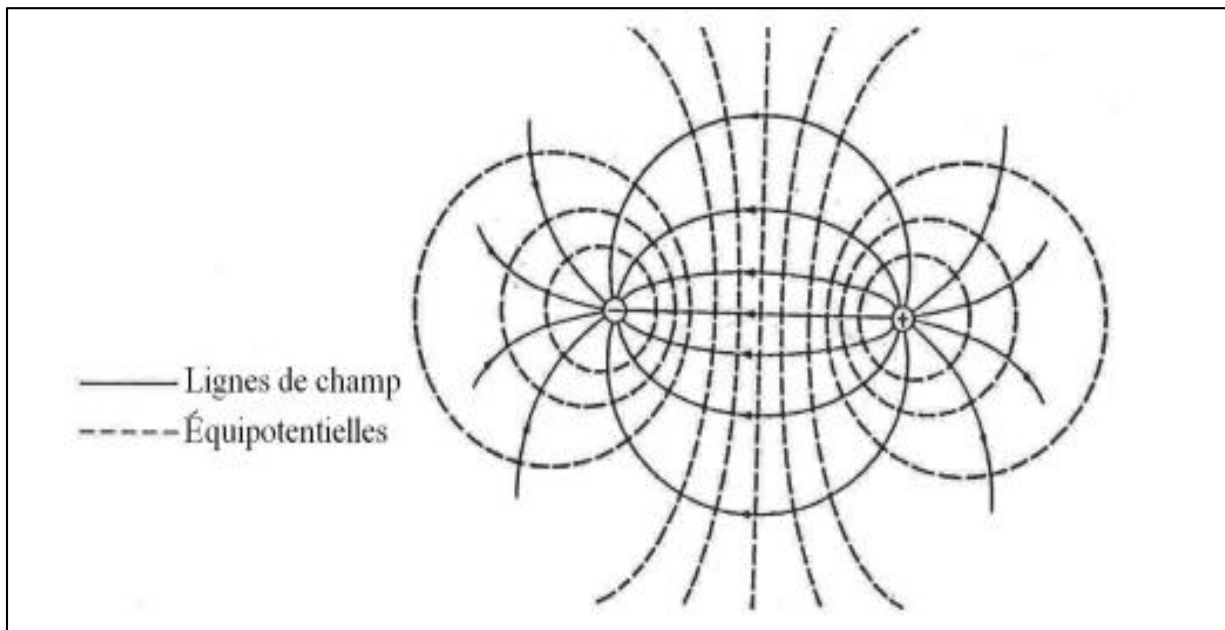


Figure II -2 : Représentation des Equipotentiels et des filets de courant

CHAPITRE II : Généralités sur les techniques de reconnaissance et de forage.

II.1.5.1.2 : Modèle d'un terrain homogène :

Exemple géologique : banc de grès homogène $\rho = 120 \Omega.m$

La répartition du courant électrique se fait de manière homogène dans le sous-sol entre les Electrodes A et B. [6]

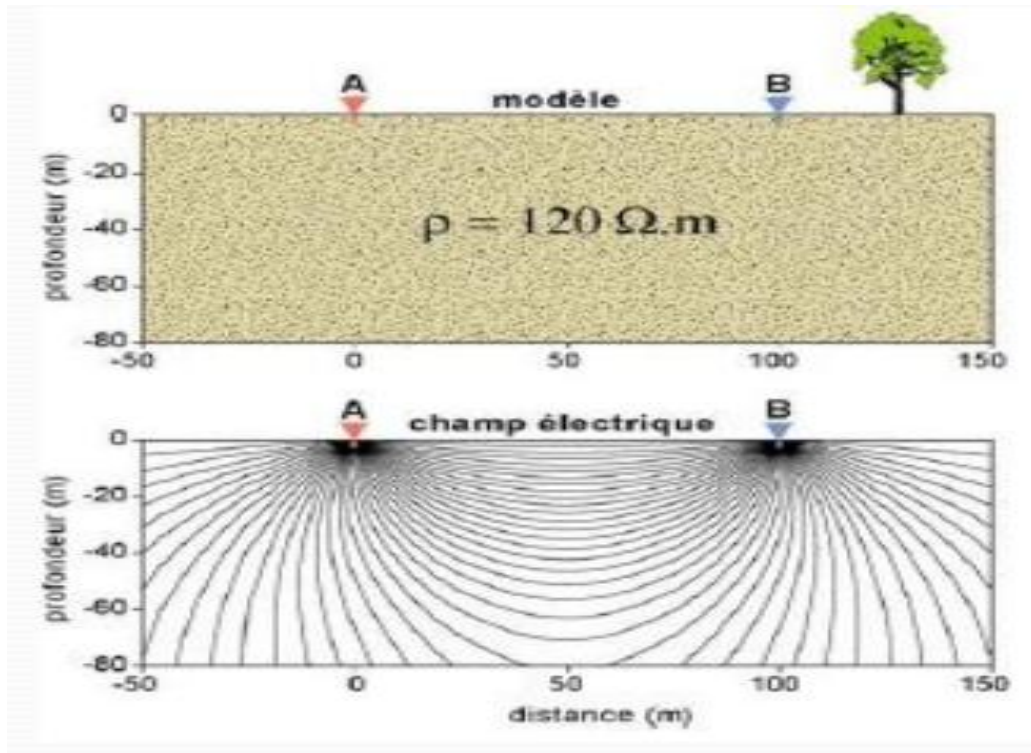


Figure II-3 : Répartition du courant Électrique

Sous le terme résistivités ou prospection électrique en courant continu ou très basse fréquence, nous pouvons utiliser :

- Les cartes de potentiel
- La mise à la masse
- Le traîné électrique
- Le sondage électrique

II.1.5.1.3 : Notion de sondage électrique verticale :

Lors de l'exécution d'un sondage électrique on recherche comment varie, en un point donné de la surface, la résistivité du sous-sol à la verticale. Pour cela on exécute en un même endroit une

CHAPITRE II : Généralités sur les techniques de reconnaissance et de forage.

succession de mesures, en augmentant chaque fois les dimensions du dispositif et de ce fait la profondeur d'investigation qui est proportionnelle. On explore à cet endroit une tranche de terrain de plus en plus épaisse et l'on met ainsi en évidence les changements de constitution géologique suivant la verticale. [6]

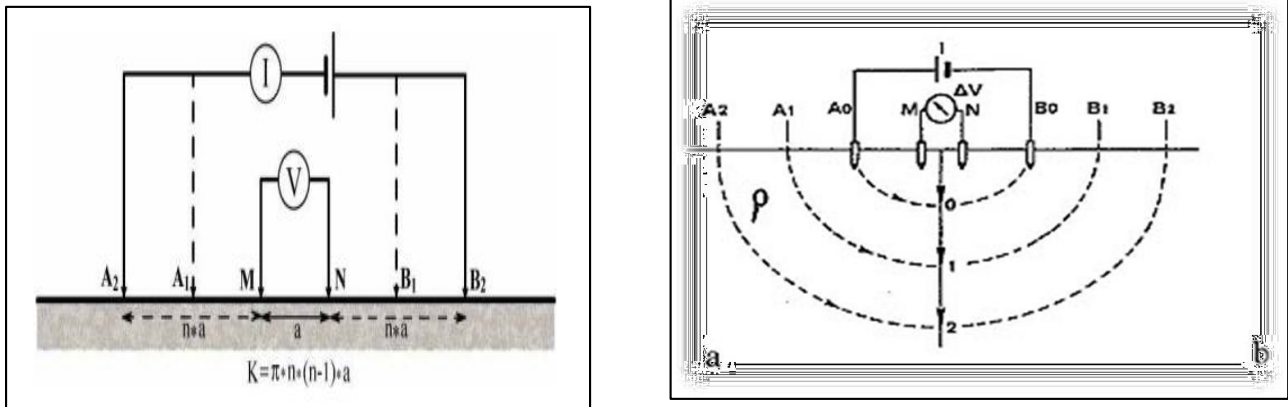


Figure II-4 : Représentation d'un SEV

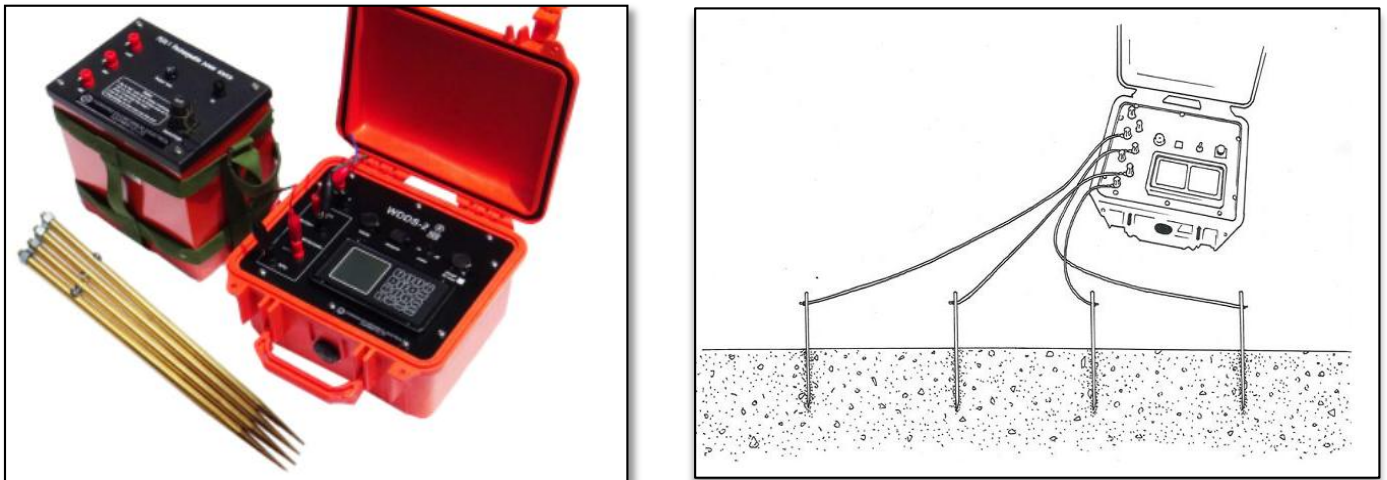


Figure II-5 : Matériel d'acquisition multi-électrodes

II.1.5.1.3.1 : Mise en œuvre :

Une campagne de prospection électrique s'articule autour de deux principales composantes: Humaine et matériel ou équipement. La composante humaine comprend tout d'abord l'équipe de topographie: [3]

CHAPITRE II : Généralités sur les techniques de reconnaissance et de forage.

a. Equipe de topographie.

Cette équipe a pour tâche de matérialiser sur le terrain les sondages électriques d'après leur plan de position. Le point de départ sur le terrain est un rattachement, on cherche un point connu (forage, point géodésique, point astronomique etc..) qui sera pris pour origine, ensuite on rattache ce point à un sondage électrique le plus proche de celui-ci. On implante finalement les différents sondages électriques ou profils, en relevant à chaque fois les paramètres de mesures (Angles horizontaux, verticaux, lectures médianes et extrêmes etc..) qui vont servir pour le calcul des coordonnées X,Y,Z des différents sondages. (Comme la distance entre deux sondages est relativement grandes 1 à 2 Km; une moyenne de 6 à 8 levés intermédiaires est effectuée). Le nombre de sondage réalisé quotidiennement peut être de 4 à 6 selon la nature du terrain et l'accessibilité. Le sondage électrique est matérialisé par un piquet et des pierres sur lesquelles est écrit à la peinture le nom du profil et le numéro du sondage (par exemple X5).

La compensation (écarts de fermeture) est effectuée ultérieurement au bureau par la méthode des moindres carrés, après cette compensation le topographe établit les coordonnées définitives " X, Y, Z ", qui seront fournies au bureau d'interprétation. [3]

b. Composition de l'équipe:

L'équipe de topographie se compose généralement :

- un topographe
- un chauffeur
- un porte mire

Elle utilise le matériel suivant:

- un véhicule du type Land-rover
- un théodolite T1
- deux mires (4 m)
- une chaîne d'arpenteur
- des piquets
- une carte topographique de la région [3]

c. Equipe de résistivité.

Cette équipe est composée d'un opérateur, de deux chauffeurs et cinq manœuvres.

CHAPITRE II : Généralités sur les techniques de reconnaissance et de forage.

Le laboratoire de résistivité est monté sur un véhicule, alimenté par la batterie du véhicule et comprend:

- *Une source d'envoi de courant (piles sèches montées en série)
- *Un sélecteur MN et un compensateur de PS Figure
- *Un inverseur de courant
- *Un enregistreur de ΔV [3]

d. Techniques de Mesures.

Selon que l'on s'intéresse aux variations avec la profondeur ou aux variations latérales, on distingue deux techniques de mesures: Le sondage électrique et le profil de résistivité. On utilise pour les deux techniques un dispositif symétrique comprenant deux prises de terre A et B et deux sondes M et N, l'ensemble électrodes-prises de terre "AMNB" sont alignés: Le dispositif de mesure correspondant est soit celui de Schlumberger ou bien de Wenner, tous deux placés sur la surface du sol. La résistivité apparente peut être calculée d'après la formule suivante:

$$\rho_a = k \cdot \Delta u / I$$

où: k désigne le coefficient du dispositif

$$\rho_a = 2 \cdot \pi \cdot [AM \cdot AN / MN] \cdot \Delta u / I [3]$$

e. Réalisation sur le terrain d'un sondage électrique.

La première tâche à faire consiste à rappeler aux manœuvres la méthode de travail sur un fond de document, ensuite leurs donner les consignes de sécurité nécessaires à prendre au cours du travail. Pour leur faciliter la tâche un câble de 20 m est étalé est dont le milieu correspond le point du sondage électrique (marque bleu) et les différentes positions de MN sont indiquées par des marques jaunes et celles des AB par des marques rouges. [3]

f. Travail de l'opérateur :

Avant de procéder aux mesures l'opérateur vérifie le branchement des électrodes d'envoi A et B à l'aide du testeur de résistance ; assure la compensation des courants parasites (compensation de la PS). Quand la compensation est bonne, ce dernier envoie un courant directe et inverse; la valeur de ΔU_{MN} est obtenue en multipliant la distance "L" (l'élongation L) par l'échelle choisie (le calibre).

CHAPITRE II : Généralités sur les techniques de reconnaissance et de forage.

Sur le métrie, il lit la valeur de " i " (intensité du courant); sur une feuille de mesure il met les valeurs de " i " et de ΔU_{MN} trouvée, le coefficient du dispositif " K " ensuite il calcule ρ_a .

Les sondages électriques :

- Donnent la variation en profondeur de la résistivité électrique,
- Sont sensibles aux hétérogénéités à proximité des électrodes,
- Sont historiquement interprétés par des abaques, mais aujourd'hui on utilise l'inversion,
- Plusieurs modèles peuvent expliquer les données selon les principes d'équivalence et de similitude [3]

II.1.5.1.3.2 : Dispositifs de mesure :

Plusieurs dispositifs sont disponibles pour déterminer la répartition des résistivités dans le sous-sol. La figure 07 illustre les configurations des électrodes les plus utilisées pour la prospection électrique ; le coefficient géométrique est également donné. [6]

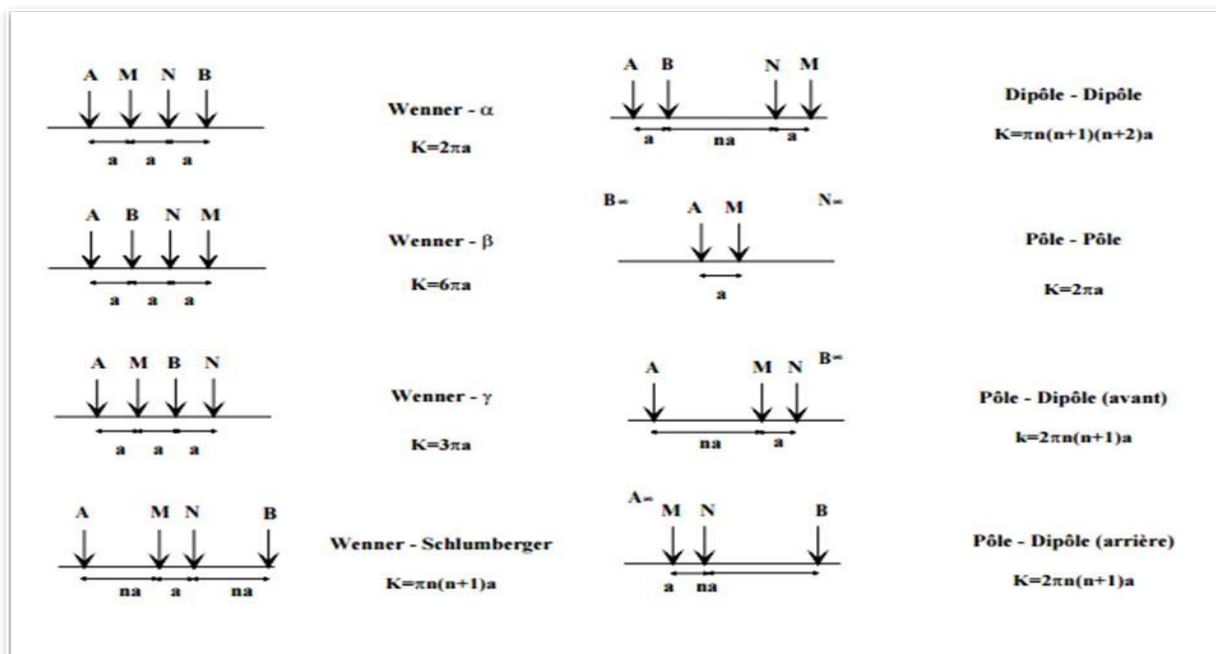


Figure II-6 : Différentes configurations pour la méthode électrique,

Ainsi que le coefficient géométrique K

La résistivité apparente est donnée par:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V_{MN}}{I_{AB}}$$

CHAPITRE II : Généralités sur les techniques de reconnaissance et de forage.

Le facteur géométrique dépend de la configuration des électrodes. Les sondages sont la plupart du temps effectués avec le dispositif de Schlumberger ou de Wenner :

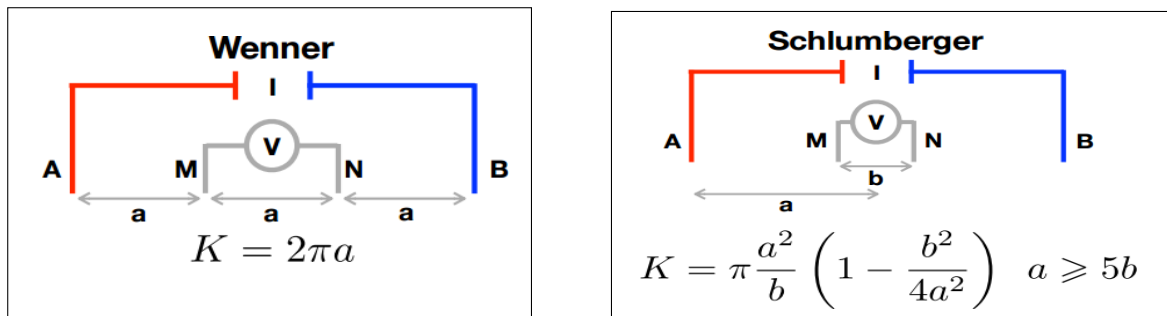


Figure II-7 : Dispositif de Schlumberger et Wenner

II . 2 : Généralité sur les techniques de forage :

II . 2.1 : Introduction :

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

- ❖ Forage par battage
- ❖ Forage par marteau fond de trou
- ❖ Forage par rotary

Dans le cadre de ce mémoire nous exposons uniquement la technique par rotary. [8]

II . 2.2 : Forage par battage :

La méthode consiste à soulever un outil lourd (trépan) et le laisser retomber sur le terrain à perforer en chute libre. La hauteur et la fréquence de chute varient selon la dureté des formations. Le battage se produit par le mouvement alternatif d'un balancier actionné par un arbre à came (ou bien un treuil : cylindre horizontal). [7]

CHAPITRE II : Généralités sur les techniques de reconnaissance et de forage.

○ Avantages de battages :

- La technique de forage par battage peut forer n'importe quelle formation, y compris les crevasses et cavernes qui peuvent poser problèmes avec d'autres méthodes (rotary),
- elle est indiquée pour les terrains durs surtout lorsque le terrain dur est en surface (ça permet pas d'utiliser suffisamment de poids en Rotary) comme en terrains karstiques ou fissurés (pas de risque de perte de boue).
- C'est un procédé simple et relativement peu coûteux (investissement généralement plus faible que pour les autres procédés de foration).
- Il n'y a pas de fluide de forage (boues) et pas de risques de pollution de la nappe.
- Le trépan peut être rechargé, reforgé et affûté sur le chantier.
- C'est une méthode bien adaptée pour les forages de moyenne profondeur.

○ Inconvénient de battage :

- Vitesse d'avancement assez faible induisant un coût "suivi travaux" en proportion.
- Méthode peu adaptée dans les terrains plastiques ou bouillants dans lesquels le tubage à l'avancement est nécessaire.
- Difficultés pour équilibrer des venues d'eau artésiennes jaillissantes.
- Absence d'information sur les niveaux producteurs (qualité - production) sinon par mise en place de dispositif de pompage en parallèle à la foration. [7]

II . 2.3 :Par marteau fond de trou :

Ce procédé allie en fait les techniques par percussion et par rotation. L'air provenant d'un compresseur est injecté sous forte pression à travers le train de tiges pour commander à son extrémité un marteau pneumatique muni d'un taillant.

Un tel mode de forage est limité par :

- L'impossibilité d'employer le marteau pneumatique en terrain plastique ;
- La nécessité d'une bonne tenue des parois, ce qui élimine les terrains présentant un risque d'érosion
- La difficulté de guider l'outil pour assurer un avancement linéaire ;
- La puissance du compresseur dont dépend la profondeur qui peut être atteinte.

Le marteau fond de trou permet une grande vitesse d'avancement, en terrain dur, à petit diamètre et jusqu'à une profondeur usuelle de l'ordre de 150 m.

CHAPITRE II : Généralités sur les techniques de reconnaissance et de forage.

II . 2.4 : Forage par rotary :

Lors d'un forage par rotary, la perforation s'effectue d'une manière rotative avec un matériel lourd. La dislocation se fait par abrasion et broyage du terrain, par le biais d'un outil appelé tricône et par roto percussion à l'aide d'un outil assemblé au marteau, appelé taillant, l'évacuation des déblais se fait par la circulation, directe ou inverse du fluide (air, boue, eau). L'efficacité de cette technique dépend principalement de la performance du matériel utilisé. [8]

Avantages de rotary :

- Le forage rotary peut forer n'importe quelle formation à (l'exception des formations cavernueuses), à condition de choisir l'outil adéquat pour chaque terrain
- La profondeur du forage peut être très importante (plus que 2000 m).
- Vitesse d'avancement importante (jusqu'à 100m/jour en $8 \frac{1}{2} = 216$ mm en terrain tendre).
- Bon contrôle des venues d'eaux artésiennes jaillissantes,
- Le forage n'est pas perturbé par les terrains peu stables ou plastiques, sous réserve de l'utilisation d'un fluide de forage adapté.
- Cette technique permet un bon contrôle des paramètres de forage (poids de l'outil, vitesse de rotation, qualité et débit d'injection de la boue) en fonction des terrains à traverser.
- Le forage au rotary entraîne une consolidation des parois en terrains meubles par dépôt d'un cake.

Inconvénient de rotary :

- Nécessité d'un fluide de forage qui ne permet pas d'observation directe de la qualité des eaux des formations traversées.
- Difficulté de forer dans les terrains caverneux à cause de la perte de circulation de la boue.
- Colmatage possible des formations aquifères par utilisation de certaines boues (bentonite).
- Difficulté d'observation des cuttings (la présence de tamis vibrants en circuit retour diminue sensiblement cet inconvénient).
- Nécessitant des temps de développement importants [7]

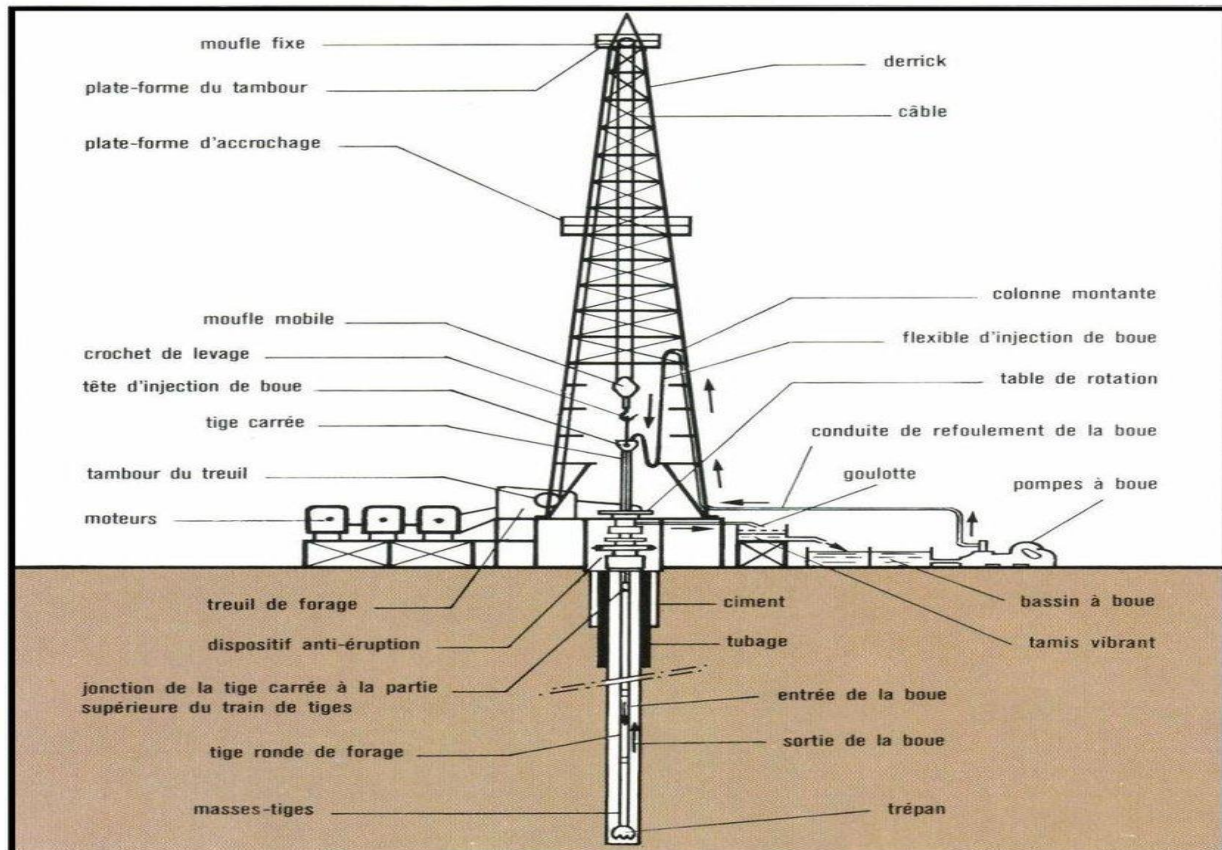


Figure II-8 : machine Rotary

II . 2.4.1 : Principe de la méthode de rotary :

La technique de forage rotary utilise un outil (trépan) monté au bout d'une ligne de sonde (tiges vissées les unes aux autres), animé d'un mouvement de rotation de vitesse variable et d'un mouvement de translation verticale sous l'effet d'une partie du poids de la ligne de sonde ou d'une pression hydraulique. Le mouvement de rotation est imprimé au train de tiges et à l'outil par un moteur situé sur la machine de forage en tête de puits (Fig II-8). Les tiges sont creuses et permettent l'injection de boue au fond du forage. Les outils utilisés en rotation sont des trépan de plusieurs types en fonction de la dureté des terrains rencontrés (outils à lames, outils à pastilles, molettes ou tricône, outils diamantés ou à carbures métalliques). Au-dessus du trépan, on peut placer une ou plusieurs masses-tiges très lourdes qui accentuent la pression verticale sur l'outil et favorisent la pénétration et la rectitude du trou. Le forage rotary nécessite l'emploi d'un fluide de forage préparé sur le chantier. Dans le cas de la circulation directe, le fluide est injecté en continu sous pression

CHAPITRE II : Généralités sur les techniques de reconnaissance et de forage.

dans les tiges creuses de la ligne de sonde, il sort par les événements de l'outil et remonte à la surface dans l'espace annulaire (entre les tiges et les parois du trou).[7]

II . 2.4.2 : **Boue de forage :**

La boue de forage est habituellement obtenue en mélangeant à l'eau une argile spéciale « **bentonite** »

Bentonite : C'est une roche argileuse, de **densité 2,6**, dont la consistance est voisine de celle du kaolin.

➤ Le rôle de la bentonite est multiple :

- ✓ Nettoyage du puits
- ✓ Maintien des déblais [cuttings] en suspension
- ✓ Sédimentation des déblais fins en surface
- ✓ Refroidissement et lubrification de l'outil et du train de sonde
- ✓ Prévention du cavage et des resserments des parois du puits
- ✓ Dépôt d'un cake imperméable
- ✓ Prévention des venues des fluides
- ✓ Augmentation de la vitesse d'avancement
- ✓ Entraînement de l'outil
- ✓ Diminution du poids apparent du matériel de sondage
- ✓ Apport de renseignements sur le sondage [7]

II . 2.4.3 : **Description de la machine :**

Il existe deux types de procédés de forage rotary :

1- Foreuse à table de rotation.

2- Foreuse à tête de rotation.

II . 2.4.3.1 : **Foreuse à table de rotation :**

L'appareil de forage rotatif à entraînement à table de rotation applique le mouvement rotatif au trépan à travers une table de rotation fixe située au pied du mat conjointement avec la barre de commande qui s'appelle (KELLY) ou (tige carré) [9]

CHAPITRE II : Généralités sur les techniques de reconnaissance et de forage.

II . 2.4.3.2 : Foreuse à tête de rotation :

L'appareil de forage à tête rotative fournit une rotation par une tête rotative qui monte et descend le mât.

II . 2.4.4 : Les organes de la machine :

II . 2.4.4.1 : Le mât :

C'est le « trépied » (Fig II-9) qui supporte le palan. Il a remplacé la tour pour la rapidité de son montage et démontage. A son sommet est placé le moufle fixe. Une passerelle d'accrochage est placée à son milieu ; elle sert de lieu de travail pour l'accrocheur, qui accroche ou décroche les « longueurs » de tiges lors de la remontée ou la descente de l'outil dans le puits. Une autre passerelle de hauteur ajustable, placée plus bas, sert à guider le tubage pour le visser et le descendre dans le puits. Un plancher de travail est aménagé aux pieds du mât. Il sert d'aire de travail pour l'équipe. Une cabine [dog house] est aménagée sur ce plancher pour permettre aux ouvriers de se reposer. Le plancher est surélevé de quelques mètres au-dessus du sol, pour permettre l'introduction des éléments de la tête de puits et des obturateurs. Les toutes repose sur une substructure robuste, formée de caissons en treillis de fer soudés. Un plan incliné est conçu pour faire remonter les tiges sur le plancher pour les descendre dans le puits. L'ensemble est posé sur une plate-forme en béton armé, préalablement aménagée sur le sol. [7]



Figure II-9: le mât

CHAPITRE II : Généralités sur les techniques de reconnaissance et de forage.

II . 2.4.4.2 : Moufle fixe : [Crown block] :

formé d'un certain nombre de poulies et placé au sommet du mât, il possède une poulie de plus que le moufle mobile.



Figure II-10 : moufle fixe

II . 2.4.4.3 :Moufle mobile : [Travelling block]

Formé également d'un certain nombre de poulies par lesquelles passe le câble de forage (Fig. II-11), il se déplace sur une certaine hauteur entre le plancher de travail et le moufle fixe. Il comporte à sa partie inférieure un crochet [Hook] qui sert à la suspension de la garniture pendant le forage. Des bras sont accrochés de part et d'autre de ce crochet servent à supporter l'élévateur, utilisé pour la manœuvre de la garniture. [7]

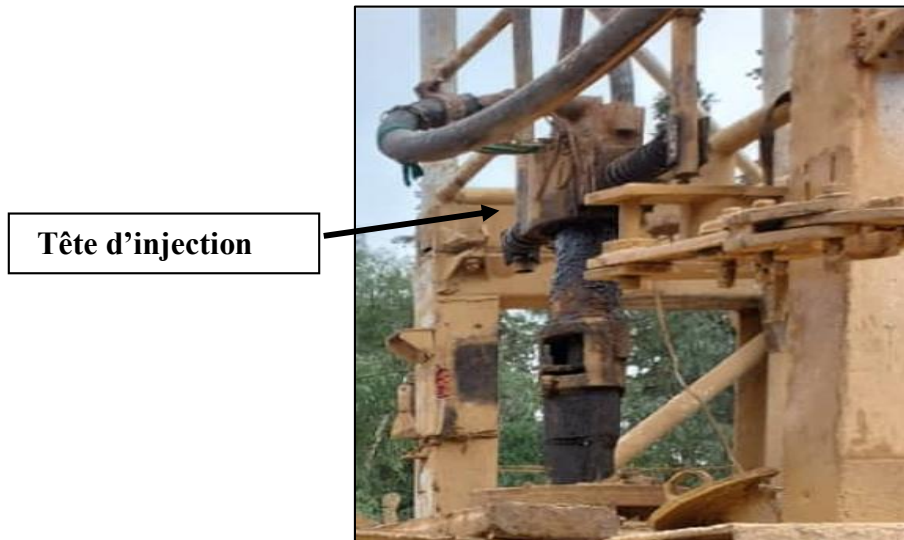


Figure II-11 : moufle mobile

CHAPITRE II : Généralités sur les techniques de reconnaissance et de forage.

II . 2.4.4.4 :Tête d'injection : [swivell] :

La tête d'injection représente le mécanisme qui relie la partie mobile d'une installation de forage à la partie fixe. En effet la tête d'injection qui est suspendue d'un côté au crochet de levage et de l'autre côté vissé à la tige carrée, Elle assure le passage de la boue de forage venant d'une conduite fixe (Flexible d'injection) dans une conduite animée d'un mouvement de rotation (train de sonde).[7]



Tête d'injection

Figure II-12 : Photo de la Tête d'injection

II . 2.4.4.5 :Table de rotation :

La table de rotation : En cours de forage, elle transmet le mouvement de rotation à la garniture de forage, par l'intermédiaire de fourrures et de la tige d'entraînement, et, en cours de manœuvre, supporte le poids de la garniture de forage, par l'intermédiaire de coins de retenue. [7]



Figure II-13 : Photo de Table de rotation

CHAPITRE II : Généralités sur les techniques de reconnaissance et de forage.

II . 2.4.4.6 :Pompes à boue :

Il est utilisé pour aspirer les boues de forages dans la fosse à boue et à les renvoyer directement dans la machine de forage. On voit sur la (figure II-14) la pompe à boue utilise sur le site.



Figure II-14 : Photo de Pompe a boue

II . 2.4.4.7 :Treuil :

Le treuil de forage (Fig II-15) est l'organe principal de la sonde ; par sa capacité il caractérise le rig (sonde de forage) en indiquant la profondeur de forage que peut atteindre l'appareil de forage.

Le treuil regroupe un ensemble d'éléments mécaniques et assure plusieurs fonctions : [7]

- Les manœuvres de remontée et de descente (levage) du train de sonde.
- L'entraînement de la table de rotation dans le cas de top drive.
- Les visages et dévisages du train de sonde ainsi que les opérations de curage.



Figure II-15 : Photo de treuil

CHAPITRE II : Généralités sur les techniques de reconnaissance et de forage.

II . 2.4.4.8 : Mouflage :

Le mouflage est l'enroulement du câble de forage entre les poulies des moufles fixe et mobile en plusieurs brins (jusqu'à 14 brins). Le mouflage permet de démultiplier le poids de la garniture de forage et diminuer la vitesse de son déplacement. En négligeant les frottements, la charge au crochet est divisée par le nombre de brin. [7]

II . 2.4.4.9 : Câble du forage :

Le câble de forage relie le treuil au moufle mobile, est l'organe de transmission du travail qui permet aux charges d'être déplacées à la verticale dans les deux sens. Un câble est constitué de plusieurs torons disposés en spirale autour d'une âme, chaque toron est lui-même constitué de plusieurs fils calibrés, également disposés en hélice sur plusieurs couches.[7]

II . 2.4.5 : Train de sondes :

II . 2.4.5.1 : La tige d'entraînement(Kelly) :

Elle assure la liaison entre la garniture de forage et la tête d'injection et communique le mouvement de rotation de la table à la garniture de forage par l'intermédiaire du carré d'entraînement. [8]



Figure II-16: Photo de tige d'entraînement

CHAPITRE II : Généralités sur les techniques de reconnaissance et de forage.

II . 2.4.5.2 : Les tiges (drill pipes) :

Les tiges de forage permettent la transmission de la rotation de la table à l'outil et le passage du fluide de forage jusqu'à ce dernier. [8]



Figure II-17 : Photo de tiges forage

II . 2.4.5.3 : Les masses tiges (drill collars) :

Les masse-tiges permettent de :

- Mettre du poids sur l'outil pour éviter de faire travailler les tiges de forage en compression. Le poids utilisable des masse-tiges ne devra pas excéder 80% de poids total dans la boue.
- Jouer le rôle du plomb du fil à plomb pour forer un trou aussi droit et vertical que possible.
- Canaliser la boue de forage jusqu'au fond de trou.



Figure II-18 : Photo de masses tige

CHAPITRE II : Généralités sur les techniques de reconnaissance et de forage.

III .1: Les outils de forage :

L'outil qui se trouve au bout des tiges qui forent le sol est une des clés de son activité. L'outil doit être choisi dans un catalogue aussi varié que peut être la lithologie rencontrée.

Selon son diamètre, l'outil peut peser de quelques kilogrammes à plusieurs centaines de kilogrammes. On distingue différents types d'outils de forage :

Couronnes : qui sont des tiges, améliorées ou non, munies de dents ou de picots renforcés.

Tricônes : outils montés par trois cônes rotatifs ou molettes (libres) munis de picots pour les terrains durs.

Trilames : outils montés par trois "lames" en chevron pour les terrains les plus argileux et en gradin ou escalier pour les terrains plus durs. [9]



Figure II-19: outils avec différents diamètres.

CHAPITRE III :

Présentation de la zone d'étude.

CHAPITRE III : Présentation de la zone d'étude.

Ce chapitre décrit les caractéristiques géographiques, climatiques, géologiques et géophysique existante et les résultats de l'exploitation des données géophysiques existantes et hydrogéologiques, après avoir découvert son environnement, l'environnement de la plaine de la Mitidja.

III .1: Situation géographique :

Avec une superficie totale de 1400 km² et une superficie agricole de 120.000 ha à 130.000 ha, la plaine de la Mitidja englobe les wilayas Alger, Blida, partiellement celles de Tipaza et Boumerdes. Cette plaine est une dépression longue d'environ 100 km sur 15 à 20 km de large resserrée entre l'Atlas Blidiéen au sud, et le sahel au Nord, elle est largement ouverte sur la mer, sur une trentaine de kilomètres.

Dans sa partie ouest, les collines du sahel entrent au contact du massif montagneux de Chenoua (905 m) et rejoignent, au plateau de Fadjana, les premières hauteurs de l'Atlas (djebel the barrarine au sud, 853 m).

La plaine de la Mitidja descend en pente douce du sud au nord, de l'Atlas vers les collines. Cinquante mètres seulement entre Ahmeur-el-Ain et le fond du lac Halloula.

De l'extrémité ouest d'Alger, sur 70 km, la plaine ne communique avec la mer que par l'intermédiaire de l'oued Nador et 40 km plus loin par le Mazafran.

Comme la présente la carte ci-dessous on peut définir quelques éléments délimitant la plaine de la Mitidja partant du Sud vers le Nord. [10]

III . 1.1 : Le Sahel :

Le Sahel est une petite chaîne de collines littorales, de quelques kilomètres de large sur une cinquantaine en longueur, formant la limite nord de la plaine de la Mitidja où l'altitude moyenne est de 200m. [10]

III . 1.2 :La plaine de la Mitidja :

Au sud du Sahel, La plaine de la Mitidja s'étend sur une grande superficie, orientée WSW-ENE. Elle est limitée par l'Atlas Blidéen au Sud. Son altitude moyenne varie de 50 à 100 m. La pente au niveau de la plaine tend vers zéro ce qui favorise l'infiltration des eaux, là où les conditions géologiques le permettent. [10]

CHAPITRE III : Présentation de la zone d'étude.

III. 1.2 : L'Atlas Blidéen :

Au Sud de la plaine de la Mitidja se développe un massif montagneux de haut sommet accusant une direction NE – SW, il se relève rapidement de la bordure de la plaine pour atteindre une altitude de 1200 à 1600 mètres. Dans l'ensemble, la morphologie de cette chaîne montagneuse est caractérisée par une succession de crêtes rabotées par une érosion intense des eaux ruissellements favorisés par la faible couverture végétale et la pente forte.

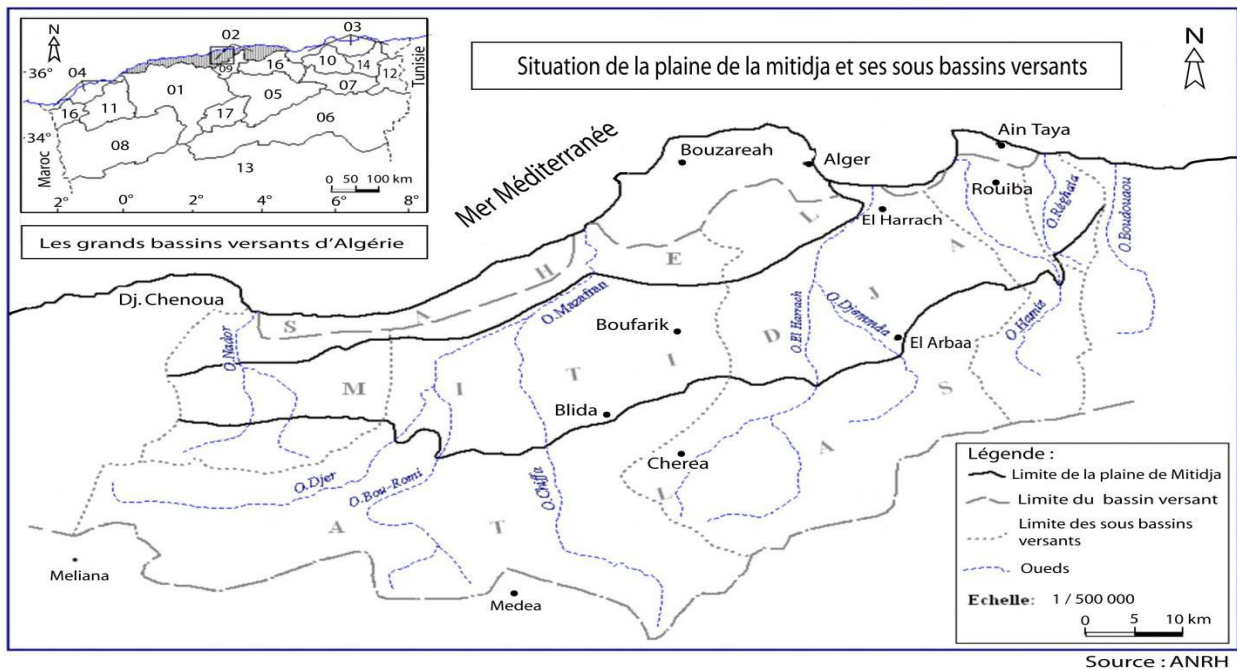


Figure III-1 : Présentation de la plaine de la Mitidja (source : ANRH)

II.2 : Aperçu géomorphologique :

Introduction :

Donner un aperçu des paramètres géomorphologiques de son importance dans la distribution de l'eau à l'échelle du bassin versant.

III. 2.1 : Paramètres physiques et morphologiques du bassin versant de l'Oued El Harrach :

Le bassin versant de la région étudiée est situé dans la partie nord de l'Algérie. C'est le bassin versant de l'oued el Harrach qui appartient au grand bassin versant côtier et couvre une superficie de 1250 km², se partage en trois parties appartenant l'une à l'Atlas Blidéen (600 Km²) l'autre à la plaine de la Mitidja (550 km²) et la troisième au versant du sahel (100 Km²). [11]

III . 2 .2 : Relief :

Le bassin versant s'étend très au Sud et il est divisé topographiquement en trois régions distinctes. En amont, le bassin versant est composé principalement par un massif montagneux, dans sa partie Nord-Ouest, il est constitué par les pentes des collines du Sahel, et du pied de l'Atlas tellien jusqu'à la mer par la plaine de la Mitidja.

- Les points les plus hauts du bassin versant sont :
 - Kef Takhrina situé à une altitude de 1478 m et Chéra situé à une altitude de 1526 m localisé au Sud – Ouest du bassin versant.
- Le point le plus bas se trouve à l'embouchure de l'Oued El Harrach sur la mer Méditerranée. Ses principaux affluents sont :
 - ✓ L'Oued Djamaa, issu de l'Atlas Blidéen (B.V de 225 Km²).
 - ✓ L'Oued Baba Ali avec l'Oued Terro, issu de la Mitidja (B.V de 166 Km²).
 - ✓ L'Oued Smar, issu de la Mitidja, cours d'eau récepteur des zones industrielles de l'Oued Smaret El-Harrach Sud (B.V de 117 Km²).
 - ✓ L'Oued El Kerma, issu du Sahel (B.V de 74 Km²)
 - ✓ L'Oued Ouchaiah issu du Sahel, cours d'eau récepteur des communes et quartiers urbains fortement peuplés (Kouba, Birkhadem...) à un Kilomètre de l'embouchure de l'Oued El- Harrach (B.V de 22 Km²)
 - ✓ L'Oued Adda cours d'eau récepteur des quartiers urbains d'El-Harrach et des Eucalyptus. [12]



Figure III-2 : Localisation du champ captant du forage projeté (source : Google Earth)

III . 2 .3 : Caractéristiques de la morphologie du bassin versant :

La forme du bassin versant influence fortement l'écoulement et notamment le temps de réponse du bassin versant aux précipitations, c'est à dire la durée du ruissellement de surface et le temps de parcours à travers le réseau de drainage. Par ailleurs un bassin versant allongé ne réagira pas de la même manière qu'un bassin ramassé même s'ils sont placés dans les mêmes conditions météorologiques.

Pour l'étude des caractéristiques morphologiques, plusieurs paramètres ont été proposés par Gravelius. [12]

- La superficie et le périmètre du bassin versant ;
- L'indice de capacité ou coefficient de Gravelius ;
- Rectangle équivalente et par suite la longueur et largeur équivalente ;
- La forme du bassin est caractérisée par l'indice de compacité de Gravelius noté K_c , défini par la formule :

CHAPITRE III : Présentation de la zone d'étude.

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{3.14 \times A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

P : Périmètre du bassin versant (Km)

A : Surface du bassin versant (Km²)

$$K_c = 0.28 \times \frac{187}{\sqrt{1250}} = 1.48$$

La valeur calculée de K_c indique que la forme du bassin versant de l'Oued El Harrach est allongée, suggérant un ruissellement des eaux superficielles aux dépens de l'infiltration. [12]

III . 2 .4 : Rectangle équivalent

La méthode consiste à déterminer les dimensions d'un bassin fictif de forme rectangulaire ayant même superficie, même périmètre et même indice de compacité que ceux du bassin versant initial.

Les dimensions du rectangle équivalent (longueur et largeur) sont données par :

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right] = 78 \text{ Km}$$

$$l = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right] = 16.2 \text{ Km}$$

L : Longueur équivalente du rectangle en km

l: Largeur équivalente du rectangle en Km.

Nous constatons que la largeur l du rectangle équivalent est approximativement quatre fois plus petite que sa longueur L , indiquant ainsi une pente moyenne pour le Bassin versant considéré.

Les différentes caractéristiques sont consignées dans le tableau ci-dessous :

Tableau III-1 : Caractéristiques de la forme du BV.

P	Km	187
S	km ²	1250
Kc	Sans dimension	1.48
<i>L</i>	Km	78
<i>l</i>	Km	16.2
<i>L/l</i>	Sans dimension	4.8

III . 3 : Aperçu Hydro-climatique :

Dans cette partie, consacrée à l'étude des paramètres climatologiques (précipitation, température) intervenant dans l'établissement du bilan hydrologique, nous avons procédé à une collecte de données climatologiques, auprès de l'Agence National des Ressources Hydrauliques (ANRH), valables pour la période s'étalant de 1980 à 2017.

III . 3.1 : Précipitation :

Pour caractériser le régime climatique dans la région de la zone d'étude, nous avons choisi des stations climatiques dont les caractéristiques sont reportées dans le tableau III-2 et localisées sur la carte de la figure III-3 [13]

Tableau. III-2 : Caractéristiques des stations pluviométriques.

Station pluviométrie	Code ANRH	Coordonnées Lambert (Km)		Altitude (m)
		X	Y	
Baraki	02-14-21	535.050	376.500	20
Larbaà	02-14-03	541.150	362.950	100
Douar Makli	02-14-27	532.450	355.750	130

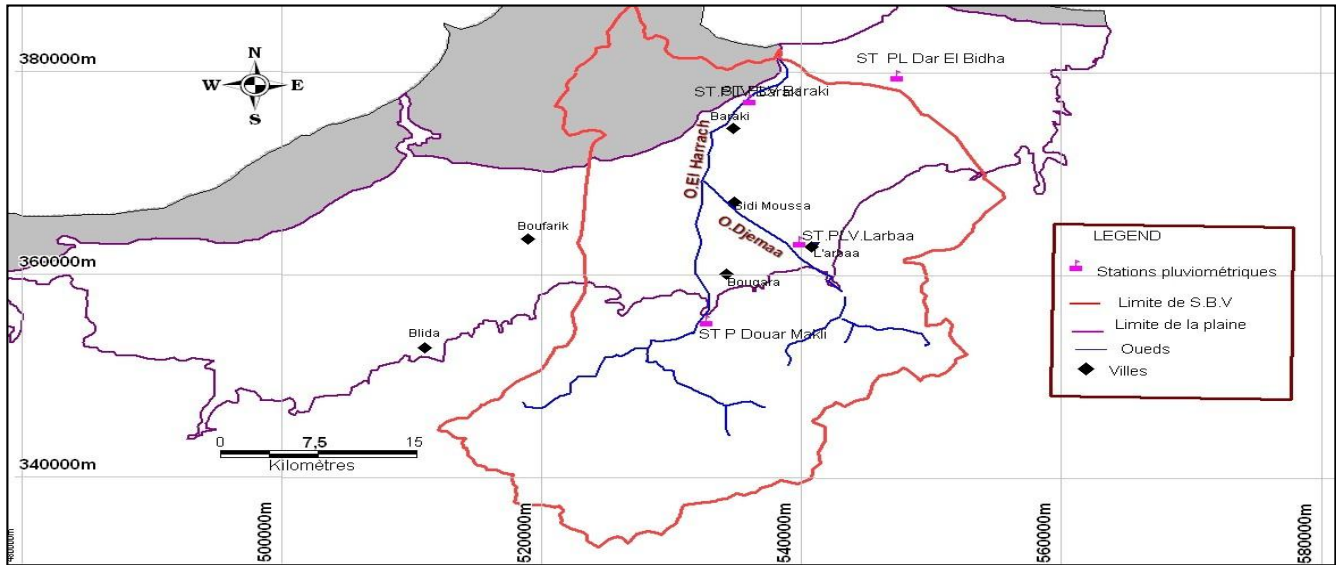


Figure. III-3 : Carte de localisation des stations pluviométriques (source : ANRH-Blida)

III . 3.1.1 : Précipitation moyennes mensuelles :

La répartition moyenne mensuelle des précipitations relevées au niveau des trois stations (Baraki, Larbaà, Douar Makli) sont consignées dans le tableau III-3. En ce qui concerne la station de Douar Makli les valeurs relevées s'étalent sur une période plus réduite allant de 1980 à 2014, par contre celles des deux stations de Baraki et Larbaà vont jusqu'à 2017. [13]

Tableau III-3 : Précipitations moyennes mensuelles (1980-2017).

Ville	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout
Baraki	22,7	47,3	103,0	94,3	110,6	80,4	80,8	56,8	35,7	12,5	2,0	3,4
Larbâa	21,2	25,6	88,8	101,7	106,8	71,5	98,9	70,5	43,2	21,4	0,0	3,0
Douar Makli	24,4	50,6	77,6	99,2	89,8	83,0	69,6	61,2	55,1	8,6	3,1	6,3

CHAPITRE III : Présentation de la zone d'étude.

L'analyse des courbes de variations des précipitations relevées au niveau des deux stations (Figure. II-4) révèle des allures similaires, caractérisées par une période pluvieuse s'étalant du mois d'octobre au mois de mai avec un pic de 110.6 mm au mois de janvier relevé au niveau de la station de Baraki, les mois de juillet et aout sont relativement plus secs, avec un minimum de précipitation au mois de juillet constaté à la station de Larbaà

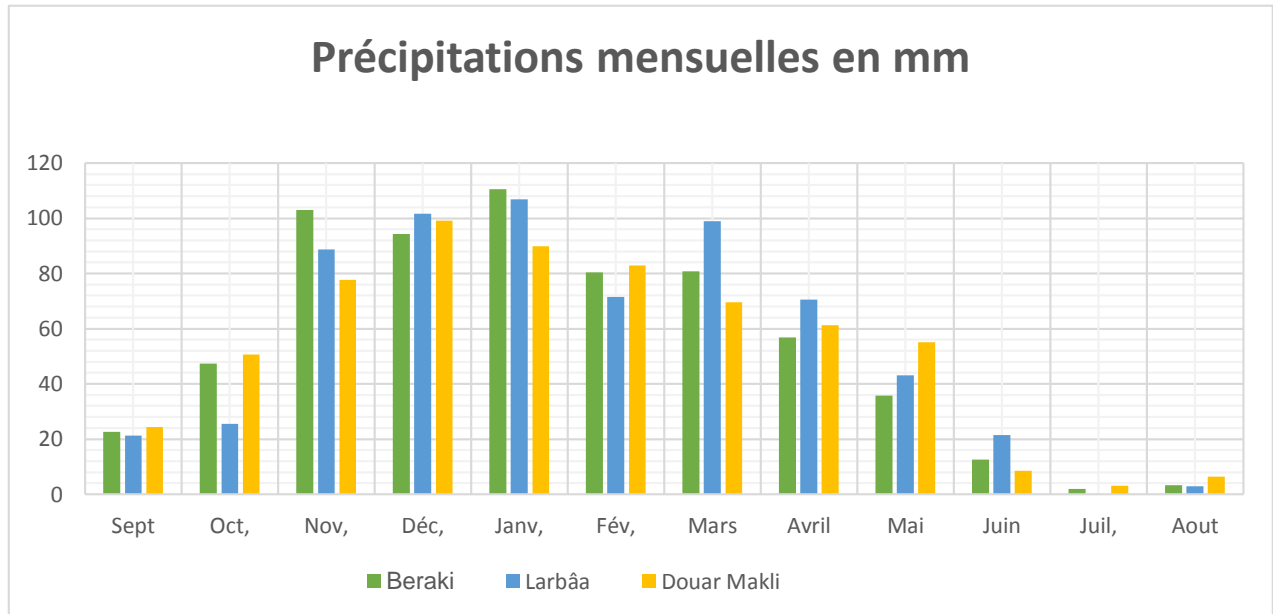


Figure III.4 : Histogramme de Variation des précipitations moyennes mensuelles pour la période (1980-2017)

III . 3.1.2 : Précipitations moyennes annuelles

Les mesures des précipitations relevées sont consignées dans le Tableau. III-4

Tableau III-4 : Précipitations interannuelle moyennes des précipitations (1980-2017)

Station	Larbaà	Baraki	Douar Makli
Précipitation moyennes annuelles (mm)	652.6	649.5	628.5
Valeur moyenne (mm)	643.53		

III . 3.2 : Températures :

La température joue un rôle très important dans l'évaluation du bilan hydrologique et la connaissance des caractéristiques climatiques d'une région. Elle joue un rôle important en particulier dans l'estimation de l'évapotranspiration potentielle.

CHAPITRE III : Présentation de la zone d'étude.

Compte tenu de l'absence des stations de mesure locales de la zone d'étude nous nous sommes référés aux données disponibles de la station la plus proche qui est celle de Dar El Beida.

Il est à noter que les mesures relevées au niveau de la station de Dar El Beida sont complètes et régulières. Elles sont représentatives de la Mitidja orientale. Les différentes mesures de température sont consignées dans le tableau ci-dessous. [13]

Tableau III-5 : Température moyenne, maximale et minimale à la station de Dar El Beida (1980-2010)

	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Années
Moy	23,57	20,12	15,44	12,50	11,13	11,65	13,25	15,05	18,33	22,25	25,2	26,11	17.88
Min	17,60	14,20	10,00	6,90	5,60	5,10	7,10	9,40	13.0	16,50	19.00	20,10	12.04
Max	29,54	26,04	20,88	18,10	16,66	18,20	19,40	20,70	23,66	28,00	31,40	32,12	23.72

La température moyenne est de 17.88 °C. D'après l'Histogramme (Figure. III- 6) nous pouvons observer deux périodes dans cette série hydrologique :

- Une période froide s'étalant du mois de novembre jusqu'au mois d'avril avec une température moyenne inférieure à la température moyenne annuelle.
- Une période chaude s'étalant du mois de mai jusqu'au mois d'octobre dont la température moyenne est supérieure à la température moyenne annuelle.

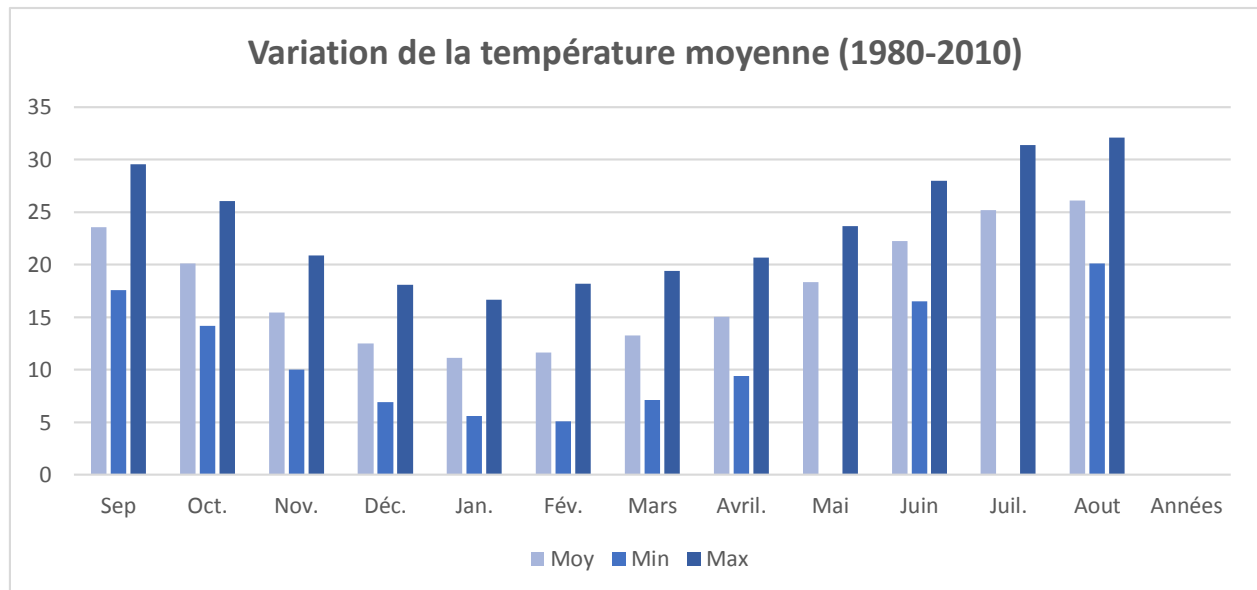


Figure. III- 6 : Histogramme de Variation des Température à la station de Dar El Beida (1980-2010)

III . 4 : Aperçu géologique

La Mitidja est une vaste plaine dont la superficie est estimée à environ 1300 Km², elle à une forme allongée et s'étend au sud d'Alger, entre Hadjout à l'Ouest et Réghaia à l'Est.

Elle est délimitée par deux régions surélevées :

- ✓ Au Nord, le bombement du Sahel d'altitude n'excédant pas 280 mètres, et des pentes faibles ;
- ✓ Au Sud, l'Atlas Blidéen formé par une succession de massifs montagneux dont l'altitude maximale est de 1629 mètres. Les pentes sont généralement fortes.

III . 4.1 : Cadre géologique général

La formation de la Mitidja est constituée essentiellement de matériaux alluvionnaires : sables, argiles sableuses, argiles graveleuses, graviers, galets, graviers et galets gréseux souvent argileux ou limoneux. Celle-ci est présente sur toute l'étendue de la plaine à l'exception de la partie occidentale où ces alluvions sont recouvertes par les marnes et argiles de la basse plaine du Mazafran et de Halloula.

La formation du bassin synclinal d'affaissement en-dessous de la plaine actuelle de la Mitidja, a débuté au cours de la période Miocène et s'est poursuivie au cours du Pliocène. Pendant cette période, d'épaisses roches maritimes argileuses (connus sous le nom de Plaisancien et d'Astien argileux) se sont déposées en mer profonde sur des roches carbonatées crétacée. Vers la fin du Pliocène, une série de marnes, de grès et d'argiles (connus sous le nom d'Astien) s'est déposée dans le bassin qui devenait de moins en moins profond. Un plissement léger, qui s'est produit à la fin du Pliocène, et le soulèvement du bassin ont isolé le bassin de la Mitidja de la mer.

Au cours de la période post-Pliocène, la sédimentation fluvio-lacustre a été périodiquement interrompue par des intervalles de forte érosion. Les différents stades de l'évolution de la plaine de Mitidja sont aujourd'hui bien connus depuis les travaux de L.Glangenau et A. Aymé.1932 [14]

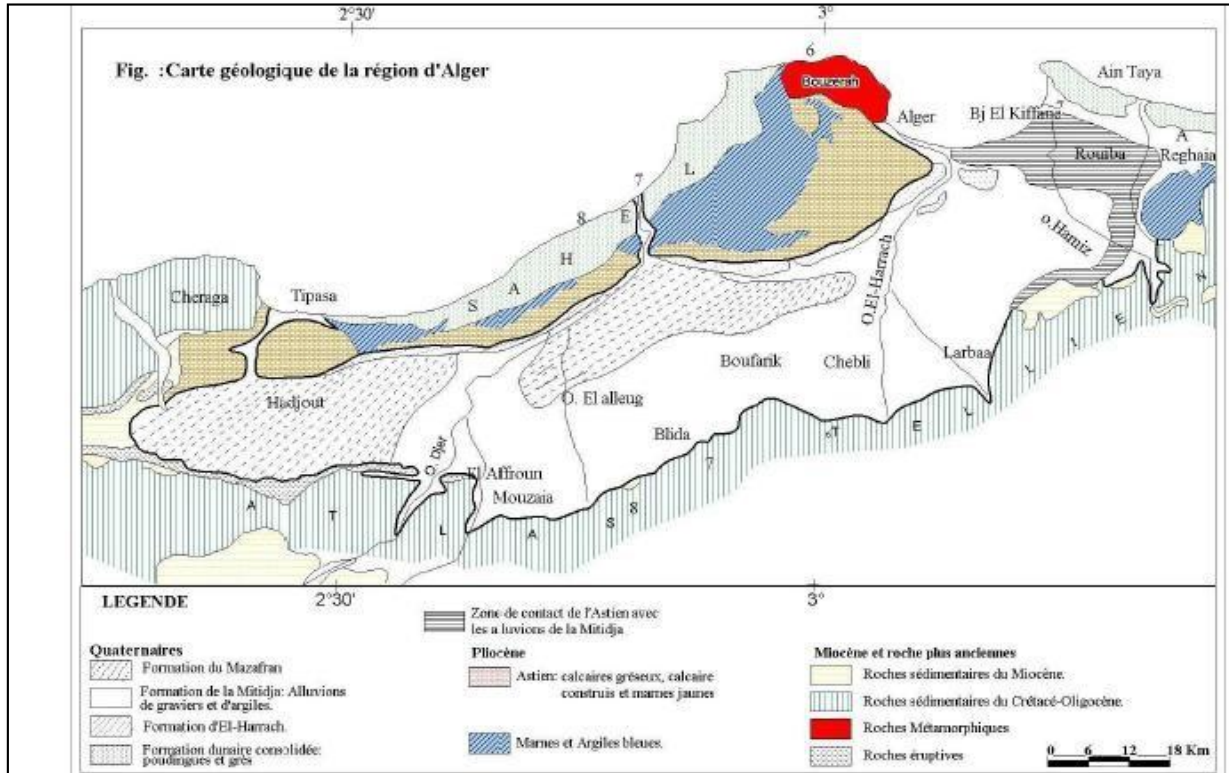


Figure III-7 : Carte géologique de la plaine de la Mitidja (ANRH Alger).

III . 4.2 : La litho-stratigraphie :

III . 4.2.1 : Le Quaternaire :

- **Le Rharibien :**

Cette formation comprend :

La formation dunaire constituée de sables dunaires, graviers et grès le tout plus au moins consolidé, a une épaisseur qui varie de 20 à 40 m et de la formation de Mazafran composée par les Alluvions récentes de la Mitidja. Les dépôts sont limoneux et argilo-limoneux et contiennent quelque fois des graviers, a une épaisseur d'environ 10m en moyenne mais qui peut atteindre 60 m

- **Le Tyrrhénien (La formations de la Mitidja) :**

La formation de la Mitidja est composée principalement d'alluvions grossières (graviers, galets, limons et argiles en quantités variables). La puissance des alluvions varie entre 100 et 200 m au centre et devenant de plus en plus faible en allant vers les bordures et la baie d'Alger.

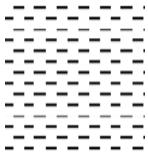
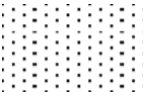
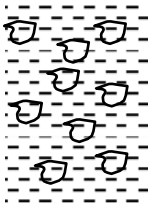
CHAPITRE III : Présentation de la zone d'étude.

- **Villafranchien (La formation d'El Harrach) :**

La formation d'El-Harrach est représentée par une séquence relativement uniforme d'argiles plastiques jaunes ou grises, par endroits légèrement caillouteux et contenant un petit nombre de lentilles de graviers de 2 à 6 m d'épaisseur.

A l'Est de la Mitidja, l'érosion a fait disparaître la plupart des matériaux, d'où l'absence d'argile autour de Rouïba. A l'exception des affleurements d'El Harrach, cette formation est masquée par des dépôts alluviaux plus récents. [14]

Tableau III-6 : litho stratigraphique de la plaine de la Mitidja (Quaternaire)

SYSTEME		ETAGE	LITOLOGIE		Epaisseur(m)	Profondeur(m)
QUATERNAIRE	Holocène	Actuel / récent			20	20
	PLEISTOCENE	Flandrien/ Rharibien	Limons, Argiles Limoneuses		30	50
			Sables consolidés		30	80
		Soltanien/ Tensiftien	Alternance de gravier et d'argile	—	150	230
		Calabrien/ Villafranchien	Argiles et Cailloutis		100	330

Quelquefois la formation d'El-Harrach en raison de la présence des graviers a été confondue avec la formation alluviale sus-jacente qui est essentiellement caillouteuses. Donc il

CHAPITRE III : Présentation de la zone d'étude.

est très difficile d'obtenir des informations sur les variations à l'intérieur même des dépôts de cette formation, les forages ayant pénétré dans celle-ci à une profondeur suffisante sont très rares. L'épaisseur moyenne de la formation au centre du bassin est estimée à 100 m et diminue progressivement en allant vers le sud. [14]

III . 4. 3 : Apport de la reconnaissance géophysique :

La plaine de la Mitidja a fait l'objet d'une étude géophysique par la méthode de prospection électrique réalisé par la compagnie (CGG) entre 1969-1972). L'objet de cette étude a porté sur l'identification des formations supstibles de renfermer un aquifère à partir de leur caractéristique géologique et de résistivité transversale.

C'est ainsi que plusieurs sondages électrique verticaux avec une longueur d'émissions AB égale à 2000 m ont été réalisé.

Les résultats obtenus portent sur la définition d'une échelle de résistivité, l'élaboration de coupes géo électrique des cartes de la résistivité.

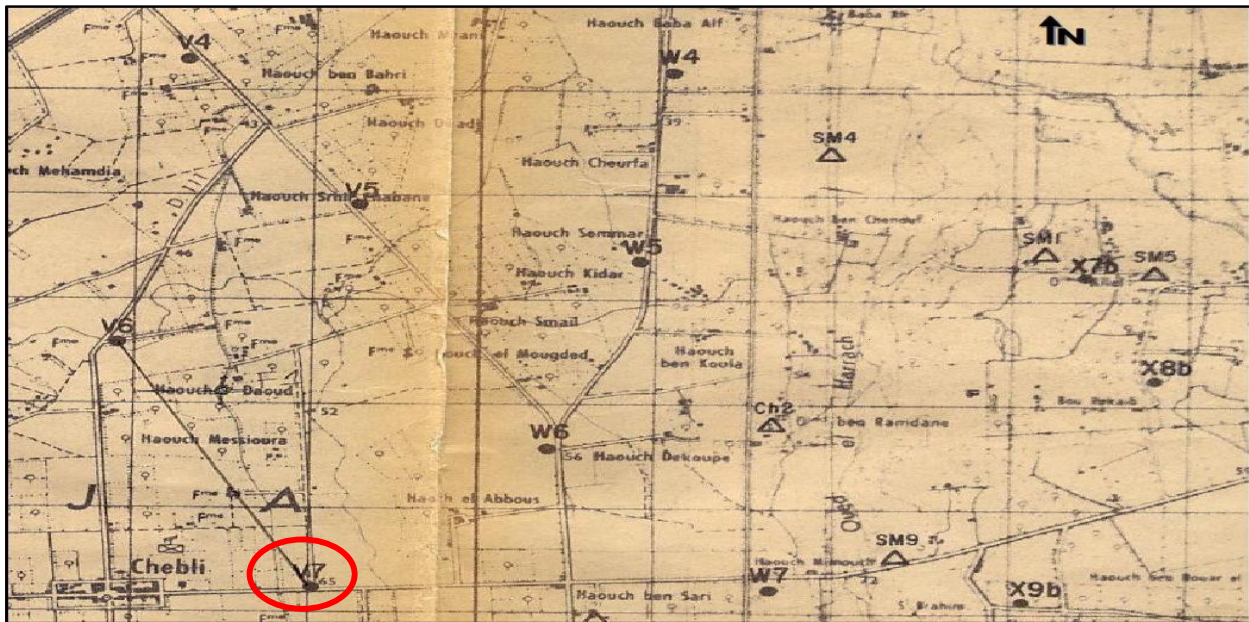


Figure III-10 : Carte de situation du sondage électrique (CGG)

- L'interprétation des coupes géo-électrique

Le profil électrique (V) traversant la zone d'étude en direction Nord-sud, a été établie et analysé dans le but de voir les différentes formations traversées par le futur forage FCh4. Le substratum marneux du Plais ancien présentant des résistances comprises entre 3 et 8 Ω m,

CHAPITRE III : Présentation de la zone d'étude.

le substratum est surmonté par l'astien gréseux avec des résistivités de l'ordre de 70 Ωm profil (V) l'ensemble tertiaire est surmonté par un niveau quaternaire d'alluvion grossier perméable dans les résistances sont comprise entre 100 Ωm .

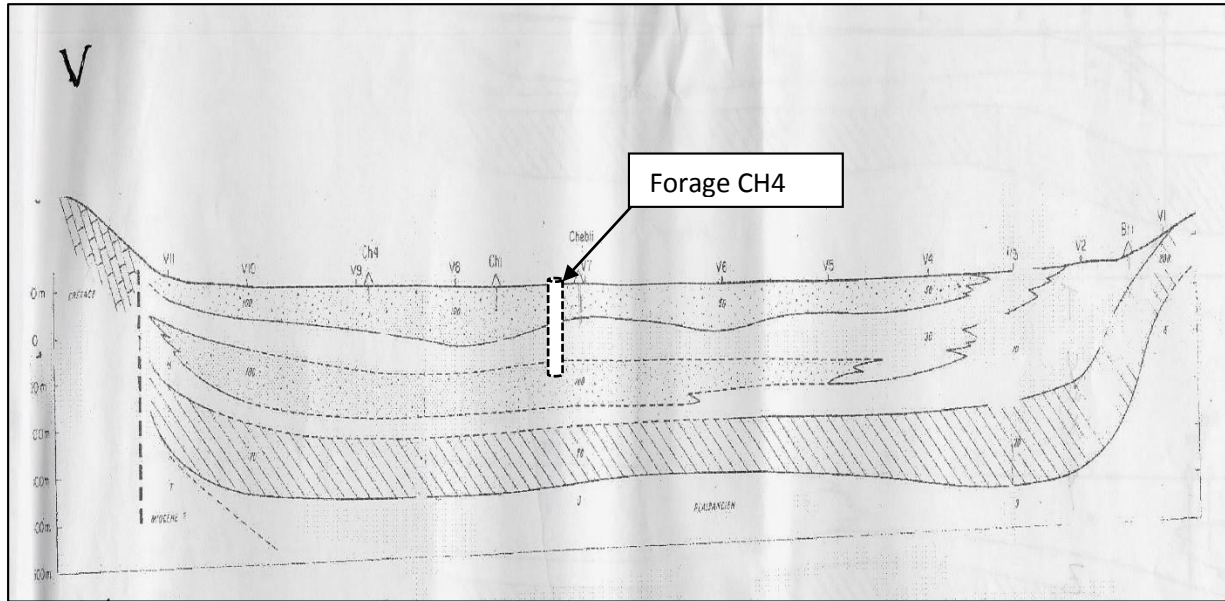


Figure III-11 : Coupe géo électrique « V » (CGG ,1967)

Les échelles de résistivité de différentes couches détachées par les sondages électrique effectués à transversale secteur étudié sont regroupé dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.7 : Les résistivités des couches traversées.

Etage	Nature	Résistivité (Ωm)
Quaternaire	Alluvions perméables	50-70
Pliocène	Astien gréseux Substratum du	70
	Plais ancien	3 à 15

III . 5 : Aperçu Hydrogéologique :

L'objectif de l'étude hydrogéologique est consisté en une identification et en la définition des unités géologiques ayant une importance du point de vue ressources en eau souterraine.

Cette étude hydrologique sera est basée sur l'examen de données des études antérieures, notamment celles CGG (1973-1979-1998) réalisées par Parteners et Binnie.

III. 5.1 : Présentation de l'aquifère de la Mitidja :

Le système aquifère de la plaine de la Mitidja est encaissé dans un bassin de subsidence, d'âge Plio- Quaternaire, et dont la structure lithologique est très variée. Cette structure est caractérisée par une superposition de bas en haut (Figure III-13) :

- Une série marneuse formant le substratum qui peut être considéré comme imperméable ;
- Un ensemble calcaire-sablo-gréseux correspondant à l'Astien ;
- Un ensemble argileux contenant par endroit de sables et de graviers correspondant à la formation dite (formation oued d'El-Harrach) ;
- Un ensemble gravelo-sableux dit (Alluvion de la Mitidja).

Deux types de nappes peuvent être distingués, selon la nature des roches, et selon la nature du toit et du mur qui les limitent.

L'aquifère des alluvions du quaternaire d'épaisseur moyenne variant de 100 à 150 m, et l'aquifère contenu dans les calcaires et grès de l'Astien, reposant sur les marnes du plaisancien formant la limite étanche de presque tout le bassin. Son épaisseur moyenne de 100 à 130 m et se situe généralement à une profondeur allant de 250 à 300 m par rapport au niveau du sol.

Ces deux aquifères sont séparés par la formation semi perméable du villafranchien, appelée marne d'El-Harrach. [15]

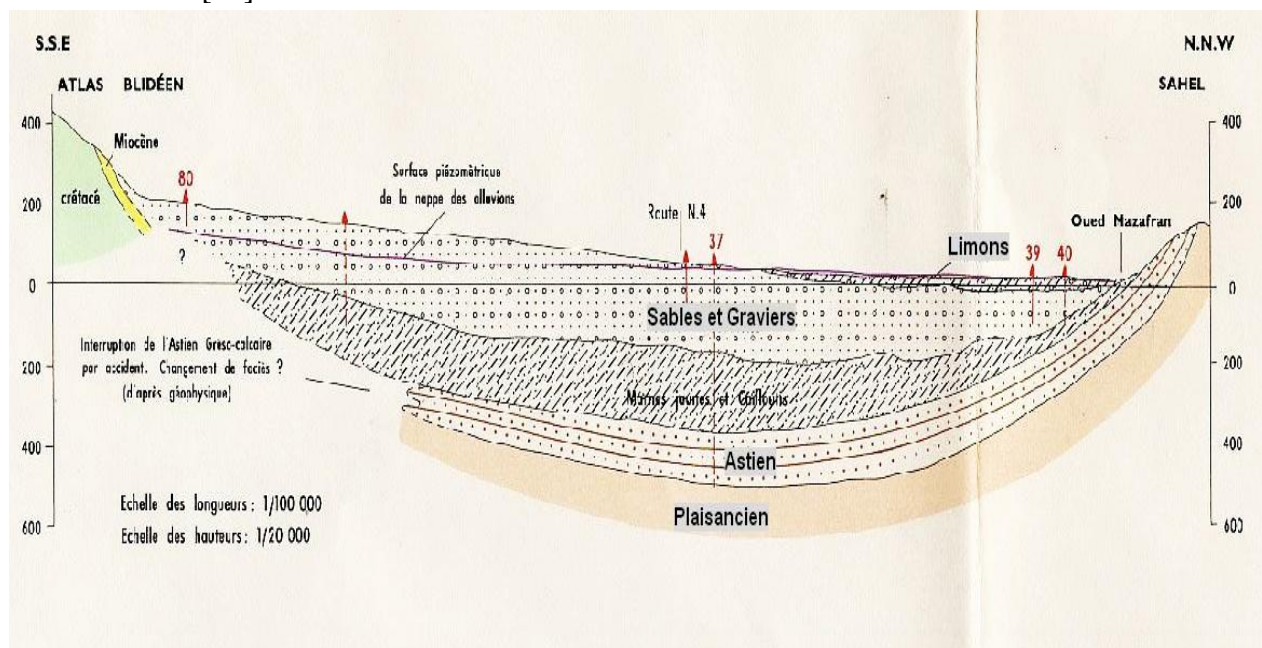


Figure III-13 : Coupe interprétative transversale de la Mitidja dans le bassin de Mazafran

CHAPITRE III : Présentation de la zone d'étude.

III . 5.2 : Mécanismes d'alimentation et d'écoulement des eaux souterraines

- ✓ Alimentation de la nappe de l'aquifère de l'Astien :

L'alimentation de cette aquifère se fait essentiellement par les infiltrations des eaux de pluie sur le sahel ou les affleurements. Il est également alimenté par la nappe alluviale sus-jacente par drainance à travers les marnes jaunes et dont la perméabilité varie de 10^{-7} à 10^{-8} m/s.

- ✓ Alimentation de la nappe alluviale de Quaternaire :

Alimenté essentiellement par des eaux de ruissellement des oueds descendant de l'Atlas Blidéen, et l'ascendance verticale des eaux de l'astien à travers les argiles à cailloutis du villafranchien. [14]

III . 5.3 : Les paramètres hydrodynamiques

Nous allons présenter pour l'essentiel deux paramètres : La transmissivité T et Le coefficient d'emménagement S.

- **La transmissivité T :**

Elle représente le produit de la conductivité hydraulique K (perméabilité exprimée en mètre/seconde) par l'épaisseur productive de l'aquifère e. Elle caractérise donc la facilité avec laquelle l'eau souterraine peut s'écouler.

que les transmissivité de l'aquifère des alluvions varient dans la plaine de la Mitidja entre $5,3 \cdot 10^{-3}$ et $0,3 \cdot 10^{-3}$ m²/s avec des transmissivité plus faibles au niveau du bassin du *lac Halloula*. La valeur médiane d'un ensemble de 80 mesures est de $2,55 \cdot 10^{-2}$ m²/s. Mac Donald a estimé à partir de 61 forages la transmissivité moyenne de l'aquifère des alluvions à 319 m²/j soit $4 \cdot 10^{-3}$ m²/s. L'intervalle de confiance est estimé à : $1 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-2}$ m²/s.

- **Le coefficient d'emménagement S**

M. Clouet Orval. a estimé en 1968 que la valeur médiane de 40 valeurs connues de coefficient d'emménagement sur l'aquifère des alluvions en zone basse de Mazafran, soit dans la zone captive de l'aquifère, est de $17 \cdot 10^{-5}$.

Mac Donald 1993 a cité des coefficients d'emménagement sans préciser les ouvrages qui ont permis de les mesurer. [9]

Tableau III-8 : Coefficients d'emmagasinement S rapportés par McDonald

Formation	Condition	Fourchette de valeurs mesurées
Astien	Libre	0.03 à 0.05
	Captive	5.10^{-3} à 5.10^{-6}
Mitidja	Libre	0.02 à 0.07
	Captive	3.10^{-3} à $1.6.10^{-4}$

III. 6. La piézométrie :

III-6.1. Analyse piézométrique :

Pour la connaissance de l'hydrodynamisme de la nappe alluviale de la dépression du Mitidja, nous nous sommes basés essentiellement sur les relevés piézométriques relatifs aux périodes des basses eaux de 2017 effectués par l'ANRH de Blida.

III-6.2. Interprétation de la carte piézométrique, basse eau (Avril 2017) :

La carte piézométrique de la période basse eau de 2017, montre un écoulement général des eaux souterraines de la nappe alluviale du Mitidja dans la direction du Sud vers le Nord, avec une alimentation directe par les précipitations ainsi que par les infiltrations des eaux superficielles des différents cours d'eau, avec des axes de drainage principaux se superposant aux axes d'écoulement des cours d'eau : Oued Chiffa, Oued Bou Roumi, Oued Djemaa et Oued El Harrach.

On observe que dans la zone sud-ouest de la plaine (entre Ameer Ain et El Affroun), un resserrement des courbes isohypses, ceci est dû probablement à une variation de perméabilité à cet endroit avec un gradient 0.02 (2 %).

La carte piézométrique montre une convergence au niveau d'Oued El Alleug qui est due à la surexploitation à ce niveau vue l'existence des champs de captages de Mazafran I et II.

Le gradient hydraulique est presque constant en amont de la partie Est de la Mitidja d'une valeur de 0.01 soit 1 % avec un cône de dépression au niveau du champ de captage de Baraki.

CHAPITRE III : Présentation de la zone d'étude.

Au centre de la Mitidja au niveau de Birtouta les courbes iso pièze est espacée avec un gradient hydraulique très important 0.0025 soit 0.25 % ceci est due à la faible perméabilité.

On observe aussi des courbes isohypses négatives, provoquée par la surexploitation de la nappe surtout au niveau du champ de captage Mazafran I.

Notre secteur d'étude est situé entre les courbes iso pièze 30 et 40 avec un gradient hydraulique 0.005 soit 0.5 %. [9]

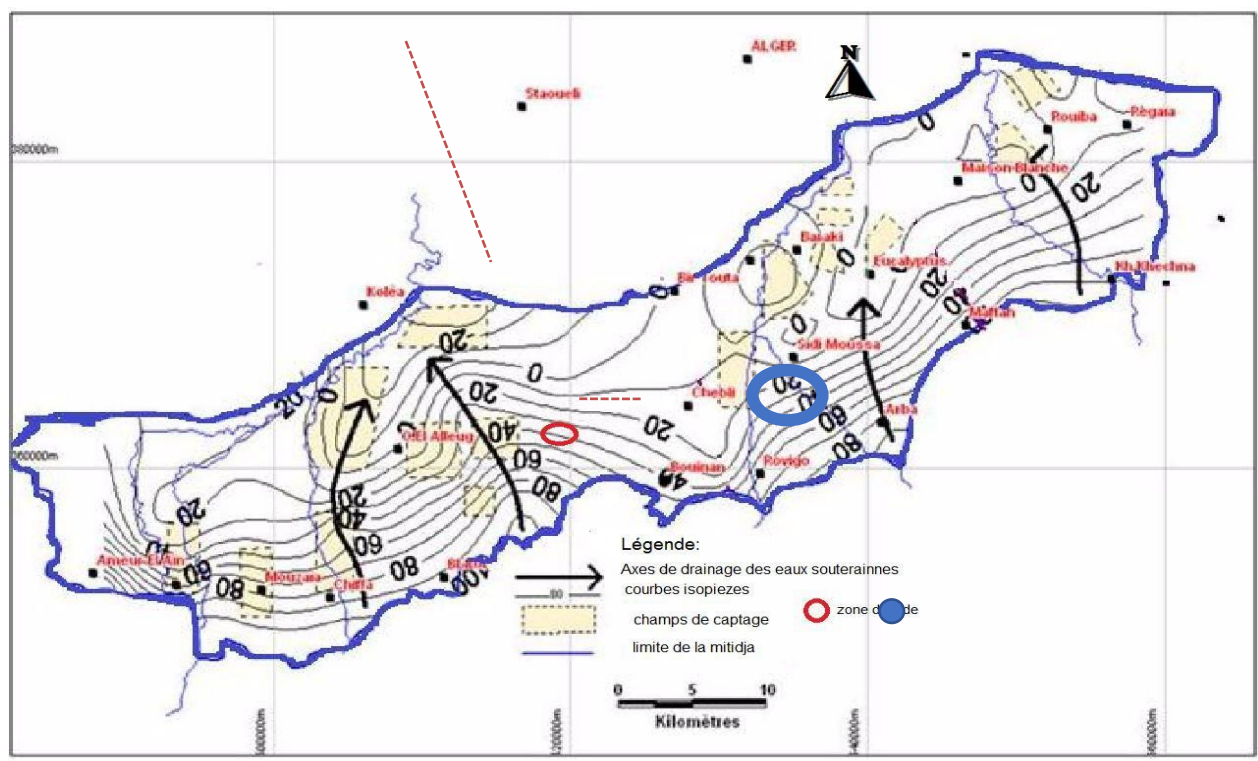


Figure III-14. Carte piézométrique de la nappe de la Mitidja (Campagne, avril 2019)

CHAPITRE III : Présentation de la zone d'étude.

Conclusion :

La plaine de la Mitidja Est, comporte deux sous bassins versants :

- Le bassin versant d'El Hamiz à l'Est.
- Le bassin versant d'El Harrach.

La valeur de l'indice de compacité calculé indique que ces deux bassins versant sont de forme allongée, ce qui signifie que l'infiltration l'emporte sur le ruissèlement, quant à l'indice de pente globale, il indique que ces deux bassins se caractérisent par un relief assez faible. Enfin le réseau hydrographique de la plaine est représenté par quatre oueds principaux, Oued chiffa et Oued el Harrach.

Le climat de la zone étudiée subit, compte tenu de sa situation géographique, la double influence de la mer et de la montagne, son climat est de type méditerranéen caractérisé par une saison sèche s'étalant du mois de mai au mois de septembre, suivi d'une saison humide s'étalant du mois d'octobre au mois d'avril.

Pour les études hydrogéologiques en vue de l'implantation d'un forage destiné à la prospection géophysique ça a nécessité une étude géologique pour le choix des sites les plus favorables.

La nappe Alluvionnaire du quaternaire qui concerne notre zone d'étude est formée par des sables et graviers argileux dont l'épaisseur variant entre 100 à 200 m, avec un substratum marneux du Villafranchien. Elle montre un écoulement général des eaux souterraines de Sud vers le Nord, avec une alimentation directe par les précipitations efficaces, par les infiltrations des eaux superficielles des cours d'eau et directement quand les alluvions sont en contact avec les grès de l'Astien dans la bordure du Sahel.

CHAPITRE IV :

Description des travaux de foration.

Introduction :

Dans ce chapitre, nous exposons les différentes opérations de suivi et de la réalisation du forage programmée par la direction des ressources en eau de la wilaya de Blida.

Nous avons assisté à toutes les opérations de suivi sur le terrain avec l'équipe de la DRE de Blida et l'équipe des foreurs.

IV.1 : Description des opérations de suivi de réalisation du forage :

IV.1.1 : Installation du chantier :

L'organisation de chantier de forage doit permettre au foreur d'intervenir rapidement en cas de problème. Les précautions à prendre doivent conduire à déterminer :

- Un périmètre de sécurité autour du chantier.
- Un accès pour les véhicules.
- Un approvisionnement en eau (citernes).
- Un accès facile pour le remplissage des fosses.
- Un endroit sec pour la rédaction (bureau).
- Une zone de déblais (cuttings).
- Un terrain aplani pour faciliter le calage de la machine.
- L'emplacement et le creusage des fosses à boue.
- Le positionnement du compresseur de façon à ce qu'il ne reçoive pas la poussière de forage.
- L'installation de toutes les unités de pompage, de pression hydraulique et des moteurs sur un plan horizontal.
- L'outil de mesure de la pression hydraulique doit être protégé du soleil.

IV.1.1.1 : Installation de la machine :

L'installation du chantier et de la machine ont été faite le 15 février 2022 au niveau de la commune de Chebli wilaya de Blida.

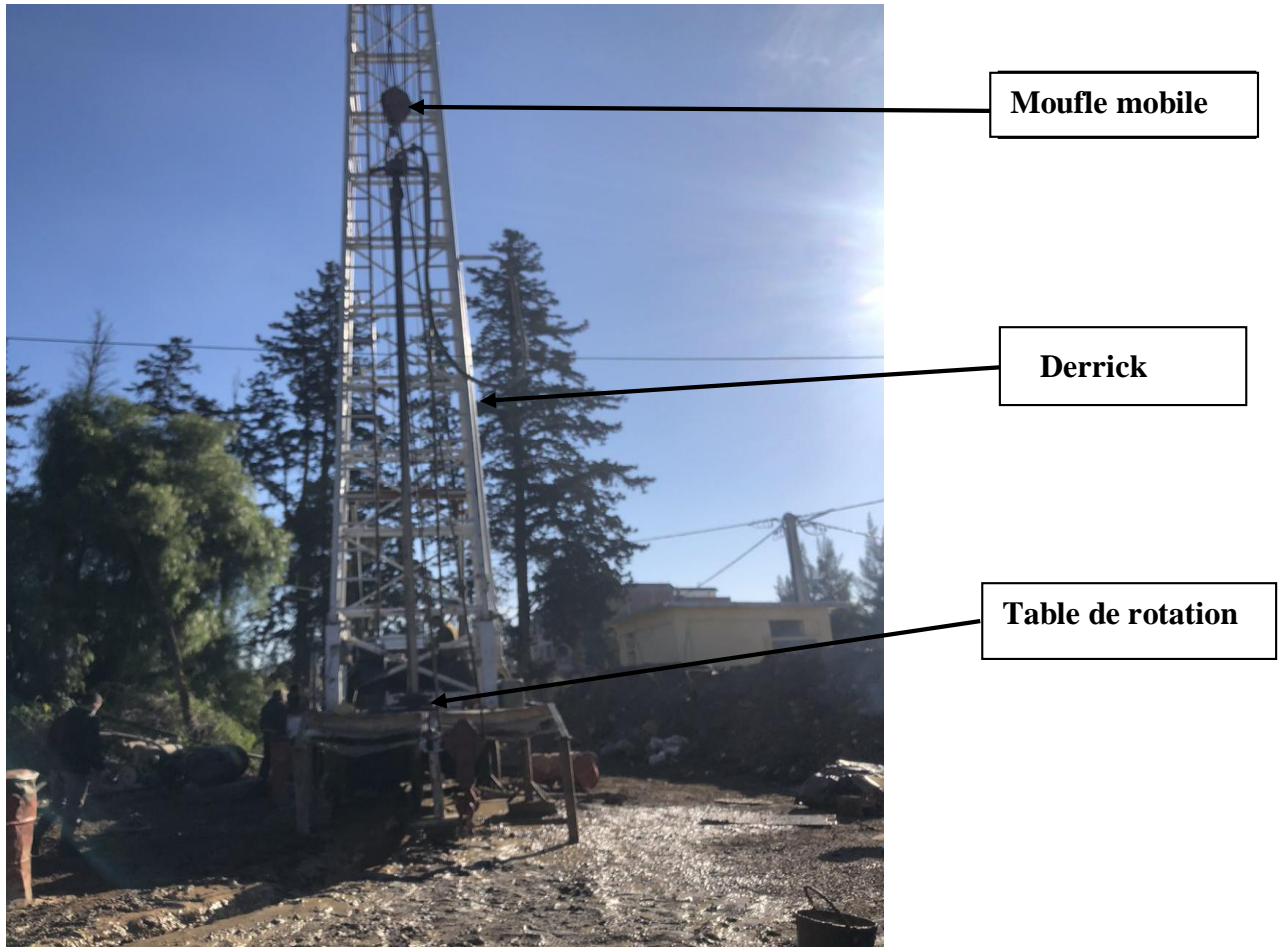


Figure IV-1 : Photo: installation de la machine rotary

IV.1.1.2 : Mise en place des bassins :

Les bassins à boue constituent une réserve de fluide de forage, et permettent le recyclage de la boue par décantation. Deux bassins ont été creusés selon les dimensions suivantes :

Le premier bassin dit bassin de décantation qui reçoit la boue évacuée par la machine lors de la foration pour permettre la décantation de la boue.

Largeur = racine cubique (volume du forage en $m^3 \times 2 / (2.125 \times 7.5)) = 1.3m$

Longueur = $2.5 \times$ largeurs = $3.25 m$

Profondeur = $0.85 \times$ largeurs = $1.10m$

CHAPITRE IV : Description des travaux de foration.

Ainsi, le **Volume de la fosse de décantation** est : largeur * longueur * profondeur = 4.6m³

- **Volume de forage** = $(\pi * D^2 * H)/4 = [3.14 * [(12'' * 2.54 * 10^{-2})^2] * 200]/4 =$

Le second dit bassin de pompage est prévu pour recevoir la boue décantée pour être pompée dans la machine (injectée dans le train de tige)

- **Largeur** = racine cubique (volume du forage en m³ x 2/ (2.125 x 7.5)) = 1.3m
- **Longueur** = 1.25 x largeurs = 1.62m
- **Profondeur** = 0.85 x largeurs = 1.10m

Ainsi, le volume de la fosse de pompage est égal à 2.31m³



Figure IV-2 : photo bassin à boue

CHAPITRE IV : Description des travaux de foration.

➤ La boue du forage :

La boue utilisé est composé d'argile en poudre appelé la bentonite dosé entre 15 à 30 sac par m^3 d'eau de densité 2.6



Figure IV-3 : photo sac de la bentonite

V.2 : Opération de foration :

IV . 2.1 : Mise en place d'un tube guide :

L'opération de la mise en place de tube guide a été faite selon les étapes suivantes :

- **La 1^{ère} étape** : le forage a été exécuté avec un outil de diamètre de 24" et de profondeur 10m
- **La 2^{ème} étape** : mise en place d'un tube en TNRS de diamètre de 22" sur une profondeur de 10m



Figure IV-4 : photo tube guide

CHAPITRE IV : Description des travaux de foration.

- **La 3^{-ème} étape** : une cimentation de 10 m afin d'éviter les problèmes d'infiltration latérale avec un ciment HTS qui peut résister à l'agressivité du sol et des engrais agricoles puisque nous sommes proches de terrain agricole

IV . 2.2 : **Opération de reconnaissance :**

IV . 2.2.1 : **Forage de reconnaissance :**

Le forage de reconnaissance a été exécuté à l'aide d'un outil de 12'', jusqu'à 200m pour obtenir une précision dans l'enregistrement de diagraphie.

L'entreprise de réalisation a effectué cette opération en respectant les étapes suivantes :

- ❖ Prélèvement des cuttings tous les 1 m de profondeurs
- ❖ Mesure et contrôle des paramètres physiques du fluide (densité, viscosité) et des paramètres du forage (la vitesse de rotation et le débit d'injection)



Figure IV-5 : Photo processus de forage d'illustration

IV . 2.2.2 : Prélèvement des échantillons :

L'échantillonnage est effectué lors de la foration à la boue par prélèvement à la surface, des échantillons broyés à la surface (les cuttings).

Généralement, nous prélevons un échantillon dès que nous rencontrons une formation aquifère, et à chaque fois qu'il y a changement de formation. Autrement, on prend un échantillon tous les mètres.

L'échantillon final est rincé puis placé dans des sachets en plastique avec étiquettes portant la mention de la cote de prélèvements.

Les cuttings ont subi un examen détaillé qui a permis avec l'enregistrement diagraphie d'établir la coupe lithologique.



Figure IV-6 : Photo du conditionnement des cuttings dans des sachets étanches.

IV.3 : Reconnaissance géophysique par diagraphie :

Réaliser juste à la fin de la Foration, la diagraphie est une méthode de géophysique permettant de localiser avec grande précision les zones productrices d'eau, et donc de définir la position optimale des crépines.

CHAPITRE IV : Description des travaux de foration.

Elle consiste à utiliser différents dispositifs d'électrodes afin de mesurer verticalement des résistivités des différentes couches de sol directement dans le trou de forage.



Figure IV-7 : photo Illustrations des équipements employés pour réaliser une diagraphie.

IV.3.1 : Présentation des enregistrements :

Le principe de l'opération de la diagraphie consiste en la mesure de deux principales grandeurs : le potentiel, et la résistivité électrique des terrains traversés par le forage de reconnaissance.

CHAPITRE IV : Description des travaux de foration.

La couche de potentiel donnera une idée de la nature géologique des couches et fixera, grâce à l'échelle verticale, leur position dans le forage.

La courbe de résistivité nous renseignera sur la teneur en eau de ces couches, sachant que les formations argileuses ont une faible résistivité et que les formations aquifères douces (sable, grés, gravier ou calcaire) ont une résistivité relativement plus importante.

Les résultats d'enregistrements effectués dans le cas de notre forage sont illustrés sur les figures (voir l'ANNEXE)

- Polarisation spontanée
- Les Résistivités électriques : PN 16" - GN 64"
- Diamètre (Caliper)
- Gamma-ray

IV.3.2 : Interprétation de l'enregistrement diagraphique :

L'interprétation de l'enregistrement diagraphique (voir l'ANNEXE) à permet d'identifier et déterminer les différents niveaux aquifères sur toute la profondeur de forage.

En plus à l'analyse des cuttings ainsi que l'interprétation des enregistrements des diagraphies du forage de reconnaissance, nous avons établi un programme du tubage et la coupe lithologique présenté dans le tableau ci-dessous.

Tableau IV-1 : Programme de Coupe lithologique

Profondeur(m)	Nature de la Formation
0 – 30	
31 – 61	Gravie sable (homogène)
61 – 86	Argiles ± sableux
86 – 138	Intercaler sable argiles (homogène)
138 – 156	Argiles
156 – 172	Sable – gravie – argiles
172 – 188	Argiles
188 – 192	Sable – gravie
192 – 200	Argiles

CHAPITRE IV : Description des travaux de foration.

IV.3.3 : Programme de tubage :

Après l'alésage en 17" ½ et le réalésage en 19" jusqu'à la cote 200 m à la descente des colonnes de tubage en tôle noire roulée soudée (TNRS), diamètre 12" épaisseur 0.6 mm ouverture de crépine 1-2mm.

Le programme de tubage du forage F4 sera comme suit :

Tableau IV-2 : programme du tubage

Profondeur	Type de tube
0 - 86 m	T.P
86 – 96 m	T.C
96 - 100 m	T.P
100 - 114 m	T.C
114 - 124 m	T.P
124 - 138 m	T.C
138 - 154m	T.P
154 - 174m	T.C
174 - 180m	T.P
180 – 195 m	T.C
195 -200 m	T.P avec sabot de décantation

V.4 : Alésage :

Cette opération intervient suite aux résultats d'interprétation de l'enregistrement de la diaggraphie et de dépouillement des cuttings prélevés. L'alésage est le réalésage du puits de reconnaissance en gros diamètre, cet élargissement du trou s'effectuera à l'aide :

- Des outils spéciaux appelés outil pilote ou aléseurs accouplés à un outil guide.
- Des outils de gros diamètres.

CHAPITRE IV : Description des travaux de foration.

Tableau IV-3: Différents diamètres des outils utilisés

Diamètre Alésage	12" ^¼	17" ½	20"	24"
Diamètre approprié	8"	12"	13" ^{3/8}	20"



Figure IV-8 : photo de différents diamètres des outils de foration

IV.5 : Opération descente du tubage :

La descente du tubage a été faite selon les phases représentées comme suit :

CHAPITRE IV : Description des travaux de foration.

- **1^{ère} phase** : descente du tube de décantation avec sabot qui est utilisés pour positionner les tubes.



Figure IV-9 : photo de tube décanteur avec sabot

- **2^{ème} phase** : descentes des tubes du tubage de TNRS crépiné d'ouverture et des tubes plein de diamètre 12".



Figure IV-10 : photo de tube crépine et plein



Figure IV-11 : Photo de mise en place du tubage

IV.6 : Le massif filtrant :

Pour améliorer la protection vis-à-vis des particules fines de l'aquifère, un massif additionnel de gravier peut être mise en place entre le tube de forage et la couche naturelle de l'aquifère.

- **Volume du gravier :**

Le volume nécessaire de gravier peut être défini théoriquement (volume du trou foré moins volume de tubage) ou de manière empirique Cf.BOX.

Calcule du volume gravier, d'après la formule empirique :

$$V = L \times k \times (D^2 - d^2)$$

Avec :

V : volume de gravier, en litres

L : hauteur du massif de gravier, en mètre

CHAPITRE IV : Description des travaux de foration.

D : diamètre du trou, en pouces

d : diamètre des tubes, en pouces

k : 0.8 est un coefficient empirique défini en fonction de l'ouverture de la crépine

Dans le cas de notre forage, nous allons utiliser la méthode de gravillonnage en boue gravitaire. Nous injectons le gravier additionnel après la descente de tubage et la circulation de la boue, le gravier étant d'une taille de **5/8 mm**

IV.6.1: Rôle du massif filtrant :

Le rôle du gravier additionnel est d'augmenter les débits d'exploitation, de diminuer les vitesses d'écoulement, pour minimiser le risque d'érosion du massif naturel de l'aquifère et éviter ainsi l'entraînement des sables fins vers la crépine.

Le massif filtrant est défini par la granulométrie de la formation et par le tube et l'ouverture de la crépine. Il doit être uniforme, propre, calibré, siliceux et bien lavé.



Figure IV-12 : photo de mise en place du massif filtrant

IV.7: Développement :

Le développement d'un forage est une phase très importante qui permet de nettoyer le trou, la crépine et le massif de gravier dans le but d'améliorer les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère autour de la crépine, pour augmenter le débit exploitable et de produire une eau de bonne qualité. La perméabilité du massif de l'aquifère terrain près de crépine est ainsi améliorée, notamment, d'une part, par élimination au maximum d'éléments fins et d'autre part par limitation et stabilisation du massif de gravier.

Dans le cas de notre forage, nous avons utilisées la méthode de développement pneumatique à l'air lift.

Cette méthode est la plus efficace si elle est bien adoptée et bien conduite. Elle présente l'avantage de n'entraîner aucune détérioration du matériel employé. Elle permet de combiner l'action de flux et de reflux provoquée par de grands volumes d'air introduit dans l'ouvrage avec celle de mise en production par air lift.



Figure IV-13 : Photo d'un compresseur de 16 bars

Le développement de forage a été réalisé pendant une durée de 144 h (6 jours), au moyen d'un compresseur d'air de 16 bars. Et exécuté suivant les quatre paliers suivants du haut vers le bas :

CHAPITRE IV : Description des travaux de foration.

- **1^{er} palier :**
 - Tube d'eau : 105 m
 - Tube d'air : 103 m
- **2^{-ème} palier :**
 - Tube d'eau : 130 m
 - Tube d'air : 128 m
- **3^{-ème} palier :**
 - Tube d'eau : 160 m
 - Tube d'air : 158 m
- **4^{-ème} palier :**
 - Tube d'eau : 182 m
 - Tube d'air : 180 m



Figure IV-14 : photo d'Opération de développement à l'air lift du captage (vanne ouverte)

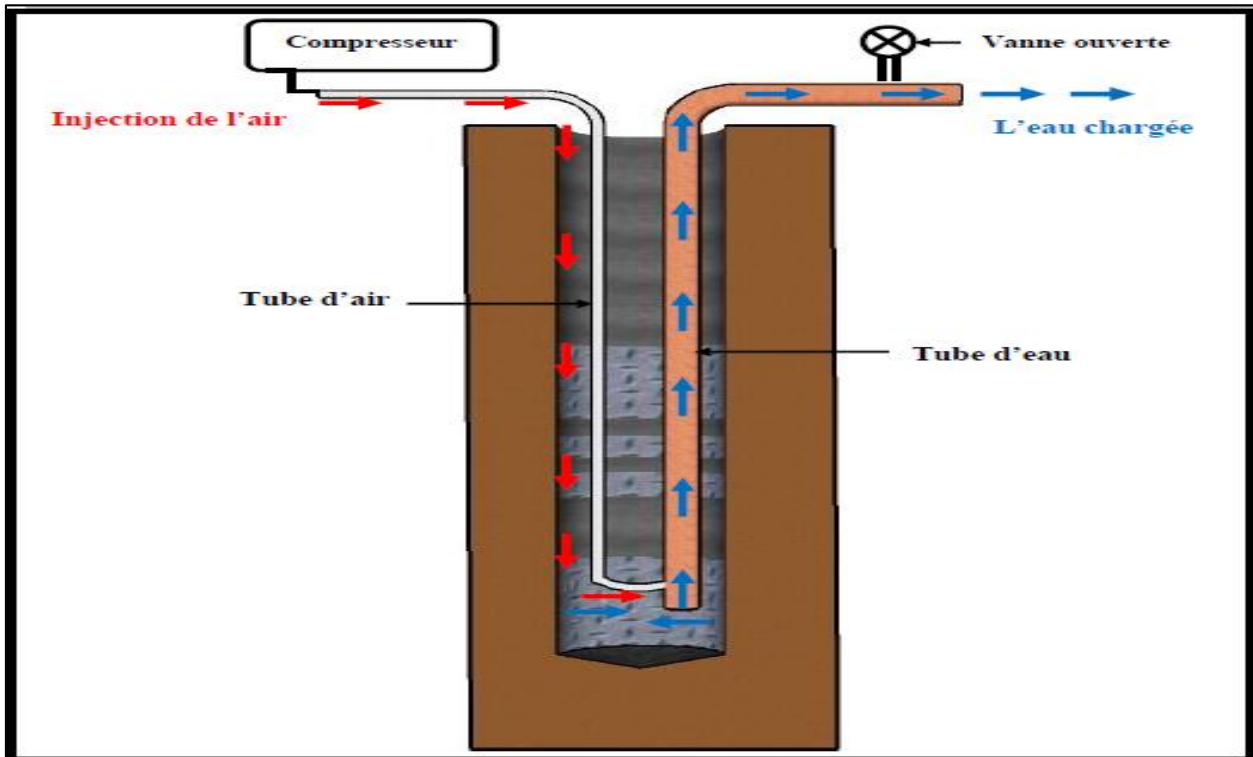


Figure IV-15 : Coupe technique longitudinale de l'opération de développement à l'air lift (vanne ouverte)

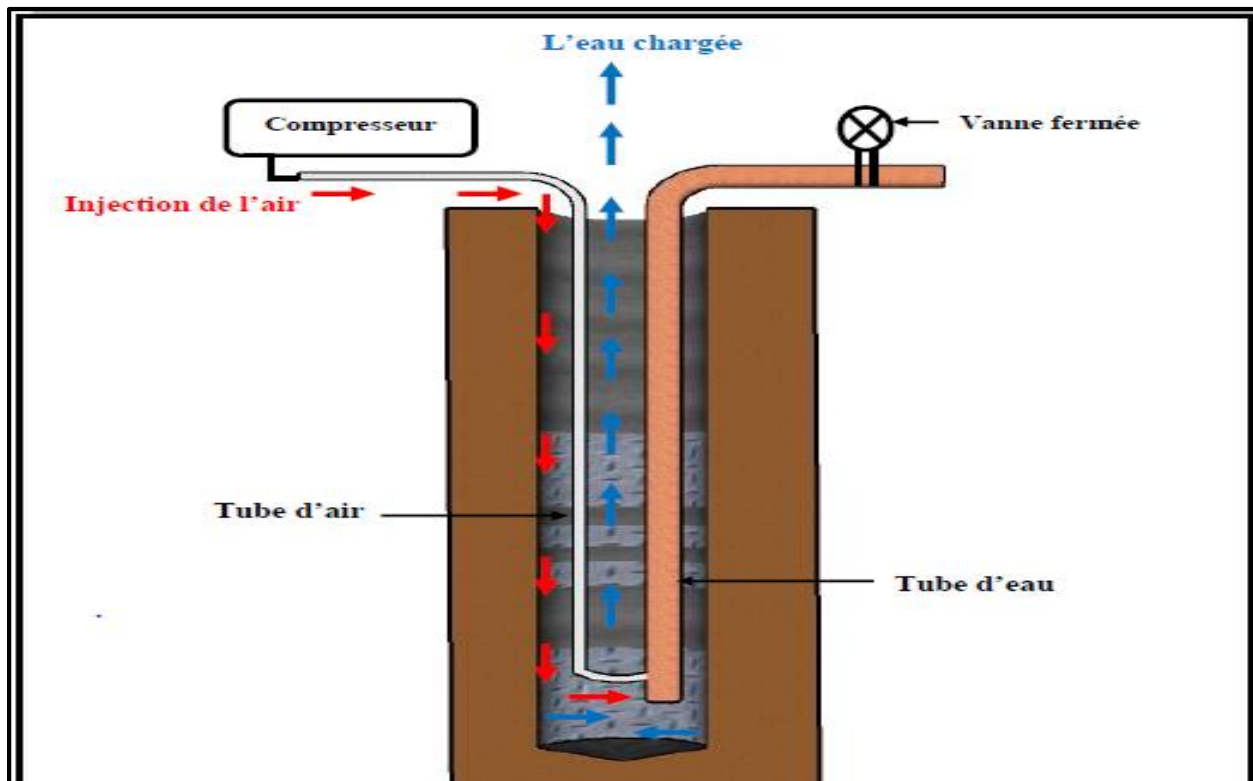


Figure IV-16: Coupe technique longitudinale de l'opération de développement à l'air lift (l'opération de barbotage)

CHAPITRE IV : Description des travaux de foration.

- **Développement chimique (Traitement à l'hexa-métaphosphates) :**

L'opération d'élimination des boues de bentonite est très difficile. Le meilleur moyen de disperser la bentonite est d'utiliser des produits contenant du polyphosphate, ce produit contient de l'hexa-métaphosphates (c'est un polymère de Métaphosphate, sa formule est $PO_3 NA$ en solution aqueuse à **4% par m³**).

Nous avons utilisé une quantité de 300 kg dans le cas de notre forage.

Le déroulement de cette opération de traitement se fait en 3 phases :

- ❖ **Phase 1 :** Injection d'une quantité de l'hexamétaphosphates au moyen d'un tube face à la zone à traiter, nous pouvons utiliser également le cutting, en particulier lorsque on se trouve en présence d'incrustation de la boue dans la crépine.
- ❖ **Phase 2 :** Pompage à l'air lift.
- ❖ **Phase 3 :** Laisser la solution de l'hexamétaphosphates au contact avec la boue bentonite, le temps nécessaire pour la réaction chimique jusqu'à 24 heures

Nous réitérons cette opération jusqu'à ce que l'eau extraite devienne claire et propre.

Le développement chimique est la dernière étape avant la mise en service du forage.



Figure IV-19 : photo préparation et injection de l'hexamétaphosphates

CHAPITRE IV : Description des travaux de foration.

IV.8 : Les essais de pompage :

IV.8.1 : Introduction :

Après nettoyage et développement des opérations de forage. Nous passons au processus de tests de pompage afin de déterminer les différents paramètres hydrodynamiques de l'aquifère et les conditions optimales d'exploitation.

En plus des deux paramètres nécessaires qui doivent être mesurés lors de l'essai de pompage sont le niveau d'eau dans le forage et le débit d'extraction de l'eau. Le matériel utilisé pour observer ces deux paramètres est le suivant :

IV.8.2 : Observation de niveau d'eau :

Sonde piézométrique manuelle : La sonde piézométrique est un instrument utilisé pour mesurer la profondeur de la surface de la nappe souterraine. Elle est exprimée en m.



Figure V-18 : photo Sonde électrique

IV.8.3 : Observation des débits de pompage :

Débitmètre : Lorsqu'un équipement plus sophistiqué est disponible, les débits peuvent être mesurés par des débitmètres, qui sont de divers types. Il utilise des pistons à ressort qui sont défléchis par le flux d'eau, et le débit est lu sur l'échelle graduée. Il est important de vérifier le débit en utilisant une autre méthode, d'utiliser correctement la jauge et de maintenir le matériel en bon état.



Figure IV-19 : photo de Débitmètre

Compteur analogique d'eau :

Certains débitmètres enregistrent le volume d'eau cumulé qui passe par le compteur, donc il est nécessaire de faire des relevés à des heures précises et de calculer le débit, après avoir vérifié les unités que le compteur utilise.



Figure V-20 : photo d'un compteur analogique.

CHAPITRE IV : Description des travaux de foration.

Les rabattements dus aux essais de pompage sont répartis en deux catégories : essai de puits et essai de nappe dont les solutions théoriques, servent à déterminer les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère.

IV.8.4 : Les pompages par paliers de débits ou essai de puits :

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

IV.8.5 : Le pompage de longue durée ou essai de nappe :

Il s'agit d'un pompage à débit constant réalisé généralement sur 48 heures avec un débit constant. Mais pouvant atteindre des durées bien plus importantes, la durée de pompage peut être de plusieurs mois en continu. Les rabattements dus aux essais de pompage sont répartis en deux catégories de solutions théoriques, servant à déterminer les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère.

- Les solutions en régime permanent permettent d'obtenir la transmissivité T et de déduire par la suite la conductivité hydraulique K. ;
- Les solutions en régime transitoire permettent en plus d'estimer le coefficient d'emménagement S.

IV.8.6 : Résultats et interprétation :

Résultats expérimentaux :

Les résultats des relevées essais effectués pendant l'essai de pompage par paliers de courte durée sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau IV-4 : Caractéristiques de pompage par paliers de l'ouvrage de production FCh4

Palier	Débits moyen	Débit moyen	Niveau Dynamique	Rabattement	Débit spécifique Q/s	Rabattement spécifique s/Q
/	(l/s)	(m ³ /h)	(m)	(m)	(m ³ /h/m)	(m/m ³ /h)
1	6	21.6	88	7	3.085	0.324
2	8	28.8	95	11	2.057	0.486
3	12	43.2	98	17	2.541	0.393

CHAPITRE IV : Description des travaux de foration.

- **Le rabattement s** = le niveau dynamique - le niveau statique
- **Rabattement spécifique** = le rabattement / le débit
- **Débit spécifique** = le débit / le rabattement

On trace le graphe rabattements spécifiques en fonction des débits :

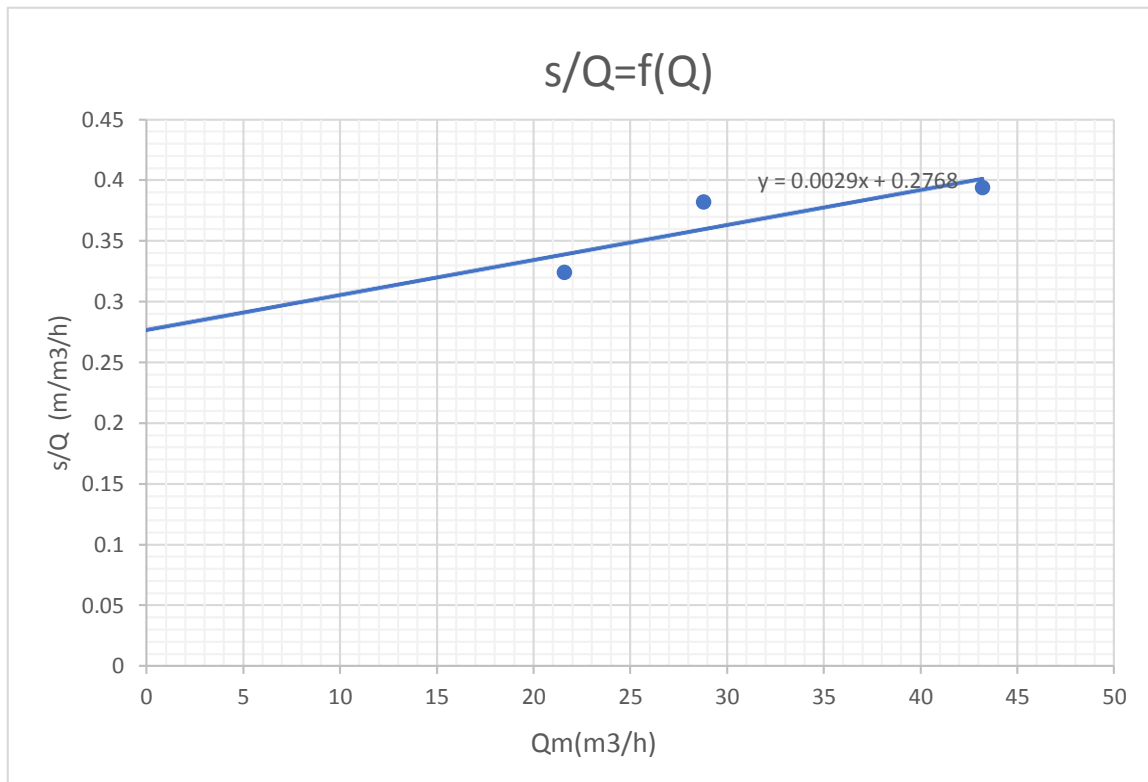


Figure IV-21 : La courbe d'ajustement de $s/Q=f(Q)$.

Interprétation de pompage par paliers :

- **Calcul des pertes de charge :**

Le rabattement S mesuré dans l'ouvrage à un instant donné, est la somme de deux composantes nommées pertes de charge caractéristiques du complexe aquifère- ouvrage :

Jacob propose d'exprimer le rabattement dans le forage par l'équation suivante :

$$S = B \cdot Q + C \cdot Q^2$$

En termes de rabattement spécifique l'équation devienne :

$$S/Q = B + CQ$$

S : rabattement total (m)

CHAPITRE IV : Description des travaux de foration.

Q : débit de pompage (l/s)

B et C : coefficient de perte de charge linéaire et quadratique respectivement

BQ : représente les pertes de charges linéaire, provoquée par l'écoulement linéaire dans l'aquifère au voisinage du puits.

CQ² : représente les pertes de charges quadratiques, provoquée par l'écoulement turbulent dans l'ouvrage, les crépines et le tubage.

Les essais à permet de tracer la courbe **S/Q=f(Q)** qui est représenté par une droite de pente C qui égale à **0.0029** et d'ordonnée B qui est égale à **0.2768**, donc :

$$S = 0.2768Q + 0.0029Q^2$$

- **Calcul du débit critique Q_c et du rabattement critique s_c :**

On trace la courbe caractéristique de forage FCh4 de Chebli

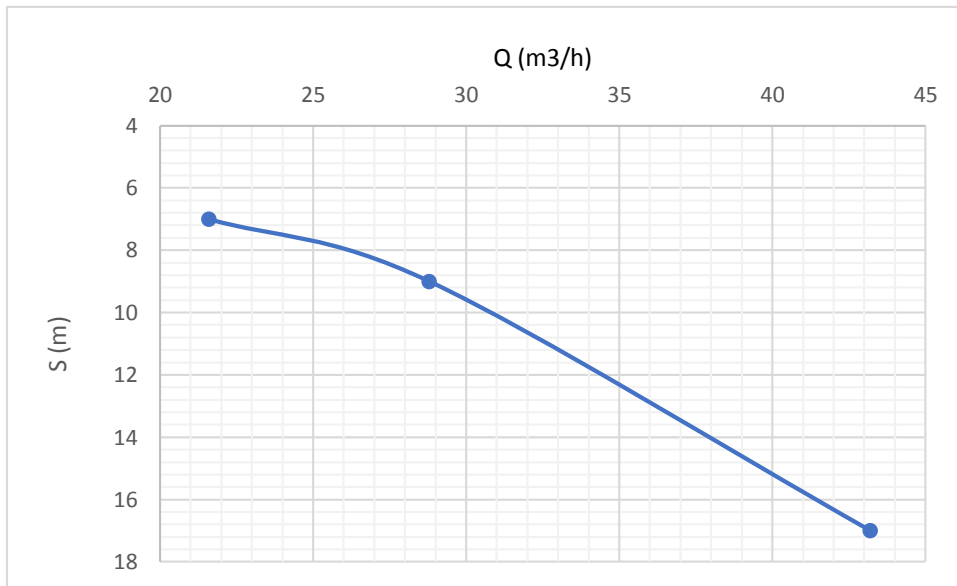


Figure IV-22: courbe caractéristique de forage FCh4.

$$Q_c = 29 \text{ m}^3 / \text{h}$$

- **Essais de pompage long duré :**

Les résultats de l'essai sont présentés dans le tableau ci-dessous :

CHAPITRE IV : Description des travaux de foration.

Tableau IV-6 : les essais de pompage de longue durée Q= 12 l/s (la descente)

Temp (h)	Temp (min)	Temp (s)	Debit(L/s)	Niveau dynamique(m)	Rabattements (m)
8 :00	0	0	12	88	7
8:5	5	300	12	88.1	7.4
8:10	10	600	12	88.4	8
8:15	15	900	12	89	8.5
8:30	30	1800	12	89.5	9
8:45	45	2700	12	90	9.4
9 :00	60	3600	12	90.4	9.8
9:15	75	4500	12	90.8	10.2
9:30	90	5400	12	91.2	10.8
9:45	105	6300	12	91.8	11.6
10 :00	120	7200	12	92.6	11.9
10:30	150	9000	12	92.9	12
11 :00	180	10800	12	93	12.6
11:30	210	12600	12	93.6	13
12 :00	240	14400	12	94	13
13 :00	300	18000	12	94.5	13.5
14 :00	360	21600	12	94.9	13.9
15 :00	420	25200	12	95	14
16 :00	480	28800	12	95.4	14.9
17 :00	540	32400	12	95.9	15.2
18 :00	600	36000	12	96.2	15.8
19 :00	660	39600	12	96.8	16.2
20 :00	720	43200	12	97.2	16.4
21 :00	780	46800	12	97.4	16.6
22 :00	840	50400	12	97.6	16.8
23 :00	900	54000	12	97.8	17
00 :00	960	57600	12	98	17
3 :00	1140	68400	12	98	17
8 :00	1440	86400	12	98	17
10 :00	1560	93600	12	98	17
12 :00	1680	100800	12	98	17
15 :00	1800	108000	12	98	17
20 :00	2100	12600	12	98	17
00 :00	2340	140400	12	98	17
2 :00	2460	147600	12	98	17
4 :00	2580	154800	12	98	17

CHAPITRE IV : Description des travaux de foration.

On remarque que le rabattement augmente avec le temps, jusqu'il se fixe au $s = 17$ m.

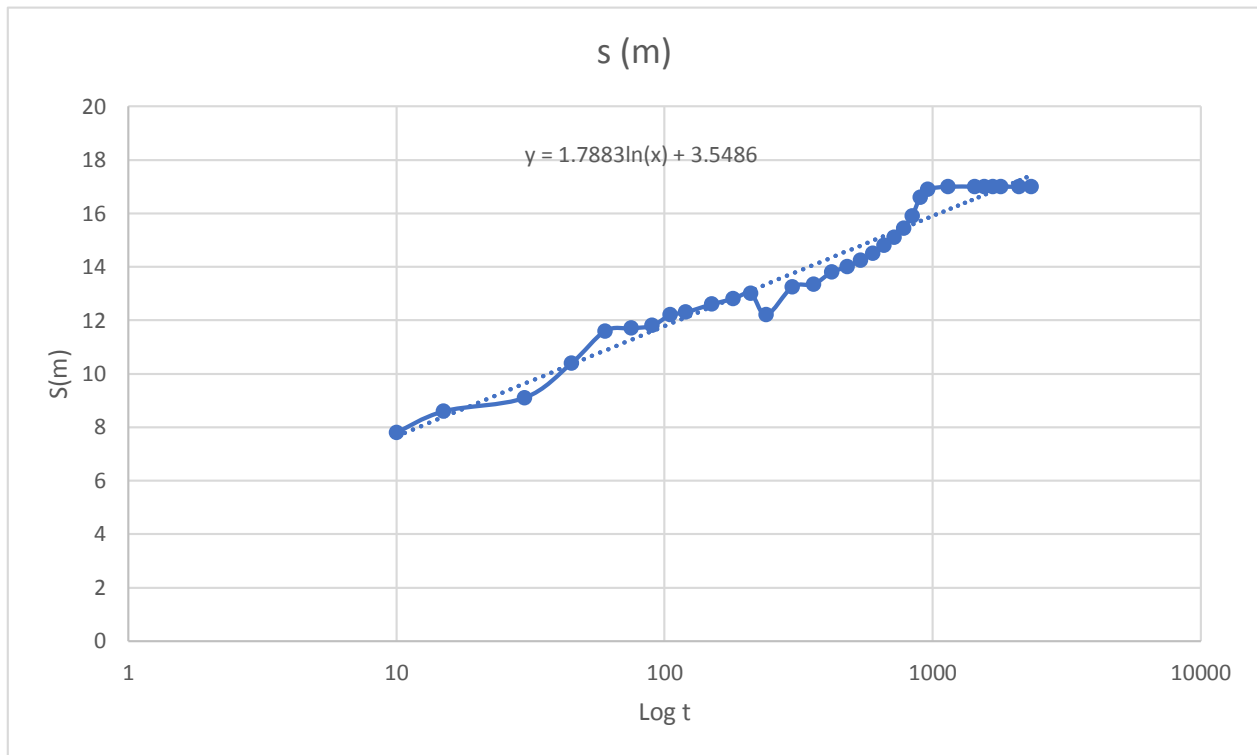


Figure IV-23 : courbe de la descente.

CHAPITRE IV : Description des travaux de foration.

Tableau IV-7 : les essais de pompage de longue durée Q= 12 l/s (la remontée)

Temp (h)	Temp (min)	Temp (s)	Niveau dynamique(m)	Rabattements(m)
8 :00	0	0	98	17
8:5	5	300	97.7	16.7
8:10	10	600	97.1	16.1
8:15	15	900	96.2	15.2
8:30	30	1800	96	15
8:45	45	2700	95.5	14.5
9 :00	60	3600	95	14
9:15	75	4500	94.4	13.4
9:30	90	5400	94	13
9:45	105	6300	93.2	12.2
10 :00	120	7200	93	12
10:30	150	9000	92.4	11.4
11 :00	180	10800	92.1	11.1
11:30	210	12600	91.1	10.1
12 :00	240	14400	91	10
13 :00	300	18000	90.2	9.2
14 :00	360	21600	90	9
15 :00	420	25200	89.8	8.8
16 :00	480	28800	89.4	8.4
17 :00	540	32400	88.2	7.2
18 :00	600	36000	87.1	6.1
19 :00	660	39600	87	6
20 :00	720	43200	86.5	5.5
21 :00	780	46800	85.4	4.4
22 :00	840	50400	84.1	3
23 :00	900	54000	82.2	1.2
00 :00	960	57600	82	1
3 :00	1140	68400	82	1
8 :00	1440	86400	82	1

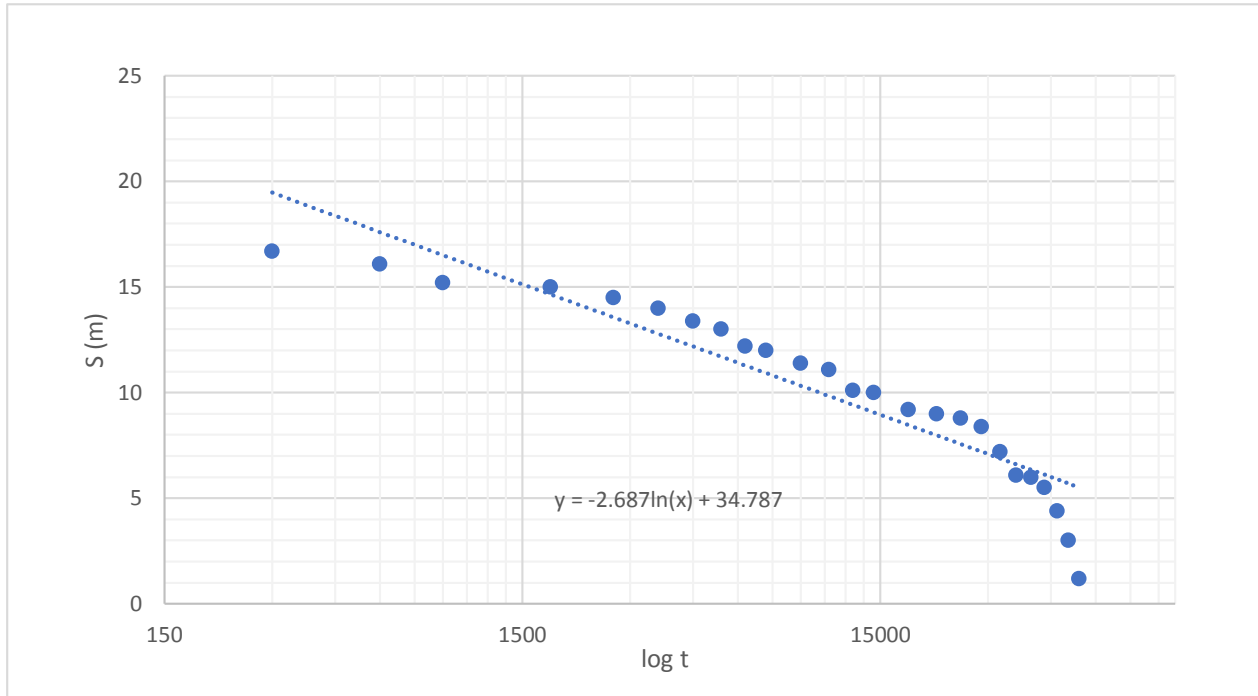


Figure IV -24 : Courbe de la remontée

Ces types de calculs se base sur la courbe de descente et de remonté, d’après la courbe de descente qui est représentédans un papier semi-logarithmique (**Figure IV-24**) on calcule les paramètres suivants :

- **Calculer la Transmissivité, coefficient d’emmagasinement, le rayon d’action et la perméabilité :**

L’équation de Jacob s’écrit :

$$\Delta S = 0.183Q/T \cdot \log 2.25 \cdot T \cdot t / x^2 \cdot S'$$

ΔS : rabattement théorique en **m**

S' : coefficient d’emmagasinement

Q : débit de pompage constant en **m³/s**

T : Transmissivité en **m²/s**

t : temps écoulé depuis le début de pompage en **s**

x : distance de piézomètre d’observation à l’axe du puits de pompage en **m**

CHAPITRE IV : Description des travaux de foration.

1) La Transmissivité T :

$$T = 0.183.Q / C$$

$$\text{Le } Q = 12 \text{ l/s} = 0.012 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$C = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\text{Log}t_2 - \text{Log}t_1} = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\text{Cycle logarithmique}}$$

$$C = 6.43 \text{ m}$$

$$\text{Alors : } T = 0,00034 \text{ m}^2/\text{s} = 0,34 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

2) Conductivité hydraulique K :

Nous avons déduit la perméabilité selon la formule $T = k \cdot e$

e : étant l'épaisseur de la nappe libre

Dans le cas de notre forage, l'épaisseur de l'aquifère à nappe libre correspond à sa charge statique de 55 m.

Avec $K=T/e$ nous obtenons :

$$T = 0,00034 \text{ m}^2/\text{s} = 0,34 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$e = 93 \text{ m}$$

$$K = 0,365 \cdot 10^{-5} \text{ m /s}$$

3) Coefficient d'emménagement S :

Dans l'absence d'un piézomètre, le coefficient d'emménagement n'a pas été évalué et le seul paramètre apprécié est la transmissivité.

CHAPITRE V :

**Étude de la qualité physico-chimique de
l'eau de forage (FCh4).**

Introduction

L'objectif de ce chapitre consiste en une caractérisation de l'eau prélevée du forage projeté (Forage FCh4) uniquement d'un point de vue physico-chimique et non bactériologique pour une évaluation de sa potabilité par rapport à une grille de qualité spécifique aux eaux destinées à la production d'eau potable.

Il est connu dans la littérature spécialisée que la qualité des eaux souterraines est affectée considérablement par la lithologie des sols d'emmagasinement et dépend également de leurs origines et de la durée de leur séjour dans les aquifères. En effet, la composition spatiotemporelle des eaux souterraines dépend des apports extérieurs (dépôts atmosphériques, excédent des précipitations, infiltrations de surface), de la nature des zones non saturées et saturées (géochimie), de la distance parcourue par l'eau, du temps de séjour et des différences de vitesse d'écoulement.

V. Qualité physico-chimique :

Les paramètres physico-chimiques forment une base de données pour l'évaluation de la qualité de l'eau naturelle. L'eau destinée à la consommation humaine doit cependant correspondre aux règles générales d'hygiène et à toutes les mesures nécessaires au maintien de la santé publique. Le but de cette analyse est donc d'évaluer la qualité et les concentrations en éléments chimiques de l'eau souterraine prélevée du forage.

L'analyse de la qualité physico-chimique des échantillons de l'eau prélevée lors de l'essai de pompage a été effectuée au niveau de laboratoire de l'ADE (Algérien des eaux) de Chiffa de la wilaya de Blida, avec la collaboration des techniciens du laboratoire.

V.1: Matériel et méthode d'analyse :

L'étude a été menée sur des échantillons d'eau provenant du forage de FCH4, prélevée lors de la période d'essais de pompage. Les prélèvements d'eau effectués ont été mis dans des flacons en plastique puis acheminés au laboratoire pour l'analyse.

Les analyses physico-chimiques ont concerné les paramètres physico-chimiques suivants :

Température, pH, Conductivité électrique, Turbidité, Titre alcalin, Titre alcalin complet, Dureté totale, Matière organique, Magnésium, Calcium, Chlorure, Nitrate, Nitrite, l'azote ammoniacal, Sulfates et Fer total.

CHAPITRE V : Étude de la qualité physico-chimique de l'eau de forage (FCh4).

V.2: Paramètres physiques :

V.2.1: Conductivité électrique :

La conductivité permet d'apprécier le degré de minéralisation de l'eau dans la mesure où la plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La classification des eaux en fonction de la conductivité se présente de la manière suivante : Conductivité égale à $0.05\mu\text{S}/\text{cm}$: eau déminéralisée ; Conductivité de 10 à $80\mu\text{S}/\text{cm}$: eau de pluie; Conductivité de 80 à $100\mu\text{S}/\text{cm}$: eau peu minéralisée ; Conductivité de 300 à $500\mu\text{S}/\text{cm}$: eau moyennement minéralisée ; Conductivité de 1000 à $3000\mu\text{S}/\text{cm}$: eau saline ; Conductivité supérieure à $3000\mu\text{S}/\text{cm}$: eau de mer.

En effet, la mesure de la conductivité permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau, donc de sa minéralisation. La conductivité électrique dépend des charges de matière organique endogène et exogène, génératrice de sels après décomposition et minéralisation et également avec le phénomène d'évaporation qui concentre ces sels dans l'eau, elle varie aussi Suivant le substrat géologique traversé. Ainsi, plus la concentration en solide dissout sera importante, plus la conductivité sera élevée. [15]

Matériel : Conductimètre.



Figure VI-1 : Photo d'un conductimètre.

CHAPITRE V : Étude de la qualité physico-chimique de l'eau de forage (FCh4).

La valeur de la conductivité électrique mesurée pour notre échantillon étant proche de $591.6 \mu\text{S}/\text{cm}$ et s'avèrent donc selon ce classement, une eau non Fai minéralisée.

V.2.2: Température :

En rapport avec les normes de potabilités de l'eau fixées par l'OMS (1994), l'eau est excellente lorsque la température varie entre 20 et 22°C ; passable lorsque la température oscille dans l'intervalle de 22 à 25°C ; médiocre lorsqu'elle est comprise entre 25 et 30°C .

La température mesurée dans l'échantillon d'eau prélevée du forage FCH4 est de 21.1°C , cette valeur est comprise entre 20 et 22°C , ceci pourrait signifier comparativement à ces normes, que l'eau analysée est excellente.

V.2.3: Le potentiel hydrogène pH :

Le potentiel hydrogène, plus connu sous le nom de pH permet de mesurer l'acidité ou la basicité d'une solution, Le pH est en relation avec la concentration des ions hydrogène $[\text{H}^+]$ présent dans l'eau ou les solutions. [15]

Matériel : PH mètre.



Figure VI-2 : Photo du PH-mètre utilisé.

La valeur obtenue du pH est de 7.73 ce qui témoigne d'une légère alcalinité du milieu.

CHAPITRE V : Étude de la qualité physico-chimique de l'eau de forage (FCh4).

V.2.4: Turbidité :

Par définition c'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoute.



FigureVI-3 : Photo d'un Turbidimètre (TL2300).

La valeur mesurée de la Turbidité est de 3.43 (NTU) ce qui correspond à une eau claire.

V.3 : Paramètres chimiques :

V . 3.1 : Titre Alcalimétrique Complet (TAC) :

Le TAC est par définition la grandeur utilisée pour mesurer le taux d'hydroxydes, de carbonates et de bicarbonates d'une eau. La teneur mesurée pour le TAC est de 256.2 mg/l.

V . 3.2 : Titre Alcalimétrique (TA) :

Il permet de connaître les teneurs de l'eau en carbonates et bases fortes présentes dans l'eau. Cette analyse se fait en présence de phénolphtaléine qui vire de l'incolore au rose-fuchsia à un pH de 8.2, La valeur mesurée du : TA =0 (mg/l).

V . 3.3 : La dureté totale (TH) :

La dureté totale d'une eau est produite par les sels de calcium et de magnésium qu'elle contient. On distingue : une dureté carbonatée qui correspond à la teneur en carbonates et bicarbonates de Ca et Mg et une dureté non carbonatée produite par les autres sels. La dureté est mesurée par le titre hydrotimétrique (TH) exprimé en °F (degré français); 1°F correspond à 10 mg de carbonate de Calcium dans 1 litre d'eau. Elle résulte principalement du contact des eaux souterraines avec les formations rocheuses : Le calcium dérive de l'attaque du CO₂ dissout par les roches calcaires (dolomies) ou de la dissolution sous forme de sulfate dans le gypse. La dureté d'une eau naturelle

CHAPITRE V : Étude de la qualité physico-chimique de l'eau de forage (FCh4).

dépend de la structure géologique des sols traversés. La concentration mesurée pour le TH est de 263.712 mg/l ce qui correspond à un TH de 26.3721 °f. Compte tenu de cette valeur l'eau prélevée sera considérée comme une eau trop douce dite aussi agressive parce que corrosive pour les conduites. [15]

V. 3.4 : Teneur des Nitrates NO_3^- (Méthode au salicylate de sodium) :

Les nitrates sont présents dans l'eau par lessivage des produits azotés dans le sol, par décomposition des matières organiques ou des engrais de synthèse ou naturels. L'azote est un élément indispensable dans l'édification de la cellule. Dans le domaine aquatique, l'azote existe sous forme moléculaire (N_2) ou ionisée : Nitrates (NO_3^-), Nitrites (NO_2^-) et ammonium (NH_4^+) ainsi que sous forme organique dissoute ou particulaire (protéine, acides aminés, urée, etc.). Ces différentes formes de l'azote sont en perpétuelle évolution. Elles passent de l'une à l'autre par des processus physico-chimique et surtout biochimique. Les nitrates ne représentent qu'une des multiples formes de l'azote présent dans l'eau, tout en constituant, en général, la forme la plus abondante de l'azote minéral. La teneur en nitrate mesurée est de 13.29 mg/l, ce qui reste inférieure à la valeur admissible par les normes algériennes (≤ 50 mg/l). De ce fait, l'eau prélevée n'est pas sujette à un risque de pollution par les nitrates.

V. 3.5 : Teneur en ammonium (NH_4^+):

La teneur mesurée en NH_4^+ est de 0.027 mg/l, suffisamment faible par rapport à la norme algérienne dont la concentration maximale admissible est de 0.5 mg/l. [15]

Matériel : Spectrophotomètre (UV-Visible)



Figure V-4 : Photo d'un Spectrophotomètre (UV-Visible).

V . 3.6 : Teneur des nitrites (NO^{2-}) :

Ils sont également assez largement présents, mais à des niveaux bien moindres que les Nitrates. Les nitrites proviennent d'une oxydation incomplète des matières organiques.

Comme les nitrates, les nitrites sont très répandus dans l'environnement, les uns et les autres se retrouvent dans la plupart des produits alimentaires, dans l'atmosphère et dans une grande partie des eaux. Les fortes teneurs correspondent à la réduction des nitrates en nitrites par les anaérobies sulfito-réducteurs. Elles peuvent également être liées à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac. Les teneurs en nitrites est <0.01 mg/l durant la période d'étude, le taux maximal en nitrites est fixé à $0,1$ mg/l selon la norme algérienne, ce qui répond bien aux conditions de potabilité. Il est important de signaler que la présence des Nitrites dans l'eau en quantité importante dégrade la qualité de l'eau et pourrait affecter la santé humaine. La toxicité liée au nitrite est très significative en raison de leur pouvoir oxydant.

Matériel : Spectrophotomètre (UV-Visible)

V . 3.7 : Teneur en chlorures (Cl^-) :

Sur la base des résultats des analyses effectuées sur notre échantillon, la teneur en chlorures est de l'ordre de 96.43 mg/l. Au niveau de la zone d'étude, la teneur en chlorures est inférieure à 200 mg/l. Selon les normes algériennes relatives à la potabilité des eaux, la concentration en chlorure maximale recommandée est de 200 mg/l alors que le maximum admissible est de 500 mg/l. de ce fait, et concernant ce paramètre ainsi discuté, la qualité de l'eau au niveau de la zone d'étude est excellente.

V . 3.8 : Teneur en Sulfates (SO_4^{2-}):

Les sulfates (SO_4^{2-}) proviennent du ruissellement ou de l'infiltration dans les terrains à gypse. Ils résultent également de l'activité de certaines bactéries (chloro-thio-bactéries, rhodothio-bactéries, etc.). Cette activité peut oxyder l'hydrogène sulfuré (H_2S) toxique en sulfate.

Matériel : Spectrophotomètre (UV-Visible)

La teneur mesurée pour SO_4^{2-} est de 128.96 (mg/l), La valeur ainsi enregistrée reste inférieure à la norme algérienne (200 à 400 mg/l) relative à la qualité des eaux destinées à la production de l'eau potable. [15]

V. 3.9 : Teneur en fer total (Fe) :

Le fer est un élément assez abondant dans les roches (quelques %) sous forme de silicates, d'oxydes et hydroxydes, de carbonates et de sulfures. La craie contient des nodules de marcasite (sulfure); les terrains jurassiques présentent un niveau d'oolithes en oxydes de fer. Le fer est soluble à l'état d'ion Fe^{++} (ion ferreux) mais insoluble à l'état Fe^{+++} (ion ferrique). La valeur du potentiel d'oxydoréduction (Eh) du milieu conditionne donc sa solubilité et la teneur de l'eau en fer. Les nappes captives isolées des échanges avec la surface sont en conditions réductrices : leur eau est ferrugineuse. Ce fer dissous précipite en milieu oxydant, en particulier au niveau des sources et à la sortie des conduites. La présence de fer dans l'eau peut favoriser la prolifération de certaines souches de bactéries qui précipitent le fer où corrodent les canalisations. L'eau est ferrugineuse notamment dans les nappes captives de la craie et des sables de l'Albien. Un traitement spécifique est alors nécessaire (précipitation en milieu oxydant). Les teneurs en fer total de notre échantillon sont de 0,02 mg/l, concentration inférieure à la norme recommandée $\leq 0,3$ mg/l.

V. 3.10 : Teneur en calcium (Ca^{2+}) et en magnésium (Mg^{2+}):

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Composant majeur de la dureté de l'eau le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature de terrains traversés. Il existe surtout à l'état l'hydrogénocarbonate et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorures.

Le magnésium est un des éléments les plus répandus dans la nature ; il constitue environ 2.1% de l'écorce terrestre. La plupart de ses sels sont très solubles dans l'eau, même le carbonate peut être dissous jusqu'à 300 mg/l à 20°C. La teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées (calcaires, dolomitiques, du jurassique ou du trias moyen). Les valeurs les plus faibles sont relevées dans la plupart des eaux des massifs anciens. Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau ; sa teneur dépasse rarement 15mg/l. Il est présent sous forme de carbonates et d'hydrogénocarbonates (Rodier, 1976). La teneur mesurée en Mg^{2+} est de 20.70 (mg/l) et en Ca^{2+} est de 70.99 (mg/l), ce qui reste conforme aux normes prévues pour ces deux éléments chimiques. [15]

V. 4 : Résultats et interprétation :

Les résultats d'analyse des teneurs des différents paramètres physico-chimiques caractérisant la qualité de l'eau prélevée du forage sont rassemblés dans le tableau V-1.

Certaines teneurs sont admissibles et d'autres non par rapport aux recommandations de l'OMS et celles prescrites selon les normes Algériennes.

Tableau V-1 : les valeurs des différents paramètres physico-chimiques de l'eau du forage FCh4

Elément/ substance	Symbole	Unité	Concentration eau de Forage	Normes [3] (OMS)	Normes [3] (Algériennes)	Observation
Température	T	(°C)	21.1		21 à 22,5	Excellente
Potentiel Hydrogène	PH	Sans	7.73	6.5 à 9	6.5 à 9	Excellent
Conductivité	Cond	(µs/cm)	968	2800	≤ 2800	A
Turbidité	Tub	(NTU)	3.43	5	5	A
Titre alcalin	TA	(mg/l)	0	/	/	
Titre alcalin complet	TAC	(mg/l)	256.2	/	500	
Dureté totale ou Titre hydrométrique total	TH	(mg/l)	263.712	200	200	A
phosphore	P	(mg/l)	0.19	ABS	5	A
Magnésium	Mg ²⁺	(mg/l)	20.70	30-50	ABS	A
Calcium	Ca ²⁺	(mg/l)	70.99	200	200	A
Chlorure	Cl ⁻	(mg/l)	96.43	500	500	A
Nitrate	No ₃ ⁻	(mg/l)	13.29	50	50	A
Nitrite	No ₂ ⁻	(mg/l)	<0.01	0.2	0.2	A
Ammonium	NH ⁴⁺	(mg/l)	0.027	0.3	0.5	A
Fer total	Fe	(mg/l)	<0.02	0.3	0.3	A
Sulfate	So ₄ ²⁻	(mg/l)	128.96	500	400	A

Les résultats de l'analyse physico-chimique de l'eau prélevée du forage FCh4 de la zone d'étude peuvent être considérés admissibles par rapport aux normes de potabilité et ne présentent donc aucun danger pour la consommation domestique sous réserve d'un traitement spécifique de la matière organique par ozonation sachant que le traitement par la chlorite induit un produit cancérigène .

❖ **Remarque :**

Nous ne pouvons pas effectuées la classification des eaux souterraines de forage F4 Chebli par les diagrammes de Piper et Shoellel-Berkaloff à cause de manque des données (absence des cations Na^+, K^+ et les ions $\text{HCO}_3^- , \text{CO}_3^-$).

Conclusion :

Au terme de cette analyse, qui portait principalement sur l'évaluation de la qualité de l'eau prélevée du puits FCh4 destiné à alimenter la ville de Chebli, il ressort que la quasi-totalité des critères analysés sont conformes aux réglementations nationales et internationales en matière d'eau potable. En effet, les résultats obtenus au niveau physique ont montré que le pH de cette eau, ainsi que sa turbidité et sa conductivité sont excellents et sa température est excellente. Au niveau chimique, cette eau répond également aux normes en termes de bonne dureté, et la teneur naturelle en calcium et en chlorure, notamment la teneur en nitrates, connus pour avoir un effet nocif sur la santé, est très faible. . En conclusion, l'eau du puits FCh4 alimentant la ville de Chebli peut être considérée comme bonne à la consommation si les opérations de désinfection (chloration, etc.) sont bien réalisées.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le suivi et l'étude des opérations de réalisation du forage programmées par le DRE de Blida sur la commune de Chebli nous permettent d'exposer les principaux résultats (débit, les essais de pompage et la qualité d'eau).

À travers la première étape, nous avons estimé et calculé les besoins en eau de la ville de Chebli, le deuxième chapitre Après avoir déterminé le lieu de forage confirmé par l'étude géophysique. Nous avons décrit toutes les parties de la sonde. (Type de machine et rotor avec rotation des boues de bentonite.) .

la présentation de site d'étude. La région étudiée est située dans la partie centrale de la Mitidja. L'étude hydro climatologique montre que la zone de la prise d'eau, El Harrach est caractérisée par un climat régional Méditerranéen très froid en hiver, et chaud en été.

La réalisation du forage FCh4. Nous avons expliqué toutes les opérations de forage. La foreuse Chebli mesure 200 mètres de profondeur et 47,5 cm (19 pouces) de diamètre. Boîtier de type TRNS de 30 cm (17 po) de diamètre des fentes de raffinerie et de 2 mm, lit de filtre est défini comme taille de formage et tuyau et crépine d'ouverture. Il est uniforme, propre, calibré, silicone et bien lavé, et la taille du gravier est de 5/8m. Développement : Compresseur de 16 bars utilisé, Essais de pompage : Détermination des paramètres hydrodynamiques T, S et R.

- Les caractéristiques de forage sont : $Q_{\text{exploité}} = 29 \text{ m}^3/\text{h}$;
- Les caractéristiques d'aquifère : $T = 0,34 * 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$; $K = 0,365 * 10^{-5} \text{ m/s}$.

Les analyses physicochimiques de l'eau de forage de Chebli FCh4 prises lors des tests de pompage, et les analyses chimiques effectuées montrent que l'eau est de bonne qualité chimique et conforme aux normes algériennes et aux recommandations de l'OMS et donc peut être utilisée pour l'AEP.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] PDAU commune Chebli – service technique
- [2] service statistique de commune Chebli
- [3] **H .Shout , 2020**, Polycop de géophysique S5 – université de frères Mentouri – Constantine-1 faculté des sciences de la terre, de la géographie et de l'aménagement du territoire .
- [4] **M. Konstantinos CHALIKAKIS , 2006** , Application de méthodes géophysiques pour la reconnaissance et la protection de ressources en eau dans les milieux karstiques , thèse de doctorat , de l'université de PARIS 6 .
- [5] **Dominique Chapellier & Jean-Luc Mari , 2000** , cours online géophysique, université de Lausanne. Institutfrançais du pétrole.
- [6] **Hamlaoui Mahmoud**, cours prospection électrique, Université Ferhat Abbas Sétif 1 département des sciences de la terre.
- [7] **Bouselsal Boualem , 2017** , FORAGE D'EAU Procédés et mesures , Université de Kasdi Merbah-Ouargla- , département des sciences de la terre .
- [8] **Mounir AMAR , 2007** , Techniques De Forage : Principe & Matériels
- [9] **TAHIR Khadîdja et FLITA Sihem 2019** : mémoire de master suivi de la réalisation d'un forage d'eau potable pour la réalimentation en eau potable de ville de Larbâa.
- [10] **MOHAMED ALI Bachir, KHABOUB Brahim 2017** : Le suivi hydrogéologique des travaux de forages d'eau pour l'alimentation en eau potable de la nouvelle ville de Blida(dans la plaine de la Mitidja, Bouinane,) : mémoire de fin d'étude Université Djillali Bounaama de Khemis-Miliana.
- [11] **MOHAMED ALI**, 2016, le suivi de la réalisation de cinq forages pour alimentation en eau potable de la nouvelle ville de Blida Bouinan
- [12] **KHABOUB BRAHIM** ,le suivi hydrogéologique des travaux de forage pour alimentation en eau potable de la nouvelle ville de Blida
- [13] **ZENNIT HICHAM ET BECHERAIR NASSIMA** , étude de l'intrusion marine par le profil de conductivité (cas de la baie d'Alger) : mémoire de fin d'études , université Saad Dahlab Blida 1

Références bibliographiques

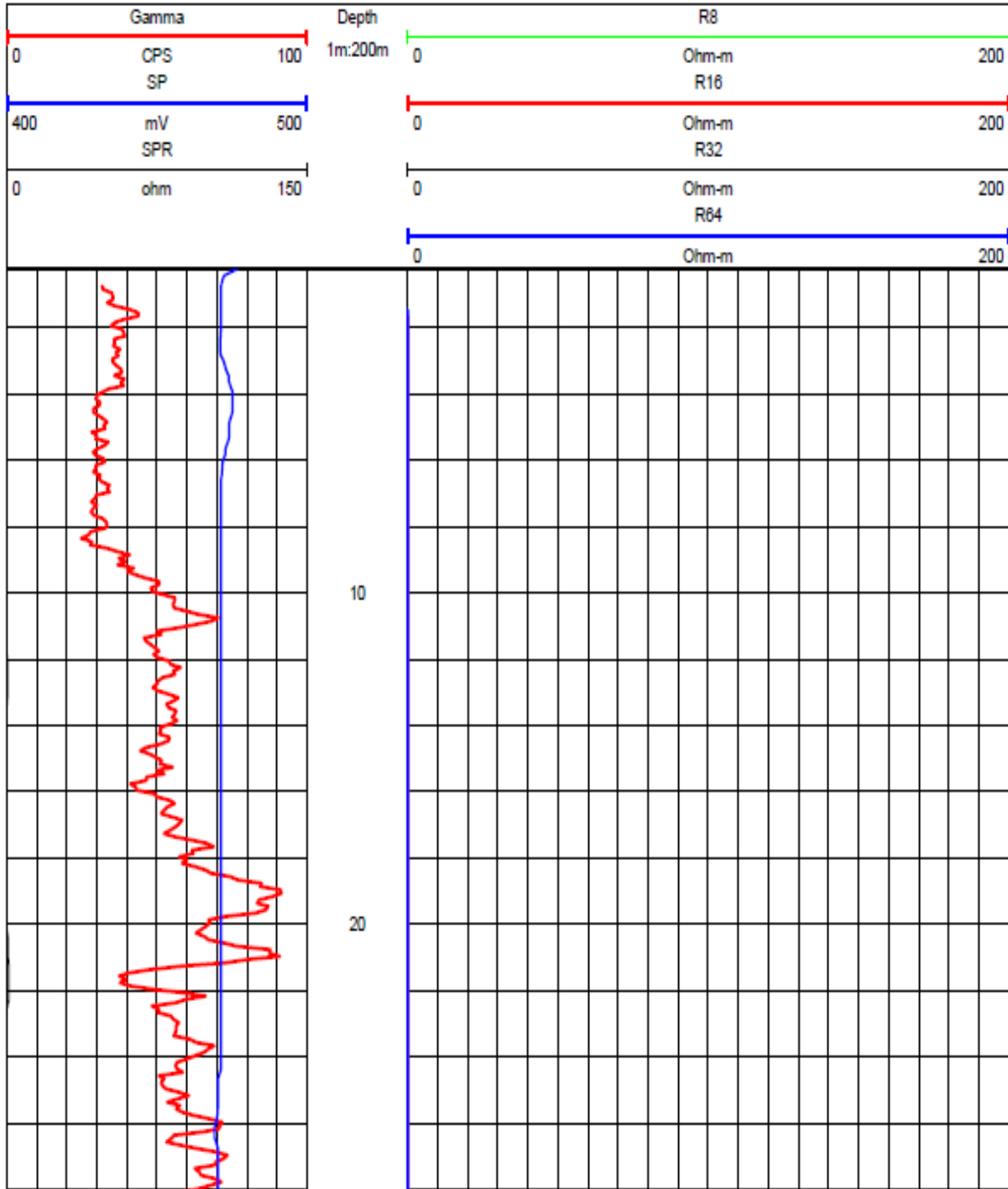
- [14] DRE, 2003, Rapport interne présentatif de sur le plaine de mitidja ses nappes souterraines
- [15] Laboratoire de l'ADE, Méthodes d'essais (analyses physico-chimiques)
- JORA de l'eau n°18 le 23 mars 2011.

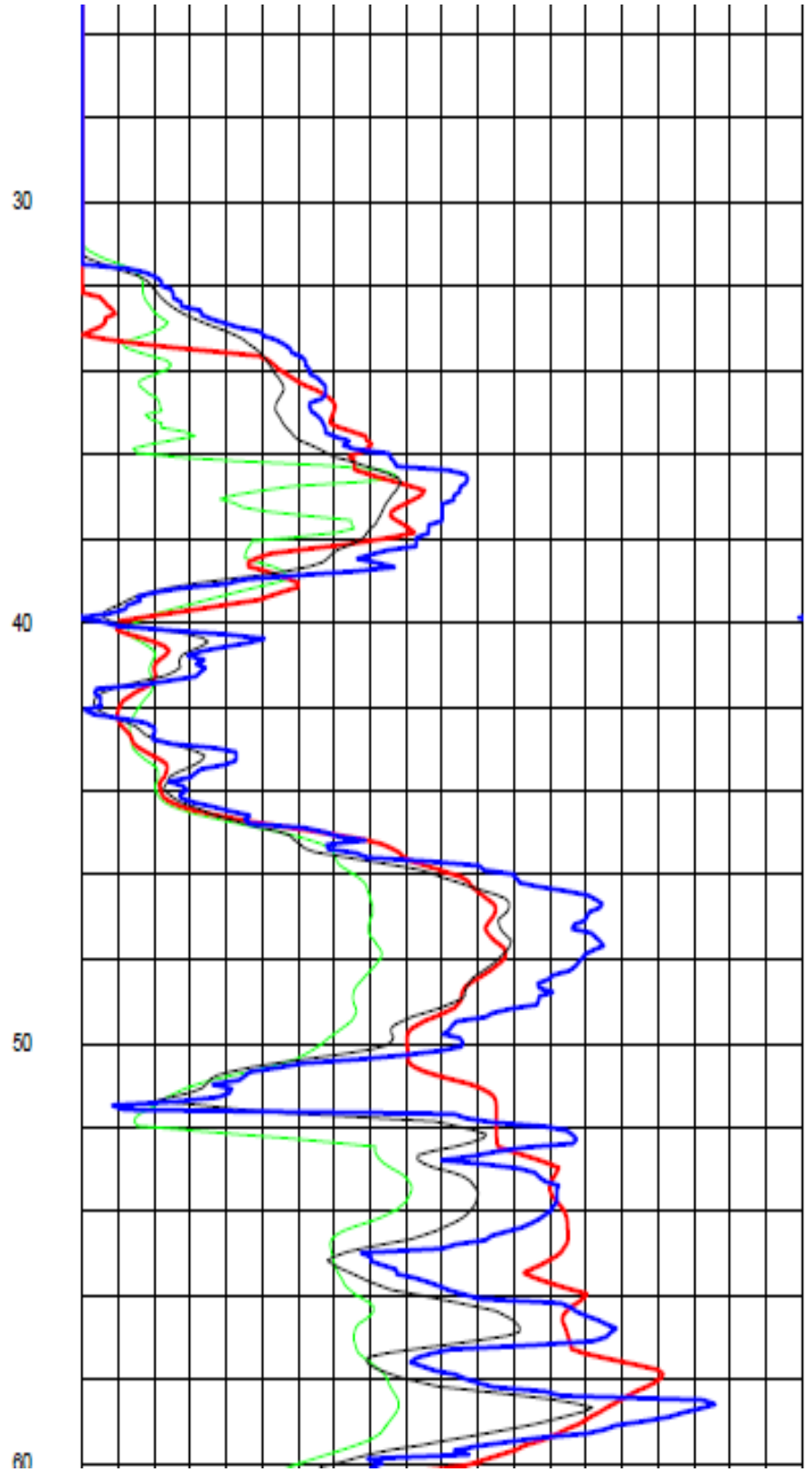
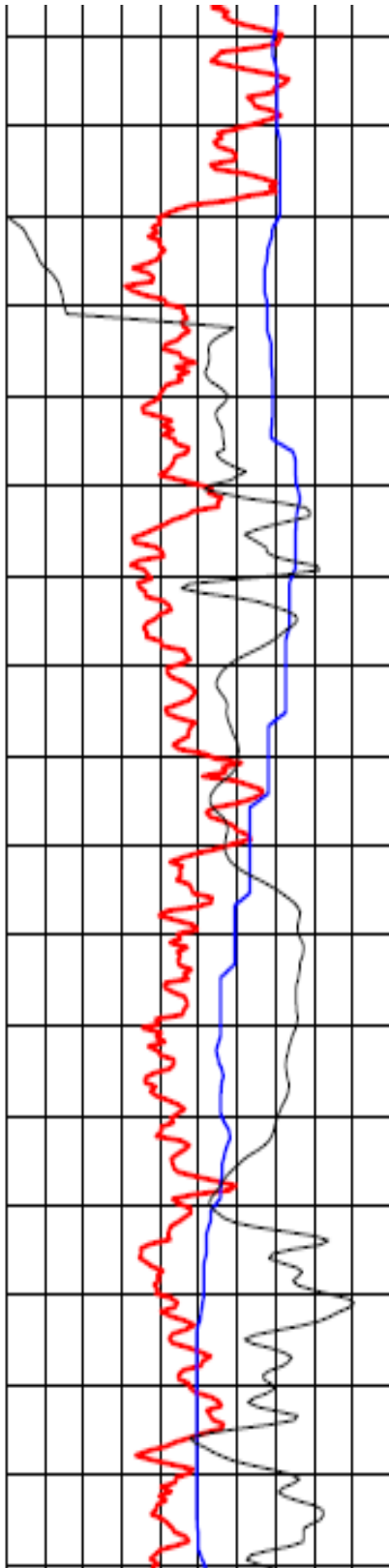
Web graphie :

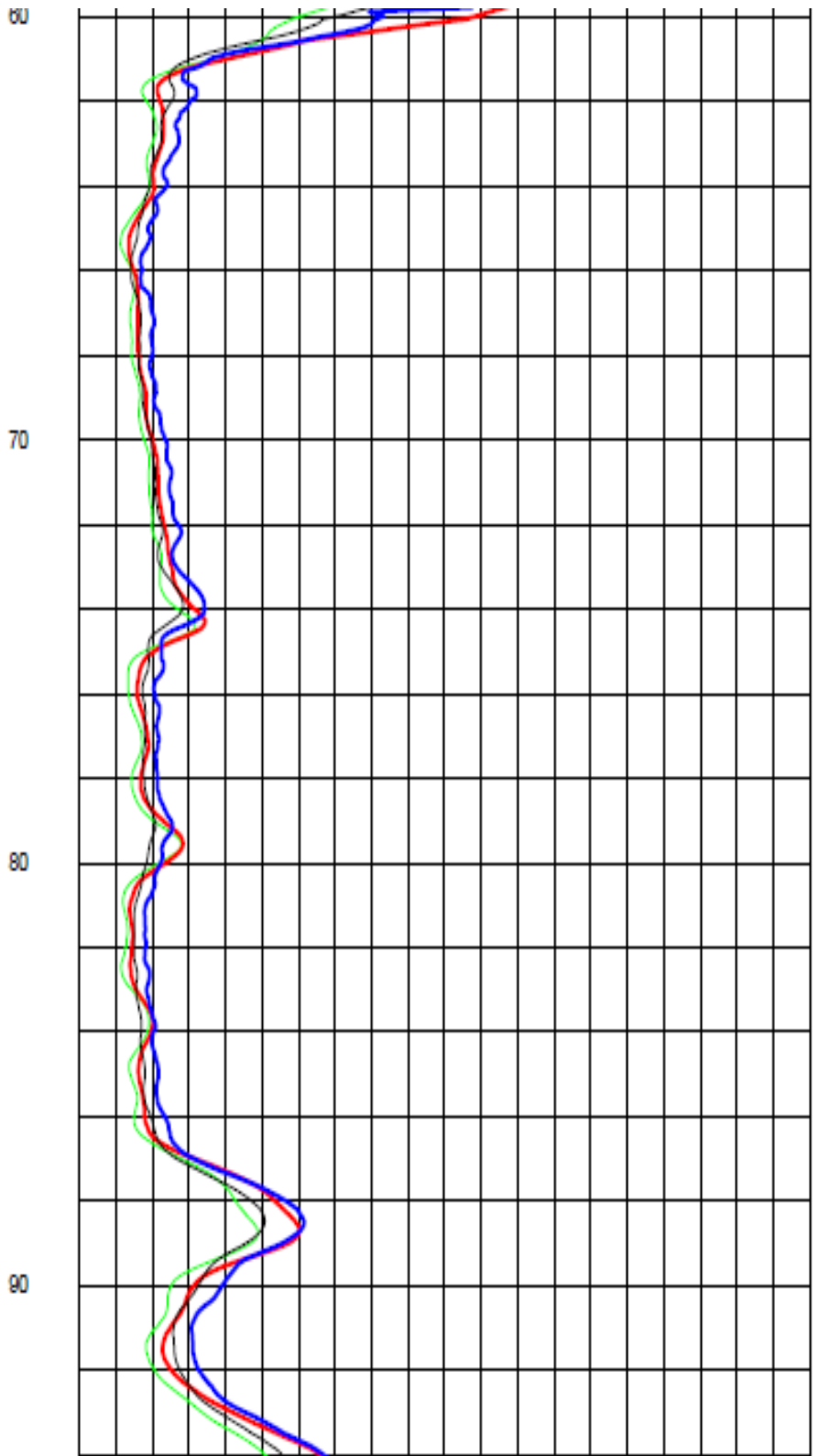
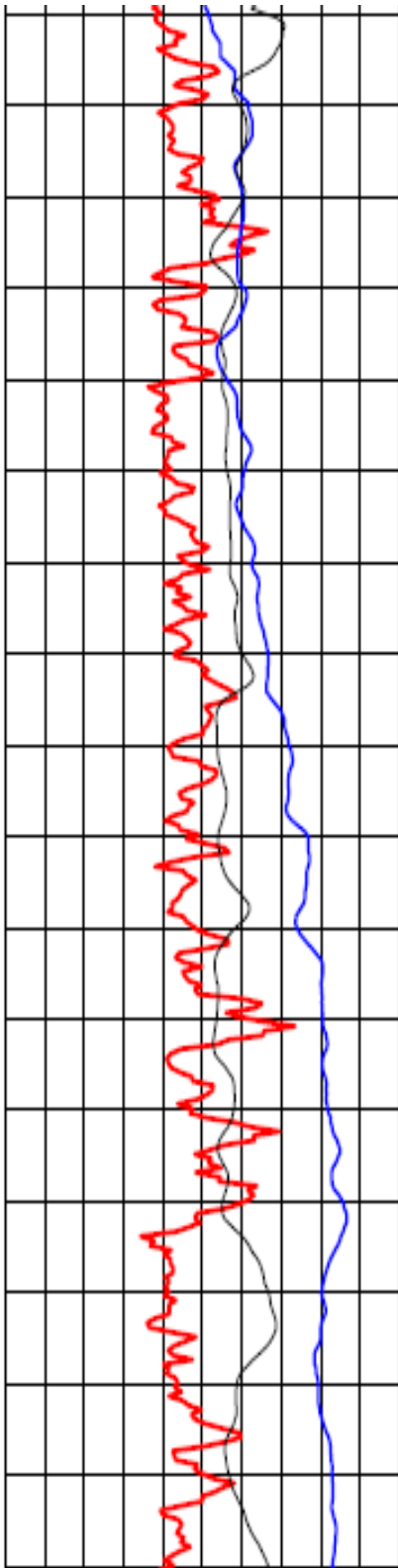
[Earthwise.bgs.ac.uk/hydrogéologie d'Algérie](http://Earthwise.bgs.ac.uk/hydrogéologie%20d'Algérie) .

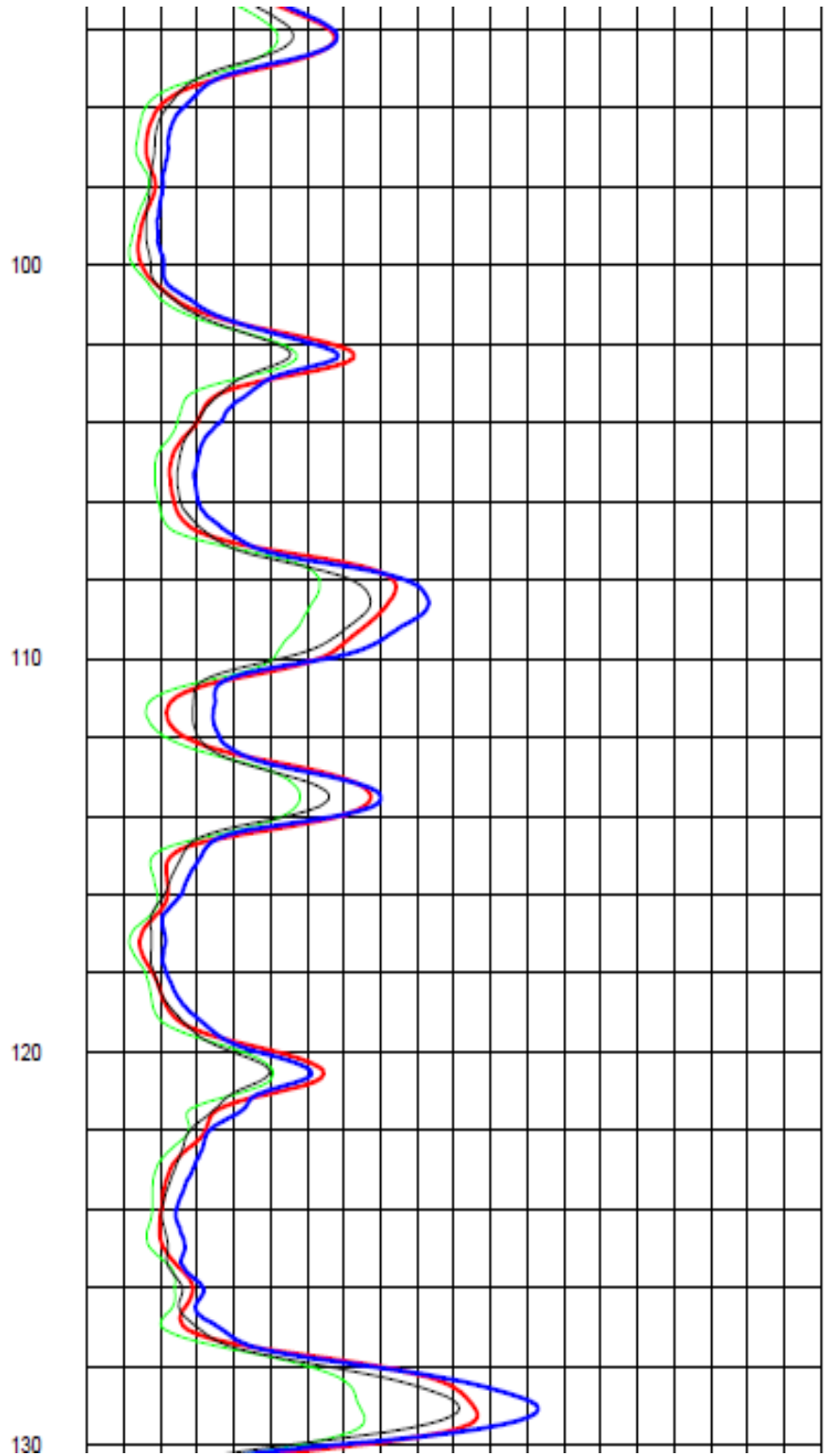
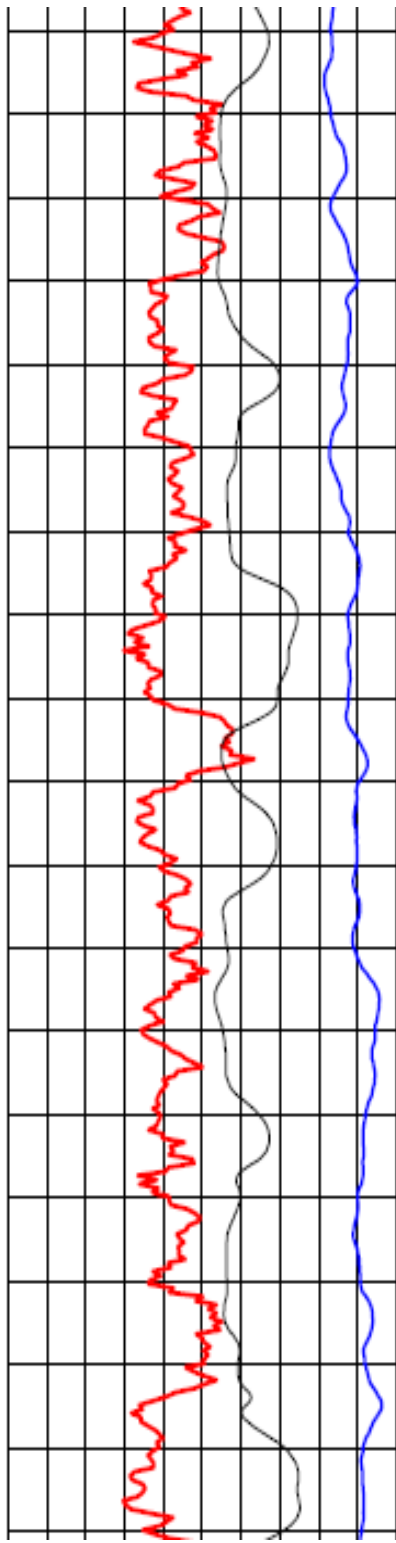
ANNEXE

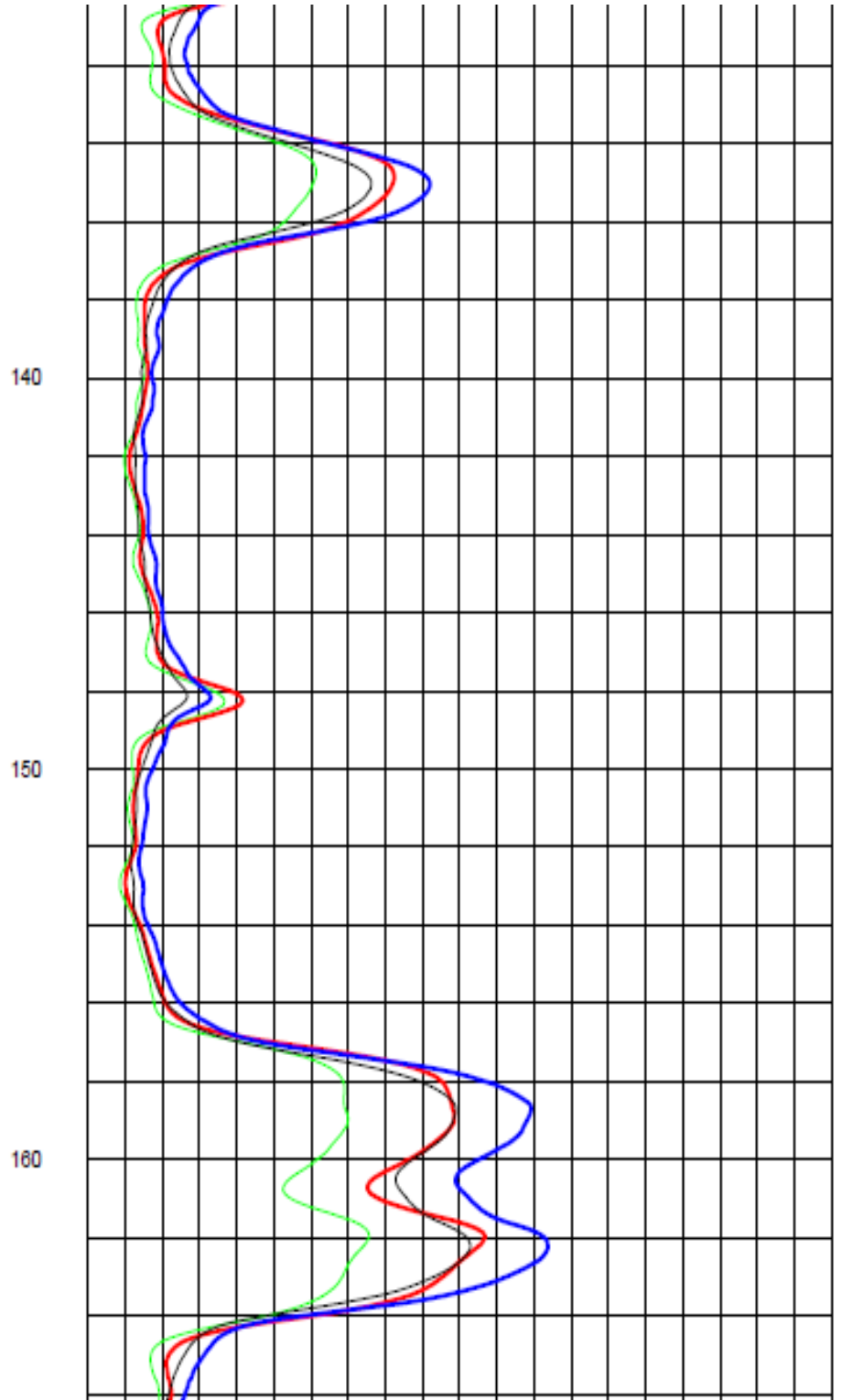
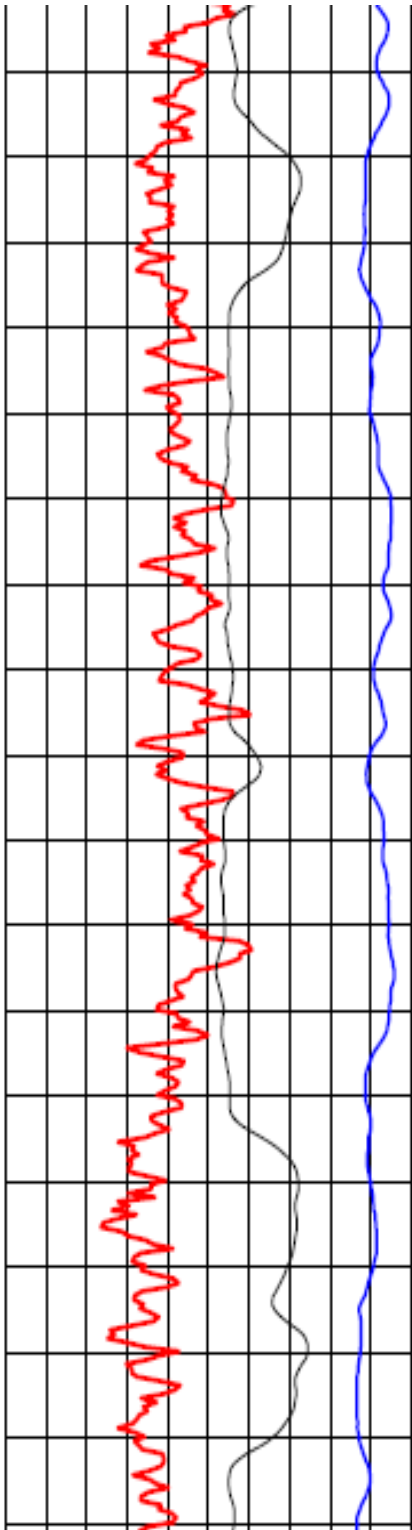
ANNEXE











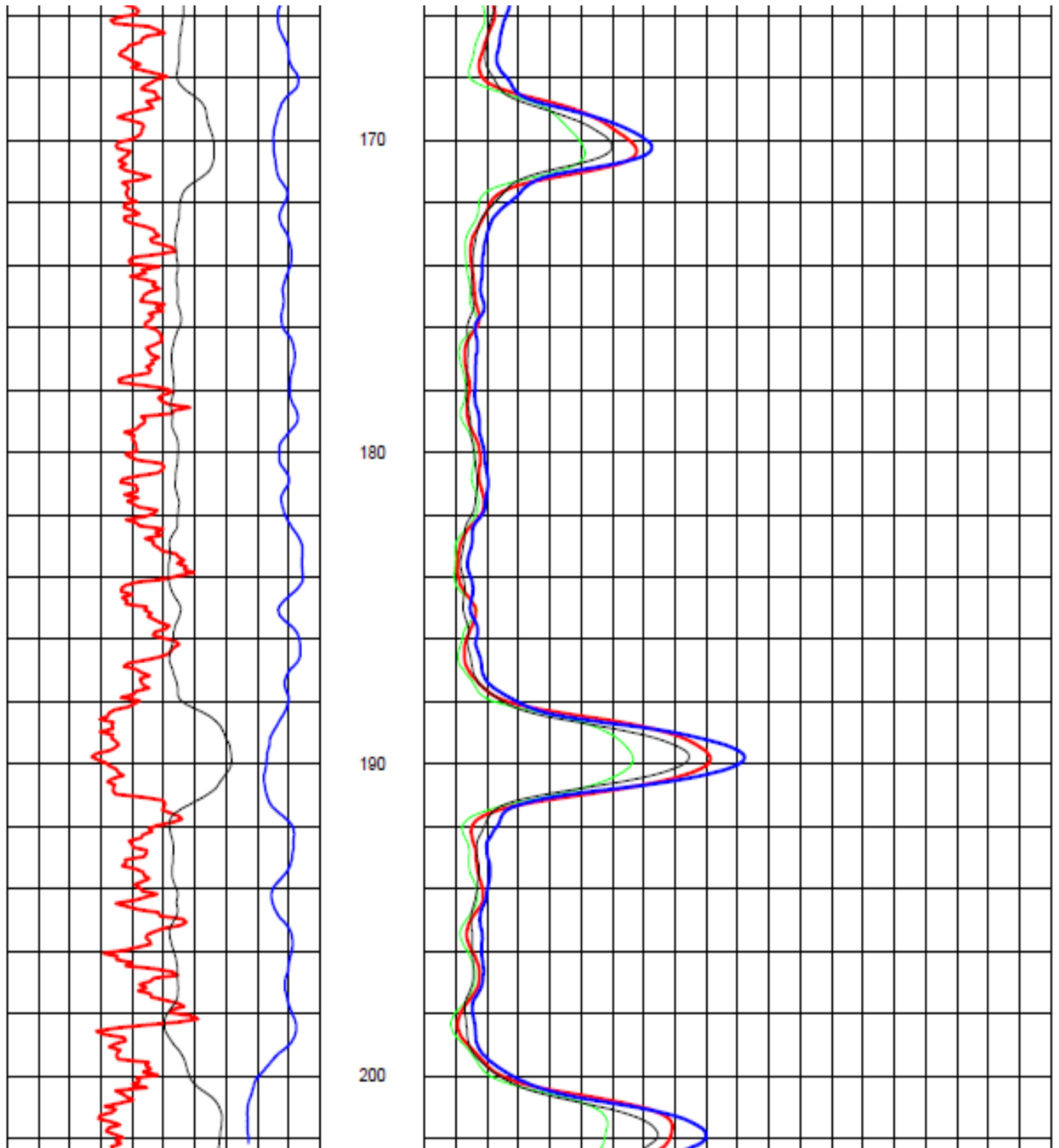


Figure : Photo d'enregistrement diagraphi

