

République Algérienne Démocratique et Populaire

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université SAAD Dahleb Blida 1

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



Filière : Hydraulique

Spéciale : Ressources Hydrauliques

Thème :

Suivi technique de la réalisation d'un forage F2 par la technique rotary sur la
pleine de la

Metidja (ville d'EL Affroun)

Présente par :

OUKACI Menad

BELKINA Lyes

Devant les jurys :

Mr.HADDAD Ali

M.C.A

Président

Mme.BOUZOUIDJA Souad

M.C.A

Examinatrice

Mr.GUENDOOUZ Abdelhamid

Professeur

Promoteur

2022/2023

Remercîments

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au Dieu. Ainsi nos parents.

Nous remercions dans un premier temps notre encadreur MR. GUENDOUZ Abdelhamid.

Nous remercions également les membres de jurys, Mr.HADDAD Ali d'avoir accepté de presider ce jurys et Mme.BOUZOUIDJA Souad d'avoir examiné.

Nos remerciements vont également vers nous enseignants de département qui ont assurez notre formation.

Dédicace

*Je dédie ce travail tout d'abord à ma chère mère ce qui
été ma plus grande raison d'être, et mon père pour
tous ses conseils et sacrifices.*

A mes Frères Yacine, Riyad, et Houssam.

A mes belles sœurs Wissem, Fella, et Amel.

A mes proches et meilleurs amis Amin, et Ayoub.

Belkinaa Lyes

Dédicace

Ce modeste travail est dédié à :

*Deux personnes exceptionnelles ma mère Et mon père,
qui m'ont entouré par Leurs Soutien et
encouragement.*

*Et pour mon frère Mimou et mes deux chères sœurs
Saada, Sarah et ma belle-sœur Chanez.*

Et pour ma future femme.

OUKACI Menad

Résumé

La Wilaya de Blida et toutes ses daïras sont alimentés principalement par les forages qui exploitent les aquifères de la Mitidja, le quaternaire et l'Astien. Devant les besoins croissants et donc de la demande en eau aussi bien pour L' AEP, l'agriculture et L'AEI, la DRE de Blida a lancé un programme de réalisation d'un certain nombre de forage à travers la wilaya.

La daïra d'El Affroun a bénéficié dans ce cadre d'un forage (F2) pour le renforcement de l'AEP de la commune d'El Affroun. Le travail présenté dans le cadre de ce mémoire retrace les opérations de suivi technique que nous avons effectué sur le site lors de la réalisation de ce forage.

Ces opérations ont été menées depuis l'installation du chantier, la mise sur pied de la foreuse, les bassins du liquide de circulation, la réalisation du forage de reconnaissance, l'enregistrement diagraphique, l'alésage du forage, la descente du tubage avec un programme de tubage, la descente du massif de gravier, et enfin l'opération du développement à l'air lift et l'essai de pompage.

Mots clés : forage, la Mitidja, suivi technique, alésage, essai de pompage.

Abstract

The province of Blida and all its districts are primarily supplied with water through wells that tap into the Mitidja aquifers, the Quaternary, and the Astien aquifers. In light of increasing water demands for potable water supply (AEP), agriculture, and industrial water supply (AEthe Blida Regional Directorate of Water Resources initiated a program to realize a number of wells across the province. As part of this program, the El Affroun district benefited from the drilling of a well (F2) to enhance the potable water supply of the El Affroun municipality. This study aims to provide a technical monitoring report of the operations carried out during the drilling of this well.

The operations encompassed various stages, starting from the site setup, mobilization of the drilling rig, construction of circulation pits, execution of the exploratory drilling, well logging, borehole reaming, casing installation with a predetermined casing program, placement of gravel pack, and finally, the air-lift development and pump testing operation.

Keys words : Wells, the Mitidja, operation carried, testing operation.

ملخص

ولاية البليدة وجميع مناطقها تعتمد في الأساس على الآبار التي تستغل المصادر المائية في منطقة المتيجة، والعصر الرباعي والعصر الأستيان. نظراً للاحتياجات المتزايدة وبالتالي الطلب على المياه، سواء للإمداد المائي المنزلي، أو للزراعة أو للاستخدامات الصناعية، أطلقت المديرية الجهوية للموارد المائية في البليدة برنامجاً لإنشاء عدد من الآبار في ولاية.

تهدف هذا الدراسة إلى تقديم تقرير متابعة فنية للعمليات التي تمت خلال تلقى دائرة العفرون في هذا السياق بالتحديد حفرة تنفيذ هذه الحفيرة لتعزيز إمدادات المياه المنزلية لبلدية العفرون.

شملت العمليات مراحل متعددة، بدءاً من إعداد الموقع، وتجهيز آلة الحفر، وبناء حفريات السوائل، وتنفيذ الحفر التجسيبي، وتسجيل السجلات البئرية، وتوسيع الحفرة، وتركيب الأنابيب المعدنية وفقاً لبرنامج محدد، ووضع طبقة الحصى، وأخيراً، عملية تنمية البئر بواسطة نظام الرفع بالهواء المضغوط واختبار الضخ.

الكلمات المفتاحية: آلة الحفر، حفريات السوائل، الحفر التجسيبي، السجلات البئرية.

Sommaire

Remerciements	
Dédicaces	
Table des Matières	
Liste des Figures	
Liste des Tableaux	
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Présentation de la zone d'étude	
I. Introduction	2
I.1. Situation géographique.....	2
I.2. Présentation de la plaine de la Mitidja	2
I.2.1. Relief	2
I.4.2. Le situation géographique	3
I.3. Présentation du Daira d'El Affroun	3
I.4. Réseaux hydrographique.....	4
I.5. Aperçue géomorphologique	6
I.5.1. Paramètres physiques et morpho métriques.....	6
I.5.1.1. La surface et la périmètre	6
I.5.1.2. La forme	6
I.5.1.3. Relief	7
I.6. Aperçue hydrauclimatique	9
I.6.1. Changement climatique.....	9
I.6.2. Précipitation	9
I.6.2.1. Evaluation de la lame d'eau moyenne précipitée (Pluviométrie annuelle)	9
I.6.2.2. Précipitation mensuelle	12
I.6.3. La température.....	13
I.6.4. Les vents	14
I.7. Aperçue géologique	15
I.7.1.1. Stratigraphie	16
I.7.1.2. Le Quaternaire moyen	17
I.7.1.3. Le Quaternaire récent	17
I.7.1.4. Le Quaternaire actuel	17

I.7.2. Tectonique	17
I.8. Aperçue hydrogéologique.....	18
I.8.1. L'aquifère de l'Astien	18
I.8.2. L'aquifère des alluvions du Quaternaire	19
I.9. Etude piézométrique	19

Chapitre II : Technique de reconnaissance et technique de forage

II. Introduction	21
II.1. Généralités sur la géophysique	21
II.2. Résistivité électrique.....	21
II.2.1. Définition et intérêt pour l'hydrogéologie.....	21
II.2.2. Facteurs influant sur la valeur de la résistivité électrique	21
II.2.2.1. La porosité totale	22
II.2.2.2. La tortuosité	22
II.2.2.3. La saturation	23
II.2.2.4. La température	23
II.2.2.5. La quantité et la composition des colloïdes présents	23
II.2.2.6. La résistivité ou conductivité de la matrice	23
II.3. Prospection électrique la méthode de la résistivité	23
II.3.1. Principe	23
II.3.2. Propriété physique des roches	23
II.4. Notion de courant continue dans le sol	25
II.4.1. Dispositif Schulum Berger	25
II.4.2. Calcule de la résistivité dans le sous-sol	26
II.5. Généralité sur les techniques de forages.....	27
II.6. Différent technique pour construire un forage	28
II.6.1. Forage par battage	28
II.6.1.1. Inconvénients du battage	28
II.6.2. Forage par le MFT	29
II.6.2.1. Les avantages	29
II.6.2.2. Les inconvénients	29
II.6.3. Forage par le rotary	30
II.7. Implantation du forage	31

II.7.1. Principe de la méthode	32
II.7.2. La boue de forage	33
II.7.3. Description de la machine	33
II.7.4. Equipement de la machine	33
II.7.4.1. Equipement de levage.....	33
II.7.4.2. Equipement de rotation	35
II.7.4.3. Table de rotation	35
II.7.4.4. Table de commande	36
II.7.4.5. Pompe a boue.....	36
II.7.4.6. Treuil	37
II.7.4.7. Masse tige (drill Colar)	38
II.7.4.8. Tige de forage (drill pipe)	38
II.7.4.9. BHA (Bottom Hole Assembly).....	39
II.7.5. Les outils de forage	39
II.7.5.1. Les équipements auxiliaires	40
II.8. Généralité sur les diagraphies	40
II.8.1. Définition de diagraphie	40
II.8.2. Le but des diagraphies	41
II.8.3. Les paramètres influençant les mesures	41
II.8.4. Les différents types de diagraphies enregistrées et leurs applications	42
II.8.4.1. Diagraphie gamma ray	42
II.8.4.2. Diagraphie de résistivité	43
II.8.4.3. Diagraphie de porosité	44

Chapitre III : Opération de suivi de la réalisation du forage (F2) d'El Affroun

III. Introduction.....	45
III.1. Installation du chantier	45
III.2. Installation de la machine.....	45
III.2.1. Les bassins.....	45
III.2.1.1 Bassin de décantation	46
III.2.2. La boue du forage	47
III.3. Mise en place d'un tube guide	47
III.4. Forage de reconnaissance	48

III.4.1. Prélèvement des échantillons (examens des cuttings)	48
III.5. Reconnaissance géophysique par diagraphie	49
III.5.1. Présentation de l'enregistrement	50
III.5.2. Interprétation de l'enregistrement de la diagraphie	54
III.5.2.1 La résistivité.....	54
III.6. Opération décente tubage.....	54
III.6.1. Nettoyage de forage avant le tubage	54
III.6.2. Opération programme de tubage.....	55
III.7. Massif gravier.....	57
III.7.1. Le massif filtrant (gravier additionnel).....	57
III.7.2. Rôle du massif filtrant.....	57
III.7.3. Mise en place de massif filtrant	58
III.8. Développement.....	58
III.8.1. Opération de développement à l'aire lifte.....	59
III.8.2. Traitement chimique du forage.....	59
III.9. Les essais de pompage.....	60
III.9.1. Observation de niveau d'eau	61
III.9.2. Observation des débits	61
III.9.2.1 Essai par palier (courte durée)	61
III.9.2.2 Les essais de pompage long durée.....	63
III.9.3. Principe théorique et pratique d'un essai de pompage	64
III.9.3.1 Etude de rabattement pendant le pompage.....	64

Chapitre IV : Analyse hydrochimie des eaux souterraine des forages

IV. Introduction	66
IV.1. Gestion des ressources en eau	66
IV.2. Préservation de la santé publique.....	66
IV.3. Compréhension des processus géologique.....	66
IV.4. Évaluation de l'impact environnemental	66
IV.5. Hydrochimie de la nappe de la Mitidja	67
IV.5.1. Les analyses chimiques des eaux de forages de la Mitidja	67
IV.5.2. Logiciel diagramme	68
IV.6. Les faciès chimiques	69

IV.6.1. Faciès bicarbonaté	69
IV.6.2. Faciès chloruré	70
IV.6.3. Faciès sulfaté	70
IV.6.4. Faciès calcique	70
IV.6.5. Faciès magnésien	70
IV.7. Diagramme de piper	71
IV.7.1. Eau de Mitidja ouest et El Affroun	71
IV.8. Diagramme de Scholler Berkaloff	72
IV.9. Etude de quelque couple chimique	72
IV.9.1. Origine de la salinité.....	74
Conclusion générale.....	74
Références bibliographiques.....	76

Liste des Figures

Chapitre I

Figure I.1. Carte de la situation géographique de la plaine de la Mitidja	2
Figure I.2. La situation géographique d'El Affroun sur la wilaya de Blida	3
Figure I.3. Réseaux hydrographique de la plaine de la Mitidja	4
Figure I.4. Carte des sous bassins versant de la plaine de la Mitidja	5
Figure I.5. La localisation d'Oued Djer Sur El Affroun	6
Figure I.6. Courbe hypsométrique du sous bassin d'Oued Djer Bouroumi	8
Figure I.7. Carte isohyète d'Oued Djer Bouroumi	11
Figure I.8. Histogramme des précipitations mensuelles d'el Affroun (station EL Affroun) 2021-2022	12
Figure I.9. Histogramme des Variations des températures d'el Affroun (station EL Affroun) l'année 2022	13
Figure I.10. Histogramme des Variations de vent d'el Affroun (station EL Affroun) l'année 2022	14
Figure I.11. Cadre géologique de la plaine de la Mitidja (2016)	15
Figure I.12. Coupe Géo électrique Nord-Sud à travers la plaine de la Mitidja centrale	16
Figure I.13. Coupe géologique au niveau de la Mitidja	17
Figure I.14. Distribution générale des formations du remplissage de la Mitidja	18
Figure I.15. Carte hydrogéologique de la Mitidja	19
Figure I.16. Carte piézométrique de la Mitidja	20

Chapitre II

Figure II.1. Schématisation de la conductivité électrolytique	22
Figure II.2. Schéma d'une roche	24
Figure II.3. Schématisation d'un seul quadripôle.....	25
Figure II.4. Schématisation de deux quadripôles	25
Figure II.5. Schéma de fonctionnement	26
Figure II.6. Appareil de battage.....	28
Figure II.7. Technique de MFT	30
Figure II.8. Machine Rotary	30
Figure II.9. Carte de situation du site d'implantation	32
Figure II.10. Le mat.....	34

Figure II.11. Table de rotation	35
Figure II.12. Table de commande	36
Figure II.13. Pompe à boue	37
Figure II.14. Treuil	37
Figure II.15. Treuil de mouflage	38
Figure II.16. Tiges d'entraînement.....	39
Figure II.17. Tricône	40
Figure II.18. Trillâmes	40
Figure II.19. Raccords (tool-joint)	40
Figure II.20. Sonde de mesure le gamma ray.....	42
Figure II.21. Sonde mesure la résistivité.....	44

Chapitre III

Figure III.1. Installation de la machine	45
Figure III.2. Bassin a boue	46
Figure III.3. Sac de la bentonite	47
Figure III.4. Tube guide	47
Figure III.5. Ciment HTS.....	47
Figure III.6. Outil utilisé pour le forage de reconnaissance.....	48
Figure III.7. cuttings (examen d'échantillon de sol).....	49
Figure III.8. Matériels utilisés dans la diagraphie.....	50
Figure III.9. Enregistrement diagraphie	51-53
Figure III.10. Le nettoyage	55
Figure III.11. Tube plein.....	57
Figure III.12. Tube crépine	57
Figure III.13. Le massif filtrant.....	58
Figure III.14. L'hexametaphosphate.....	60
Figure III.15. Sonde piézométrique	61
Figure III.16. Un débitmètre	61
Figure III.17. Courbe caractéristique du forage suivi	62
Figure III.18. Rabattement spécifique	63

Chapitre IV

Figure IV.1. Tableau des analyses chimique des eaux (diagramme)	68
--	----

Figure IV.2. Interface de command du logiciel DIAGRAMMES.....	69
Figure IV.3. Diagramme de Piper.....	71
Figure IV.4. Diagramme de Schoeller Berkaloff.....	72
Figure IV.5. Corrélacion binaire de NaCl.....	73
Figure IV.6. Corrélacion conductivité-Cl	74

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 : Les différents Sous-bassins versants dans la Mitidja	5
Tableau I.2 : calcul de la pluie moyenne par la méthode de Thiessen de sous bassin	10
Tableau I.3 : Précipitation moyenne mensuelle (de septembre 2021 à septembre 2022)	12
Tableau I.4 : Températures mensuelles à El Affroun (station EL Affroun) 2022	13
Tableau I.5 : Vitesse moyenne des vents mesurée par la station EL Affroun (2022).....	14

Chapitre II

Tableau II.1 : La porosité et la perméabilité des différentes roches	24
Tableau II.2 : La résistivité de différentes roches.....	27

Chapitre III

Tableau III.1 : Description de la lithologie des cuttings.....	48
Tableau III.2 : Programme de tubage	55
Tableau III.3 : Programme de développement	59
Tableau III.4 : Résultat des essais de pompage court durer	62

Chapitre IV

Tableau IV.1 : Les analyses chimiques des eaux des forages environ de F2	67
---	----

INTRODUCTION GENERALE



Introduction générale

La wilaya de Blida a connu ces dernières années un accroissement rapide de la population et un important développement agricole et industriel. De plus, les dernières années se sont caractérisées par une faible pluviométrie. Cette baisse avait un impact direct sur le niveau d'eau dans les barrages.

Cette situation a engendré un déficit dans l'alimentation en eau dans la wilaya de Blida d'une façon générale et dans la commune d'El Affroun en particulier. Pour remédier à ce problème, un programme de forage a été lancé par la DRE de Blida dont un lot de certain nombre de forages a été alloué à la wilaya de Blida dont le forage F2 Oued Djer fait partie.

L'objectif de notre travail consiste à effectuer un suivi technique pour la réalisation du forage F2 d'Oued Djer. Pour cela, des visites du chantier ont été organisées en compagnie du représentant de la Direction des Ressources en Eau de la wilaya de Blida (DRE). Lors de ces visites, on a assisté aux différentes étapes de foration, la prospection par diagraphie, mise en place du tubage et du massif filtrant et de développement. Les observations et les remarques notée sur le terrain ont été exploitées dans la rédaction du présent rapport. Ce dernier est organisé comme suit :

- Une introduction générale pour présenter le contexte général de la réalisation de notre travail.
- Chapitre I : est consacré aux généralités sur la zone d'étude qui s'articulent essentiellement sur la situation géographique, la morphologie, les caractéristiques géomorphologiques et le contexte climatique.
- Chapitre II : on s'intéresse aux différentes méthodes d'implantation de forage.
- Chapitre III : commence par un aspect théorique sur le forage d'eau basé sur les techniques de foration, les études de laboratoire et l'installation du chantier de forage, suivi par les travaux effectués pour la réalisation du Forage d'oued Djer. En effet, on a tenté d'interpréter toutes les observations de terrain.
- Chapitre IV : Analyse hydrochimie des eaux souterraine des forages D'El Affroun.
- Une conclusion générale.

CHAPITRE I :
Présentation de la zone d'étude



I. Introduction

Ce chapitre présente la situation géographique de notre zone d'étude puis les contextes hydrographiques, géologiques, hydrogéologiques, hydroclimatique, et l'étude piézométriques.

I.1 Situation géographique du site

Notre site d'étude fait partie de la plaine de la Mitidja. Elle est située sur le plan géographique dans la localité d'Oued Djer commune d'El Affroun wilaya de Blida.

I.2 Présentation de la plaine de la Mitidja

La Mitidja est une plaine du nord de l'Algérie, au sud de la ville d'Alger. C'est une riche plaine agricole (agrumes, vignobles, arbres fruitiers et fourrage). L'urbanisation constante y retire des terres à l'agriculture. Les villes les plus importantes sont Blida et Boufarik.

I.2.1 Relief

La plaine de la Mitidja, d'une superficie d'environ 1400 km², mesure environ 100 km de long sur 5 à 20 km de large. Elle est d'orientation est-nord-est/ouest-sud-ouest. Elle est limitée au nord par les collines du Sahel algérien et au sud par l'Atlas blidéen. Elle a une altitude d'environ 50 mètres. Le climat est de type méditerranéen. [1]

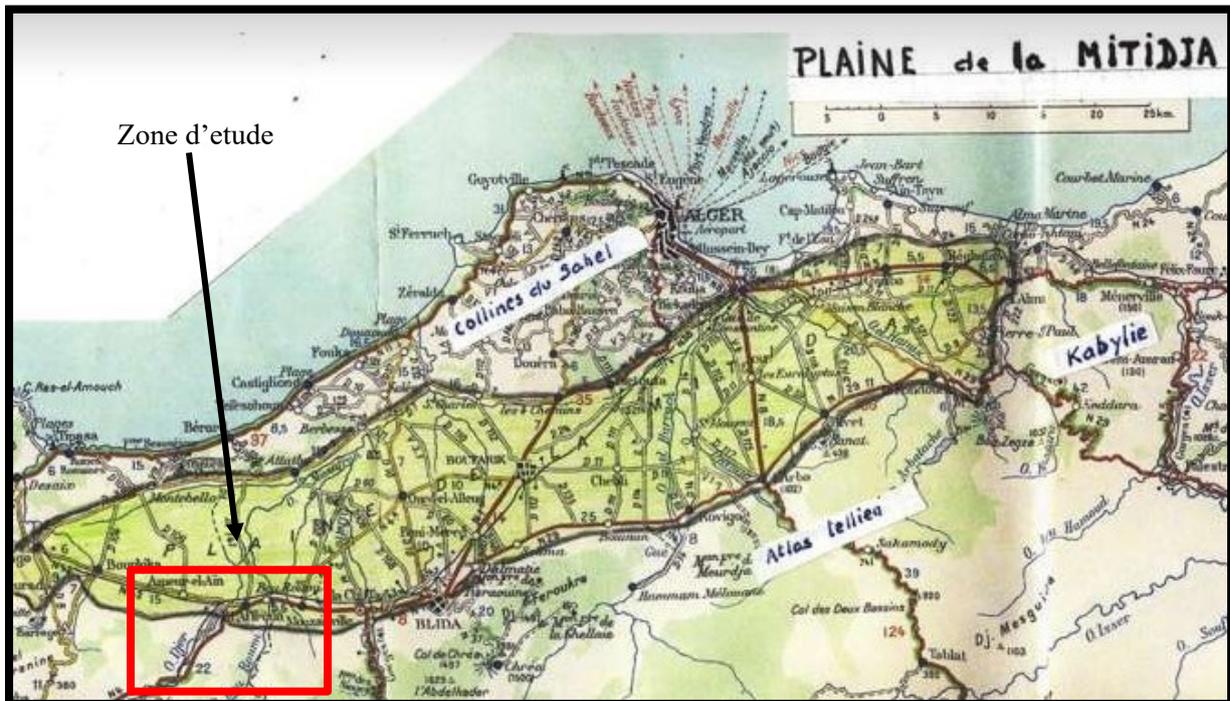


Figure I.1 : Carte de la situation géographique de la plaine de la Mitidja. [2]

La plaine est orientée de l'ouest sud-ouest vers l'est nord-est. Sauf à l'extrême ouest où elle se termine en pointe après de Marengo, elle est rectangulaire, soit 130 000 à 135 000 hectares. [2]

I.2.2 La situation géographique

La Mitidja est un bassin exoréique côtier de la région d'Alger. S'étale d'Est en Ouest sur 1 300 km² avec une altitude moyenne de 100 m. La plaine de la Mitidja, caractérisée par une pente relativement faible, se limite naturellement au Sud par l'Atlas de Blida. Ce dernier qui correspond à une chaîne de montagnes culminant à plus de 1 600 m, alimente le réseau hydrographique de la Mitidja. [3]

I.3 Présentation du Daïra d'El Affroun

El Affroun est un daïra de la wilaya de Blida d'Algérie en Afrique du Nord. Il compte 49 008 habitants sur une superficie de 117 km². El Affroun et Oued Djer sont les plus grandes villes du Daïra d'El Affroun parmi les 2 villes qui le compose. La densité de population du d'El Affroun est donc de 418,8 habitants par km² avec une altitude moyenne de 209 m. Le Climat méditerranéen avec été chaud est le climat principal d'El Affroun. [4]

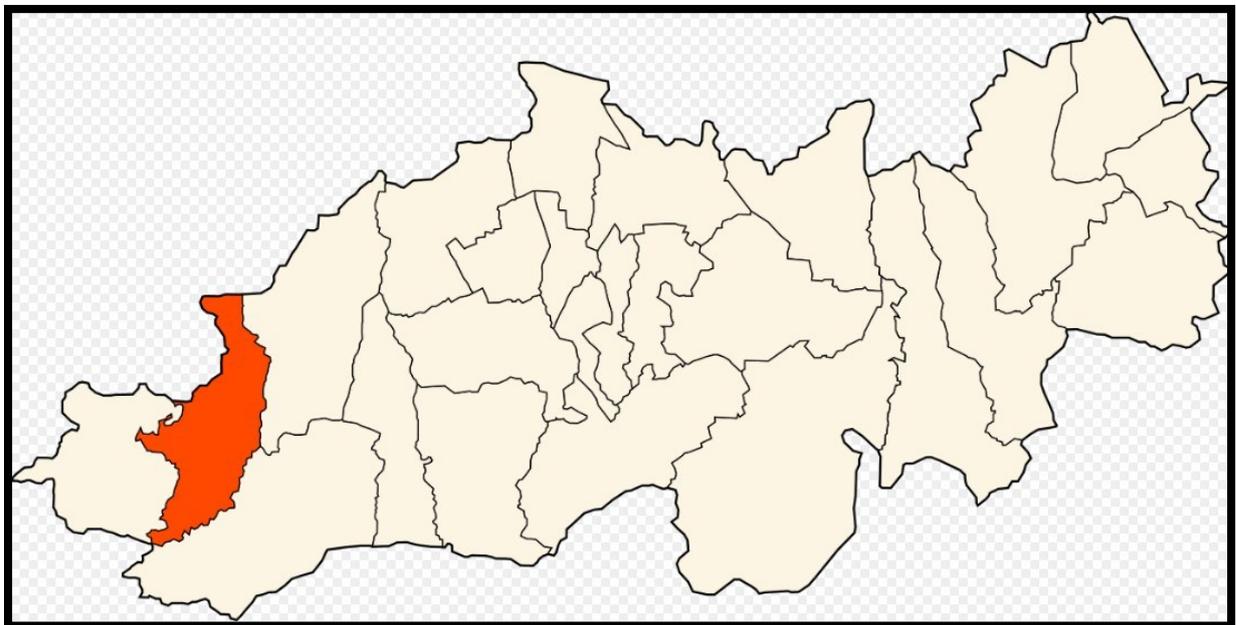


Figure I.2 : La situation géographique d'El Affroun sur la wilaya de Blida. [5]

El daïra d'El Affroun est située à l'ouest de la wilaya de Blida, à environ 18 km à l'ouest de Blida, à environ 69 km au sud-ouest d'Alger et à environ 39 km de Médéa. Dans la plaine de la Mitidja, au pied des dernières ramifications d'un des contreforts de l'Atlas. Il est compris

entre le lit de l'Oued DJER qui coule à son voisinage immédiat, à moins de 500 mètres du village, et le Bou-Roumi situé plus à l'Est. Son annexe, le village de BOU-ROUMI, est distante d'un kilomètre. [6]

I.4 Réseaux hydrographique

La plaine de la Mitidja est parcourue par l'Oued Réghaïa, l'Oued El Hamiz, l'Oued El Harrach, l'Oued Mazafran et ses affluents (Chiffa, Bouroumi et Djer). Ces oueds prennent naissance dans les piémonts de l'Atlas blidéen. Les cours d'eau, particulièrement dans leurs biefs aval, assurent le renouvellement de la nappe alluviale de la Mitidja, avant de se jeter dans la mer Méditerranée. [3]

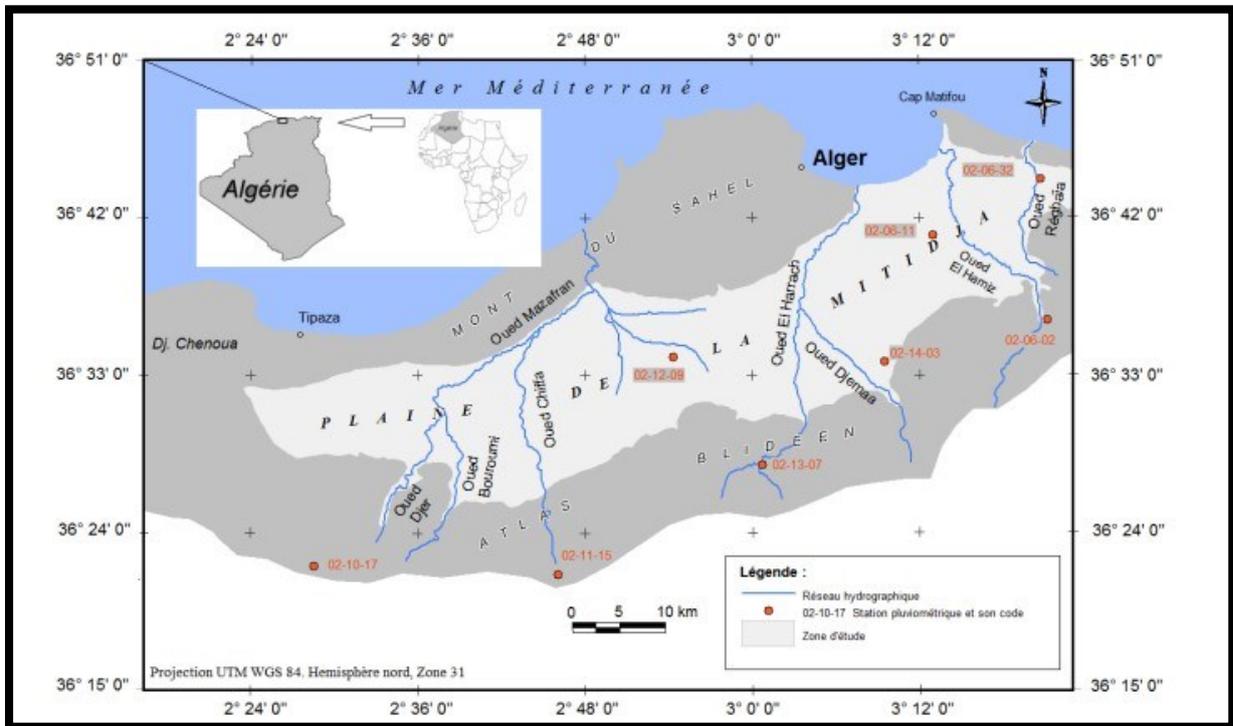


Figure I.3 : Réseaux hydrographique de la plaine de la Mitidja. [3]

Donc on généralisé quatre sous-bassins versants :

- Sous bassin Versant de Mazafran
- Sous bassin Versant d'oued Chiffa (Nador)
- Sous bassin Versant d'oued El-Harrach (Maritime)
- Sous bassin Versant d'oued Djer Bouroumi

Tableau I.1 : Les différents Sous-bassins versants dans la Mitidja. [7]

Bassins Versants	Oueds	Superficie (Km2)	Code	Altitude moyenne (m)	Périmètre (m)	Indice de compacité
Mazafran	Djer, Bouroumi, Chiffa	427.5	0212	446	99.5	046
Bassin d'oued Chiffa	Chiffa	585.017	0211	580	136	084
Bassin d'oued Djer, Bouroumi	Djer, Bouroumi	899.259	0210	488	194.5	116
Maritime	El Harrach	846.788	0214	432	75	022

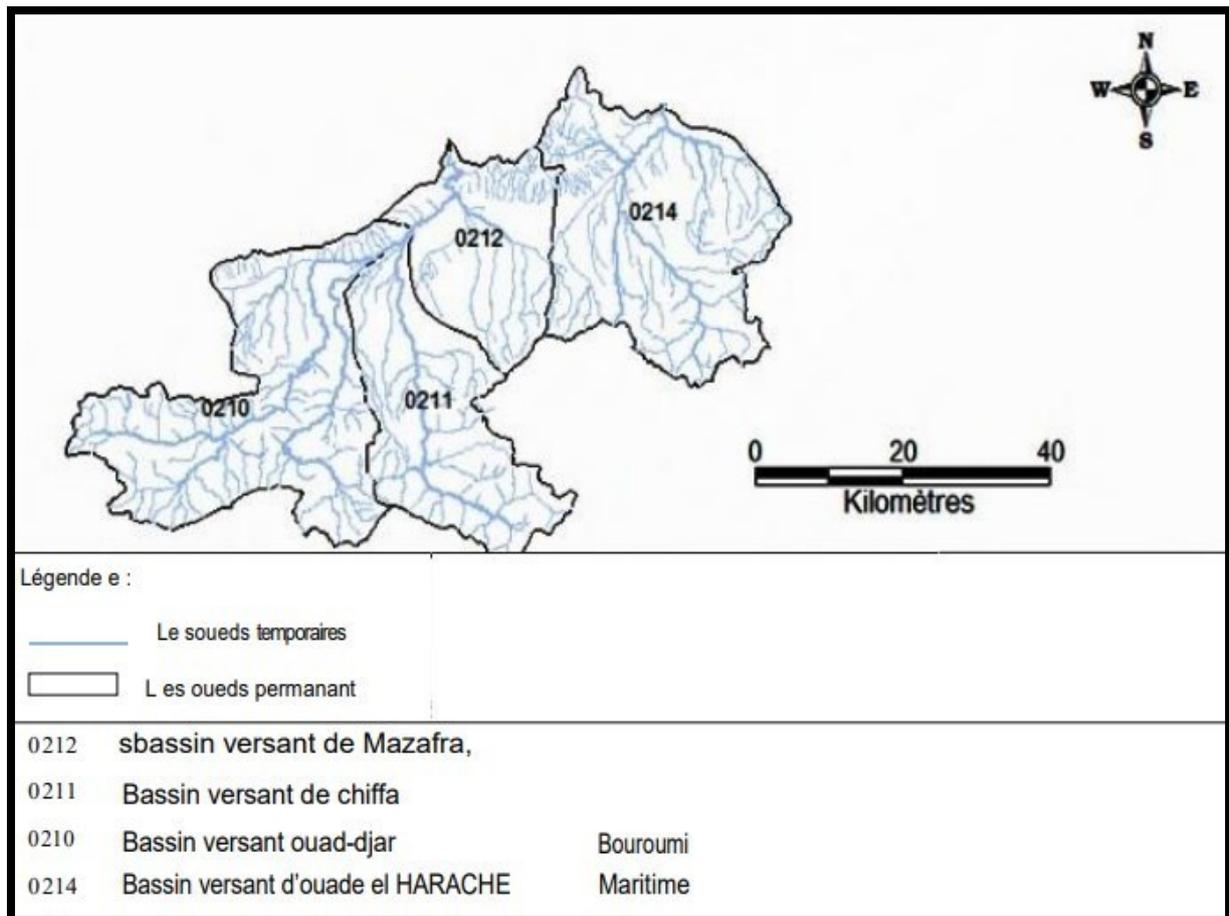


Figure I.4 : Carte des sous bassins versant de la plaine de la Mitidja. [7]

Cet indice est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire (bien drainé) possédant un potentiel d'infiltration plus important que ceux de forme allongée. Il est égal à 1,12 pour un bassin versant de forme carrée et lorsqu'il devient supérieur à 1,12 le bassin est de forme allongée (Musy, 2005).

K_c : Indice de compacité de Gravelius,

S : Surface du bassin (Km^2),

P : Périmètre du bassin (km).

$K_c = 1.81$ cela indique que la forme est allongée.

Tous ces paramètres s'indiquent que le temps de déconcentration au niveau de l'exutoire est très grande et le débit des crues est très faible. [8]

I.5.1.3 Relief

L'Oued Bouroumi prend sa source dans le Djebel Mouzaia à 540 m d'altitude. Doté d'une pente faible de 4% (4m/km), présente un large lit, il a une vitesse moyenne de 4 m/s. En période d'étiage, le niveau baisse énormément. Il coule en orientation sud-nord sur une distance de 60 km avant de se jeter dans l'oued Mazafran. [9]

De nombreux paramètres hydrométéorologiques varient en fonction de l'altitude (précipitations, température, etc.) et de la morphologie du bassin, on peut donc facilement imaginer les effets des reliefs sur l'écoulement (Bentekhici, 2006). La pente affecte également le débit. Ces reliefs sont également déterminés par les indices ou caractéristiques suivants:

A- Courbe hypsométrique

Elle représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. La courbe hypsométrique est un outil utile pour comparer plusieurs bassins entre eux ou différentes sections d'un même bassin. En effet, la forme de cette courbe est caractéristique de l'état de maturité du relief (jeune, en équilibre et vieux) ainsi que de sa capacité érosive (Musy, 2005).

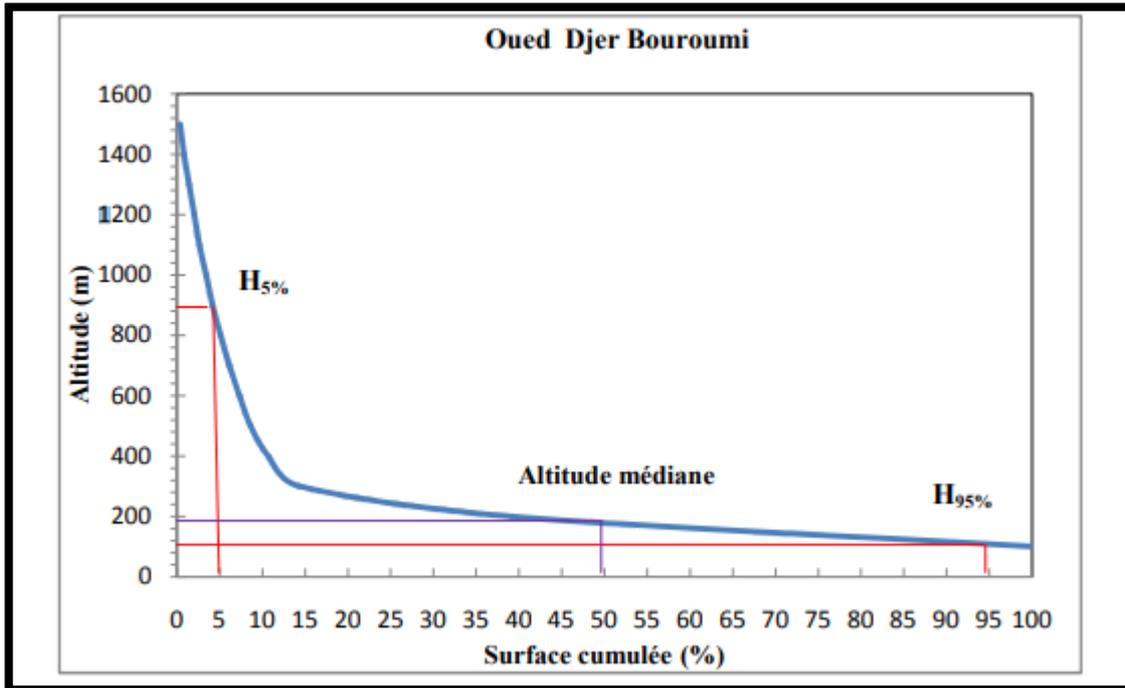


Figure I.6 : Courbe hypsométrique du sous bassin d'Oued Djer Bouroumi. [9]

À partir de courbes de figure I.6, les altitudes suivantes ont été déterminées :

- L'altitude maximum correspondant au sommet du bassin versant $H_{\max} = 1590$ m.
- L'altitude minimale correspondant à l'exutoire $H_{\min} = 50$ m.
- L'altitude médiane qui correspond à une surface cumulée de 50%, $H_{\text{méd}} = 180$ m.

B- Altitude moyenne

L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique (Bentekhici, 2006). On peut la définir comme suit :

$$H_{\text{moy}} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i H_i}{A}$$

Avec :

H_{moy} : Altitude moyenne du bassin (m) ;

A_i : Aire comprise entre deux courbes de niveau (Km²) ;

H_i : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau (m) ;

A : Superficie totale du bassin versant (Km²) ;

Après les calculs : $H_{\text{moy}} = 157 \text{ m}$.

I.6 Aperçue Hyrauclimatique

La plaine de la Mitidja est exposée au climat méditerranéen et possède une plaine côtière subhumide qui caractérise toutes les plaines côtières. Plus on s'éloigne de la côte, plus le climat est continental et plus la température baisse significativement. [8]

I.6.1 Changement Climatique

Le changement climatique est défini par l'ensemble des variabilités et perturbations des conditions météorologiques dans une région donnée, par rapport à une moyenne référentielle. Le climat englobe les paramètres suivants: température, humidité et pression. Les perturbations climatiques sont induites par deux paramètres, à savoir les facteurs naturels, englobant les variabilités solaires, les cendres volcaniques et le réchauffement de la terre. S'agissant du facteur humain, le spécialiste a cité les effets de serre, la pollution, l'industrie et les aérosols.

Dans le monde entier, le climat est enregistré depuis environ 1850 dans d'innombrables stations. De longues séries de mesure de la température de l'air et des précipitations permettent de comparer une année particulière avec la moyenne à long terme. Les analyses des séries de mesures de longue durée font apparaître une augmentation sensible de la température globale : la température moyenne à la surface de la Terre a augmenté d'environ $0,74^{\circ}\text{C}$ au cours des cent dernières années (1906-2005) et de $0,13^{\circ}\text{C}$ par décennie (à $0,03^{\circ}\text{C}$ près) au cours des 50 dernières années.

La première décennie du 21ème siècle se présente comme la plus chaude depuis le début des mesures. Le réchauffement des océans, la fonte des surfaces de neige et de glace ainsi que l'élévation du niveau de la mer sont étroitement liés à cette augmentation de la température (IPCC (Hrsg.), 2007).

I.6.2 Précipitation

I.6.2.1 Évaluation de la lame d'eau moyenne précipitée (Pluviométrie annuelle)

Pour évaluer la lame d'eau moyenne précipitée dans un bassin, il existe plusieurs méthodes d'évaluation, nous avons utilisé la méthode de Thiessen et celle des isohyètes :

A - Méthode de Thiessen

C'est une méthode géométrique qui consiste à définir des zones pour lesquelles chacun de ses points à l'intérieur soit plus proche en distance horizontale du pluviomètre considéré. À chaque poste est attribué un poids (pourcentage) proportionnel à la surface de sa zone. Les zones représentatives sont ainsi des polygones obtenus en traçant, entre les stations prises deux à deux, les médiatrices, lieux géométriques des points situés à égale distance des extrémités d'un segment de droite. [10]

La pluie moyenne sur le bassin est égale à la somme des pluies partielles :

$$P_{moy} = \sum_{i=1}^n \frac{S_i P_i}{S}$$

P_{moy} : Pluie moyenne calculée par la méthode de Thiessen (mm).

P_i : Pluie partielle (mm).

S_i : Surface partielle relative à la zone de chaque pluviomètre (Km²)

S : Surface totale du bassin versant (Km²).

Les résultats de calcul de sous bassin Oued Djer sont rassemblés dans le tableau :

Tableau I.2 : calcul de la pluie moyenne par la methode de Thiessen de sous bassin (oued djer). [10]

Station	Code	Surface (km ²)	S_i/S	Pi (mm)	$(S_i/S)*P_i$
S1	021112	62.89	0.16	609.47	102.41
S2	021102	59.89	0.16	699.66	111.96
S3	021105	48.1	0.12	553.76	71.17
S4	021115	25.8	0.06	884.35	60.96
S5	021116	61	0.16	682.9	111.30
S6	021117	39.71	0.1	618.89	65.67
S7	021126	39.7	0.1	694.37	73.66
S8	021132	37.17	0.09	522.51	51.89

$$P_{moy} = 649 \text{ mm}$$

L'application de la méthode de Thiessen a permis d'extraire la lame d'eau moyenne précipitée pour chaque sous bassin durant la période allant de 1972 jusqu'à 2013, la plus grande

valeur a été enregistrée dans la station d'Oued Chiffa avec une moyenne de 649 mm. Les deux moyennes enregistrées dans les stations Oued Djer Bouroumi et Oued Mazafran sont 539 et 571 mm respectivement. [10]

B. Méthode des isohyètes

La représentation spatiale de la pluie, à partir des représentations ponctuelles peut se faire par les méthodes d'interpolations classiques. Le développement des méthodes plus sophistiquées en utilisant l'outil informatique est devenu d'un usage très fréquent, la méthode des isohyètes nous a semblée adéquate.

On trace les lignes d'égaies précipitations (isohyètes) au moyen des enregistrements disponibles dans les stations du bassin et d'autres stations avoisinantes. La hauteur des précipitations sur le bassin est donnée par l'expression :

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n SiPl}{S}$$

Si : Superficie comprise entre l'isohyète « i » et l'isohyète et « i+1 »

Pl : Hauteur moyenne des précipitations entre « i » et « i+1 » en (mm).

Elle est donnée par l'expression :

$$\frac{P_i + P_{i+1}}{2}$$

Pi : Hauteur des précipitations de l'isohyète « i » en (mm)

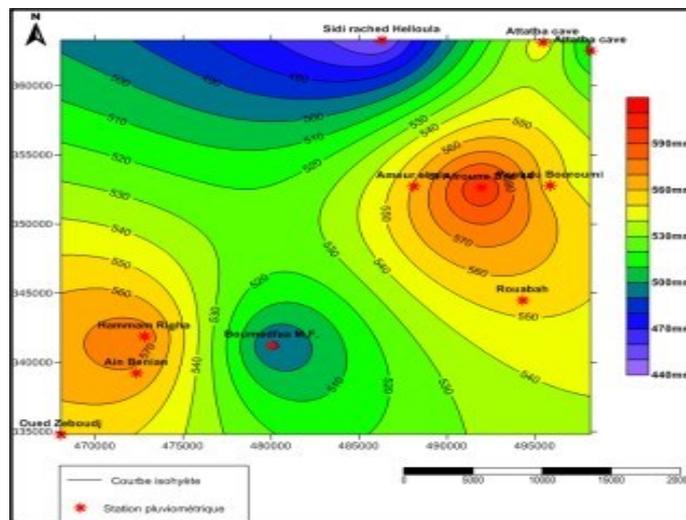


Figure I.7 : Carte isohyète d'Oued Djer Bouroumi. [10]

I.6.2.2 Précipitation Mensuelle

Le tableau et la figure montrent la pluviométrie moyenne mensuelle observée sur une période 13 mois (septembre 2021-septembre 2022) dans la station EL Affroun.

Tableau I.3 : Précipitation moyenne mensuelle (de septembre 2021 à septembre 2022). [7]

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fevr	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Aout	Sept
	21	21	21	21	22	22	s22	22	22	22	22	22	22
Quantité mm	06	23	360	80	22	30	114	157	56	00	05	01	10

Précipitations total : 864 mm

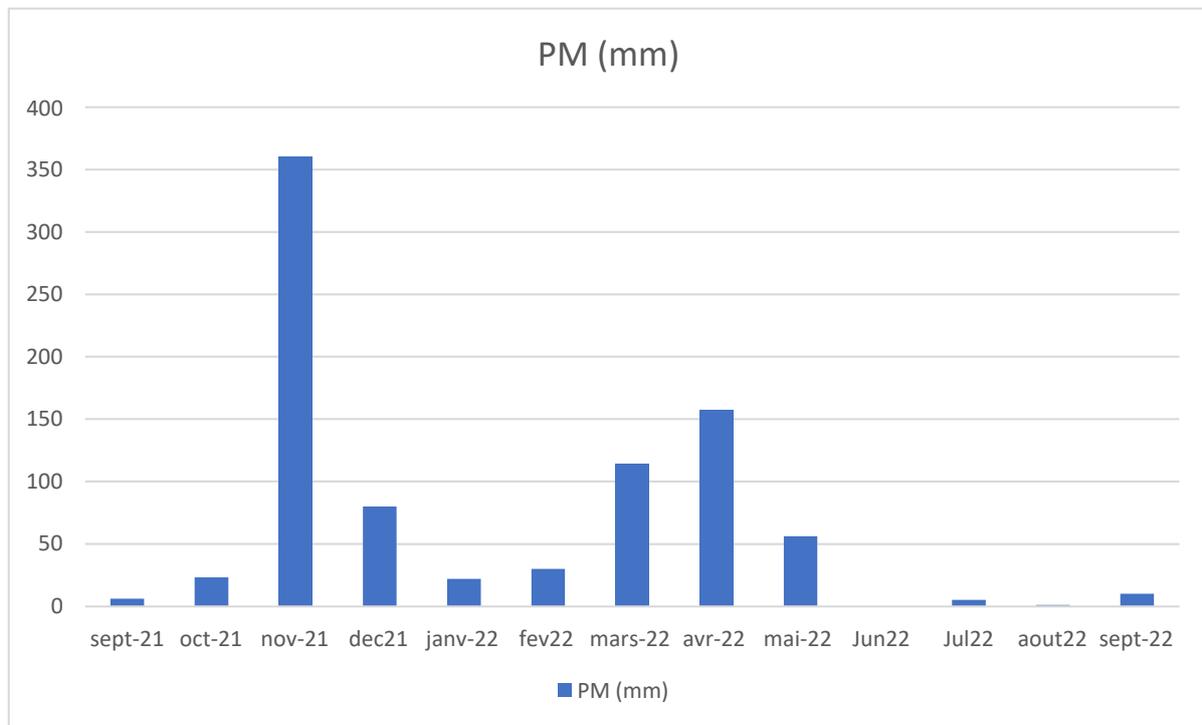


Figure I.8 : Histogramme des précipitations mensuelles d'el Affroun (station EL Affroun) 2021-2022.

Les mois les plus arrosés sont novembre 2021, mars 2022, avril 2002, en prenant des valeurs de pluviométrie de 100 mm à 400 mm.

Les mois les plus secs sont septembre 2021, juin 2022, juillet 2022, aout 2022, avec une précipitation très limitée qui ne dépasse pas 6 mm.

I.6.3 La température

La température est un facteur très importante qui conditionne le déficit d'écoulement sur l'année 2022, les températures moyennes, maximales, et minimales ont été calculées pour pouvoir caractérisé la zone d'étude :

Tableau I.4 : Températures mensuelles à El Affroun (station EL Affroun) 2022. [7]

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
T° Moy	15.2	14.3	16.9	18	30.2	33.1	37	33.4	29.8	25	24.3	21
T° Max	22.8	27	28	32.4	40	41.9	38.6	42.4	43.6	37.8	30.1	27.2
T° Min	2	4	4.1	4.8	10	17.5	18.8	19.2	15.2	14	6.8	7.9

Ces observations peuvent être présentes par la figure :

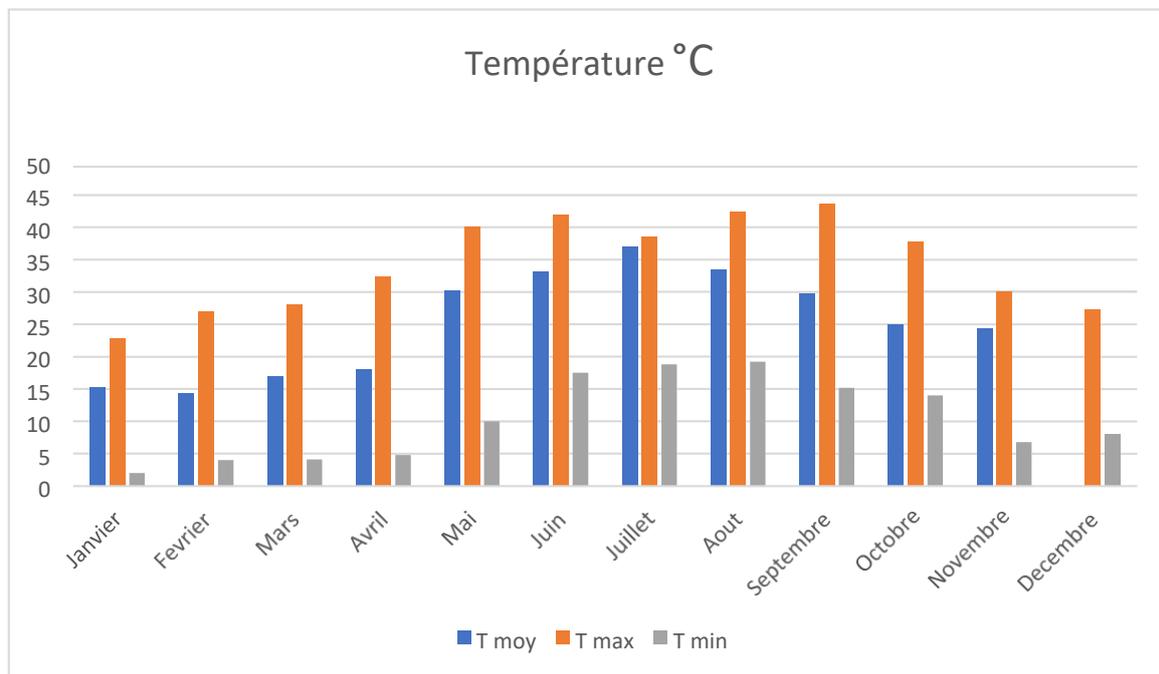


Figure I.9 : Histogramme des Variations des températures d'el Affroun (station EL Affroun) l'année 2022.

L'analyse des valeurs mensuelles moyennes enregistrées au niveau de la station de Soma sur l'année 2022 nous montre :

- La température mensuelle maximale enregistrée est de 43.6 °C au mois de septembre.
- La température mensuelle minimale enregistrée est de 2.3 °C au mois de janvier.
- La saison hydrologique est divisée en 2 périodes :
 - a- une période chaude (saison sèche) commençant du mois de mai jusqu' au mois novembre ayant une température moyenne la plus élevée enregistrée au mois de aout (33.4 °C).
 - b- une période froide (saison humide) commençant du mois de décembre jusqu' au moi de avril ayant une température moyenne la plus basse enregistrée au mois février (14.3 °C).

I.6.4 Les vents

Les vents dominant dans le périmètre sont ceux qui soufflent de N.E et de l'ouest. Le tableau x et la figure x montrent la répartition des vitesses des vents moyennes mensuelles sur un période de 26 ans (1988-2014) la station de Somaa :

Tableau I.5 : Vitesse moyenne des vents mesurée par la station EL Affroun (2022). [7]

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aout
V _{Moy} (km/h)	3.67	3.34	4.21	3.6	3.33	3	3.67	4.3	3.53	3.5	2.9	4.1

Vitesse moyenne = 3.63 (km/h)

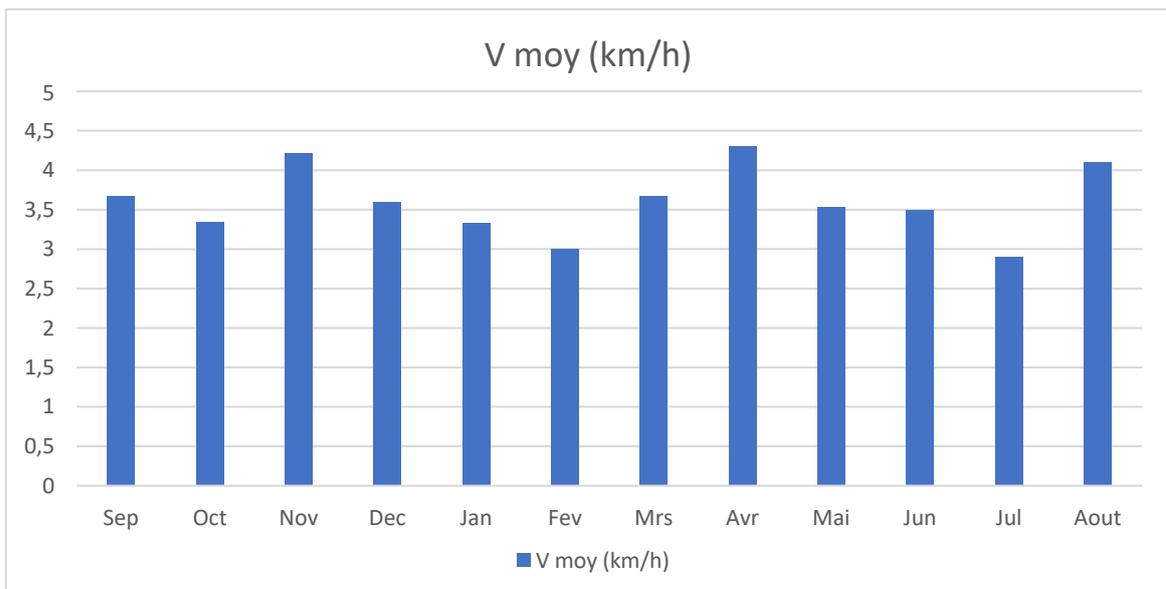


Figure I.10 : Histogramme des variations des vitesses de vent d'el Affroun de la (station EL Affroun) l'année 2022.

Sur une série de données de 26 ans, les plus grandes valeurs des forces de vents ont été enregistrées pendant les mois d'Avril, Novembre et Aout. La vitesse moyenne de vent atteint sa valeur maximale en Avril (4,30km/h). Le minimum se situe en Juillet. La vitesse moyenne annuelle des vents varie de 3 à 4km/h.

I.7 Aperçue géologique

La plaine de la Mitidja s'étend au sud d'Alger entre Hadjout et Réghaïa, selon une direction SW-NE. Elle est bordée au Nord par les collines du Sahel et au Sud par l'atlas Tellien. Elle fait environ 90km de longueur et de 8 à 18 km largeurs. [11]

Cette plaine est constituée de deux horizons aquifères :

- Les grès astien, d'une épaisseur d'environ 100m, qui affleurent essentiellement sur les collines du Sahel.
- Les alluvions du Quaternaire, qui affleurent sur la majeure partie de la plaine. Leur épaisseur peut dépasser 200 m au centre du bassin. [11]

Le cadre géologique local est caractérisé par la série litho stratigraphique représentée dans la (Figure n°I.11).

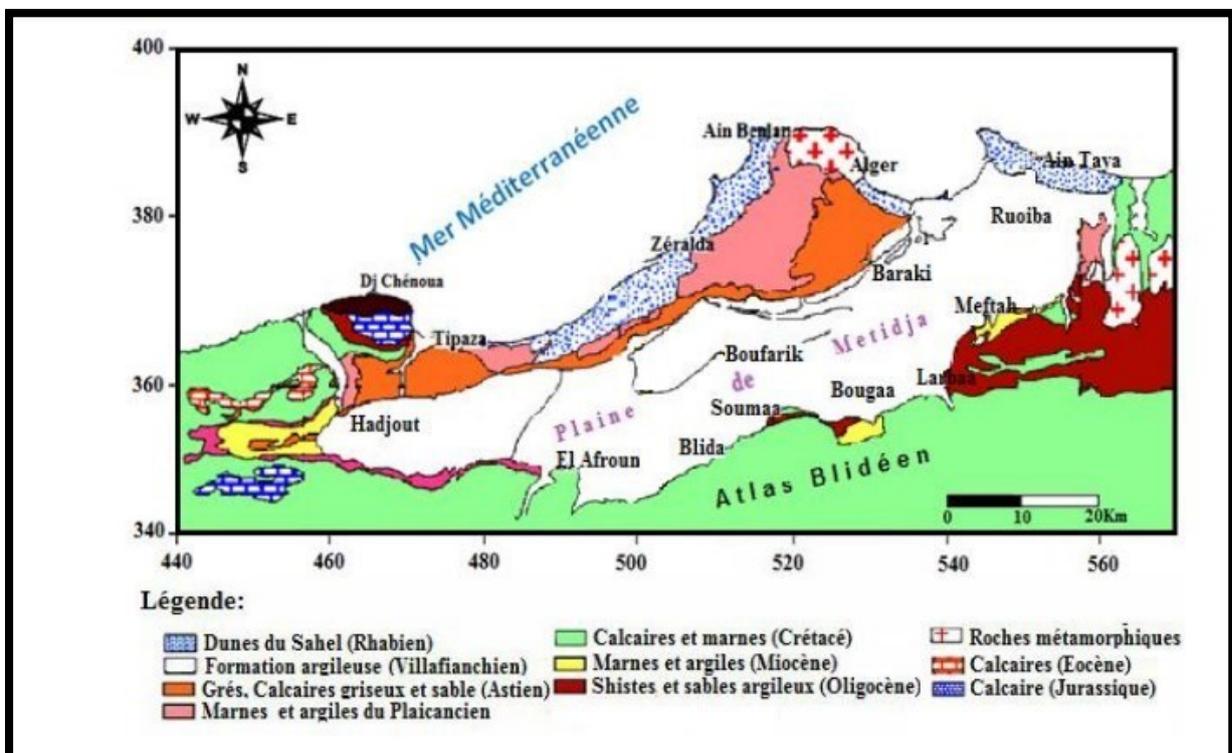


Figure I.11 : Cadre géologique de la plaine de la Mitidja (2016). [11]

La figure n°II.2 montre des coupes géo-électriques Nord-Sud à travers la plaine de la Mitidja

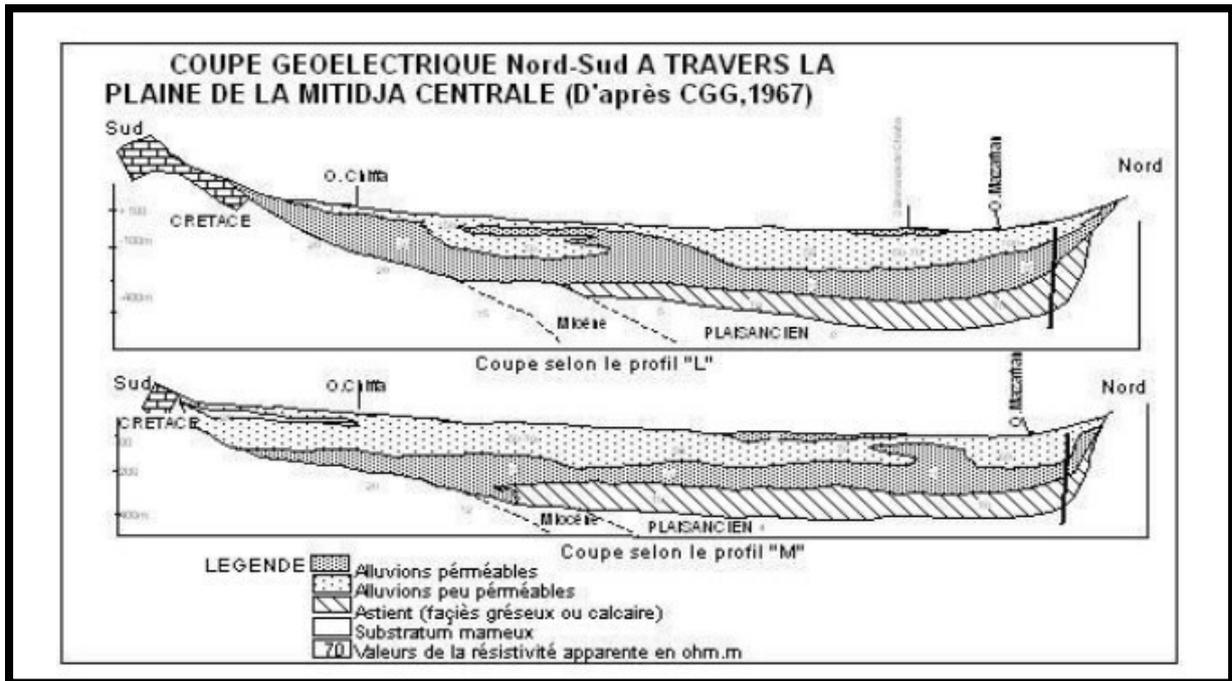


Figure I.12 : Coupe Géoelectrique Nord-Sud à travers la plaine de la Mitidja centrale. [11]

I.7.1 1 Stratigraphie

La succession lithologique rencontrée dans la plaine de la Mitidja se présente comme suit avec de bas en haut :

- a- **Le Pliocène marin** : qui se présente sous forme de marnes grises ou gris bleu, comprenant une puissante couche de marnes bleues parfois sableuses attribuées au Plaisancien. De marnes jaunes, de faciès gréseux, ou calcaire et de calcaire gréseux, ainsi que de la mollasse attribuée à l'Astien.
- b- **Le Quaternaire marin** : localisé essentiellement sur le versant nord du sahel, notamment entre Alger et Bordj El Bahri.

Le Quaternaire continental comprend :

- Le Villafranchien supérieur : Constitué de gravier siliceux fluviatiles et graviers de grès avec de l'argile rouge d'origine crétacé. Il est localisé essentiellement sur des glacis à des altitudes comprises entre 100 et 300 m d'altitudes formant les terrasses du Sahel.
- Le Quaternaire ancien : Compris entre 50 et 150 m, au-dessus des oueds caillouteux. [11]

I.7.1.2 Le Quaternaire moyen

Constitué par des alluvions, il forme les terrasses qui s'étagent au-dessus des oueds et les piémonts de l'Atlas Blidéen. Ce sont des alluvions fluviales, enrobées dans une matrice argileuse rouge et brune. Les alluvions sont finement litées avec passées limoneuses alternant avec des galets. [11]

I.7.1.3 Le Quaternaire récent

Rharbien ce sont des terrasses de 5 m d'épaisseur environ, constituées de limons d'argile noire ou blanc, de limons caillouteux et de cailloux grossiers. Ce sont les derniers matériaux qui ont participé au complément de la Mitidja. [11]

I.7.1.4 Le Quaternaire actuel

Se limite aux lits mineurs et majeurs des oueds. Il est formé de dépôts fluviaux constitués de galets roulés et de plage de limons gris ocre. (Figure n°II.13). [11]

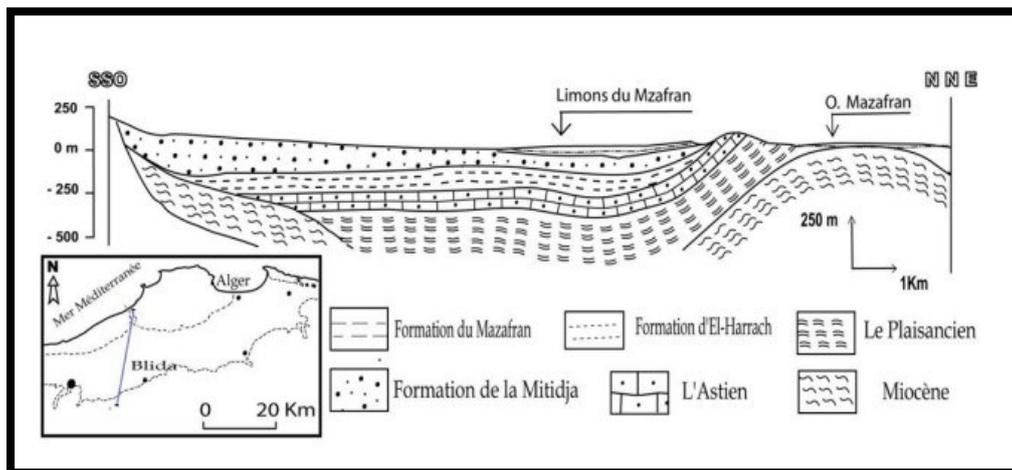


Figure I.13 : Coupe géologique au niveau de la Mitidja. [11]

I.7.2 Tectonique

La configuration actuelle de la Mitidja a débuté vers la fin du Pliocène. A cette époque les dépôts marins et lagunaires qui formaient une aire anticlinale, ont subi un affaissement (subsidence), dessinant en gros les contours de la Mitidja actuelle. Les reliefs du Sahel empêchaient toute transgression de la mer vers l'intérieur des terres. Par la suite les matériaux résultants de l'érosion de l'Atlas, se sont déposés sous forme de dépôts fluvio-lacustres (type marnes jaunes de Maison Carrée).

Au Quaternaire moyen, la Mitidja est envahie par une épaisse couche d'alluvions, recouvrant ainsi les chenaux et les haut fonds marneux. [11]

		Age	Formation	Lithologie	Epaisseur	Aquifère existants
Quaternaire	Actuel / récent	Alluvions des oueds, dunes, piémont de l'Atlas		Sable / Gravier, Sables éoliens, limons argileux	< 10 m 10 à 20 m	Aquifère existants
		Pleistocène	Rharbien	Formation du Mazafran Formation de Hallola Formations dunaires	Limons et argiles limoneuses Sables consolidés	
	Soltanien Tensiftien		Formation de la Mitidja	Altérence de graviers, de sables et d'argiles	100 à 200 m	Aquifère de la Mitidja
	Amirien Saltinien		Non identifié dans la plaine de la Mitidja	—	—	
	Villafran- chien	Formation d'El Harrach	Argiles et cailloutis	0 à 200 m moyenne 100 m		
Tertiaire	Pliocène	Astien	Grès, sables, calcaires	100 à 130 m	Aquifère de l'astien	
		Plaisancien	Marnes et argiles bleues	200 m		
	Miocène et roches plus anciennes	Roches sédimentaires, métamorphiques et éruptives.	Diverses mais peu significatives dans l'évolution du bassin sédimentaire	—		

Figure I.14 : Distribution générale des formations du remplissage de la Mitidja. [11]

I.8 Aperçu hydrogéologique

Introduction

La nappe de Mitidja contient deux principaux aquifères qui sont :

- La nappe quaternaire (composé de sable, argile et gravier).
- La nappe astien (composé de sable, grès et calcaire).

I.8.1 L'aquifère de l'Astien

Il s'étend sur presque la totalité de la plaine et affleure principalement dans le Sahel et au Sud au niveau de Meftah. Il est bien délimité entre un substratum marneux (plais anciennes) et la couverture des marnes d'El Harrach (ou marnes de Maison-Carrée)

L'épaisseur moyenne de l'aquifère est de 100 à 130 mètres. Il se situe généralement à une Profondeur allant de 250 à 300 m par rapport au niveau du sol. A l'Est de Rouïba cependant, la formation de l'Astien se rencontre à de faibles profondeurs.

La nappe de l'Astien est formée par des grès fins consolidés, elle est généralement captive mais non artésienne. Elle devient libre au niveau de zones d'affleurement situées dans le Sahel. [12]

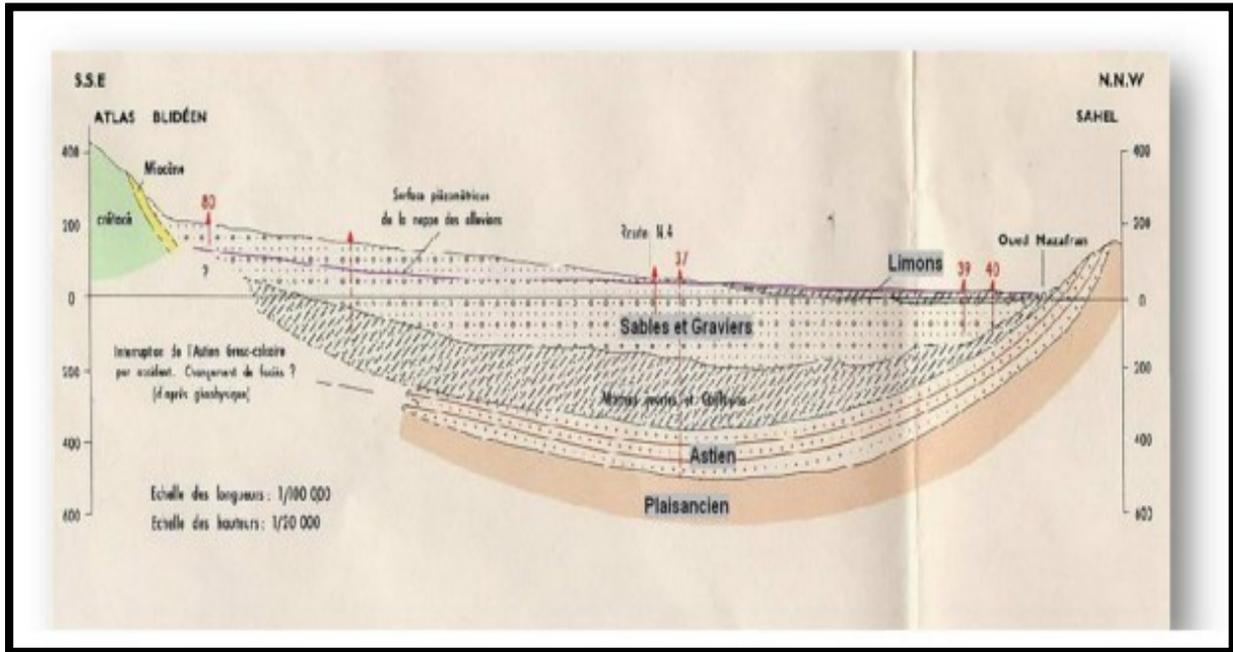


Figure I.15 : Carte hydrogéologique de la Mitidja. [12]

I.8.2 L'aquifère des alluvions du Quaternaire

L'aquifère des alluvions Quaternaire de la Mitidja occupe la totalité de la plaine. Il est constitué par les formations du Quaternaire (gravier, sable, galets et des argiles). Il repose principalement sur les marnes d'El Harrach. L'aquifère a pour limite supérieure la surface du sol et inférieure la formation d'El Harrach, Son épaisseur moyenne est de l'ordre de 100 à 200m.

Dans la partie orientale de la plaine, l'aquifère se trouve en contact direct avec l'Astien, l'absence du substratum dans cette partie de la plaine est due à l'activité érosive qui a eu lieu au cours du Pléistocène.

Dans la partie occidentale (bas-Mazafran et Lac Halloula), l'aquifère se continue au-dessous de la formation argilo limoneuse du Rharbien. Cette formation de très faible perméabilité, rend la nappe captive dans cette partie de la plaine. [12]

I.9 Etude piézométrique

L'établissement des cartes piézométrique est basé par l'utilisation de le logiciel (ArcGis10.2.2). Les niveaux piézométriques mesurés ont permis de tracer la carte piézométrique pour la période Mai 2017. [11]

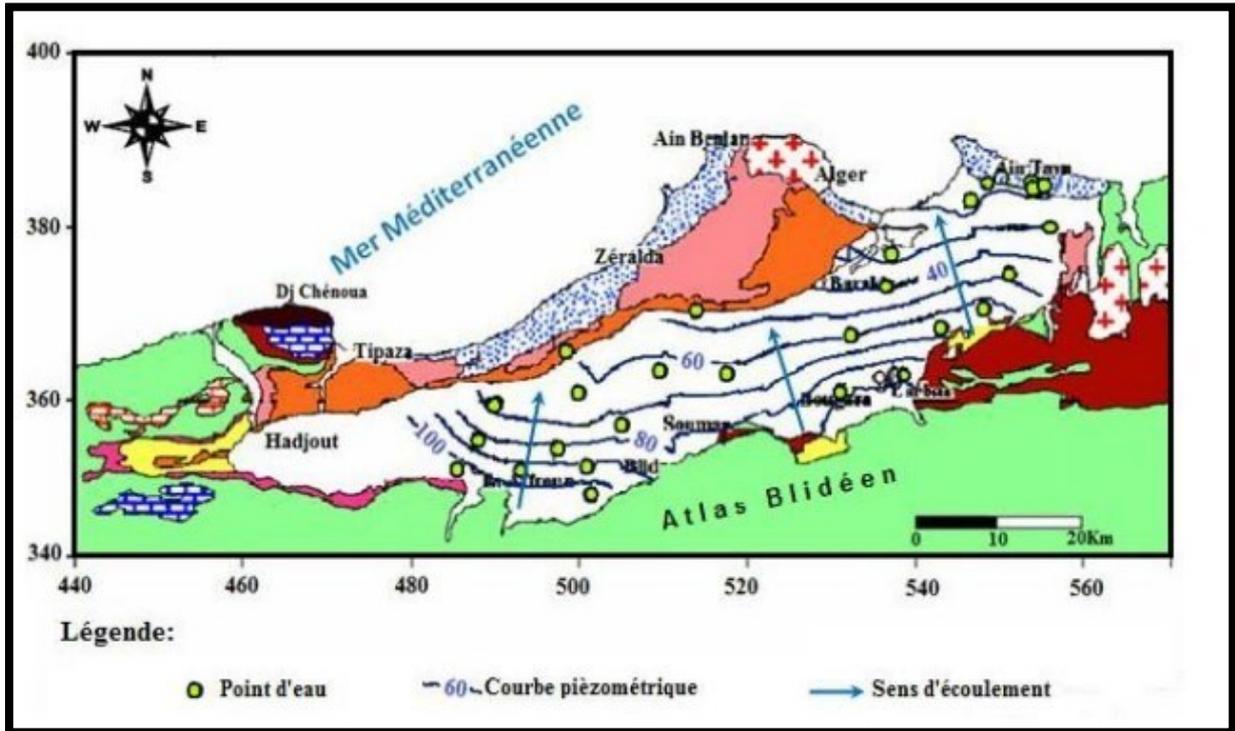


Figure.16 : Carte piézométrique de la Mitidja. [11]

L'observation de la carte piézométrique permet d'analyser le comportement hydrodynamique de la nappe alluviale de la Mitidja et montre un écoulement des eaux de la nappe à partir des massifs de l'Atlas Blidéen au Sud vers la mer méditerranéenne au Nord.

La pente générale de la nappe est de l'ordre de 0,1% dans la plaine et augmente en allant vers la bordure sud (piémont de l'Atlas Blidéen), les gradients hydrauliques sont généralement d'orientation Sud-Nord. Les courbes iso pièzes, parallèles à l'Atlas en amont, s'incurvent vers l'aval pour mettre en évidence la convergence des écoulements vers les champs de captage (exutoire artificiel). [11]



CHAPITRE II :
Technique de reconnaissance et
technique de forage



II. Introduction

Dans ce chapitre on expose les grands axes et principes de la géophysique et principalement la technique de la prospection électrique (sondage électrique vertical SEV).

II.1 Généralités sur la géophysique

La géophysique est appliquée pour l'implantation des forages d'eau car elle permet, par l'utilisation d'appareillages basés sur un principe physique, de prospecter le sous-sol depuis la surface pour obtenir des « réponses » correspondant à des valeurs de paramètres physiques mesurés, valeurs qui, interprétées, permettent de caractériser le sous-sol. Le géophysicien a le loisir de choisir le paramètre qu'il souhaite mesurer, la méthode adéquate pour sa mesure et au sein de cette méthode, la technique la plus adaptée (s'il en existe plusieurs). Ces choix sont faits en considérant l'environnement et le contexte géologique, la cible recherchée, la sensibilité du paramètre mesuré à la cible, la capacité de la méthode à bien mesurer le paramètre (plusieurs méthodes peuvent mesurer un même paramètre), pour les méthodes ayant plusieurs techniques de mise en œuvre, l'aptitude (avantages et limites) d'une technique particulière selon le contexte et enfin, les moyens financiers disponibles (Rubin and Hubbard, 2006). Pour l'implantation du forage, il faut donc choisir le paramètre qui, mesuré par une méthode via une technique, permet de relever les variations d'une propriété physique de la cible hydrogéologique. Cette variation doit être suffisamment importante pour engendrer une « anomalie » significative dans les réponses (signaux) enregistrées. [13]

II.2 Résistivité électrique

I.2.1 Définition et intérêt pour l'hydrogéologie

La résistivité d'un matériau (son inverse, la conductivité) est sa capacité à s'opposer au passage d'un courant électrique. Elle est définie comme étant la résistance ohmique d'un cylindre d'une surface de section unitaire et d'une longueur unitaire (Kunetz, 1966). Les unités conventionnelles étant l'ohm pour la résistance et le mètre pour la longueur, l'unité de la résistivité est l'ohm-mètre ($\Omega.m$ ou ohm.m). [13]

$$\rho = \frac{A.V}{L.I} = \frac{1}{\sigma}$$

Avec : ρ = résistivité en ohm.m, A = surface en m^2 , L = longueur en m, V = tension en V, I = intensité en A et σ = conductivité en S/m.

Pour l'hydrogéologue, la résistivité électrique constitue un paramètre physique intéressant en tout premier lieu car elle est liée au degré d'altération des roches en zone de socle (10 ohm.m pour des argiles et plus de 10.000 ohm.m pour des roches saines).

La résistivité électrique peut être caractéristique de plusieurs phénomènes de conduction : la conduction électronique (électrons libres dans les métaux), la conduction diélectrique (courants de déplacement sous l'influence de champs de très hautes fréquences) et la conduction électrolytique (fait intervenir le déplacement des ions en solution dans l'eau d'imbibition). C'est ce dernier phénomène qui est mesuré par le géophysicien sur le terrain ; la conduction électrolytique est mise en jeu dans les sols et les roches et se produit grâce au déplacement des ions dissous dans l'eau existant entre les pores interstitiels du matériau (Kunetz, 1966). [13]

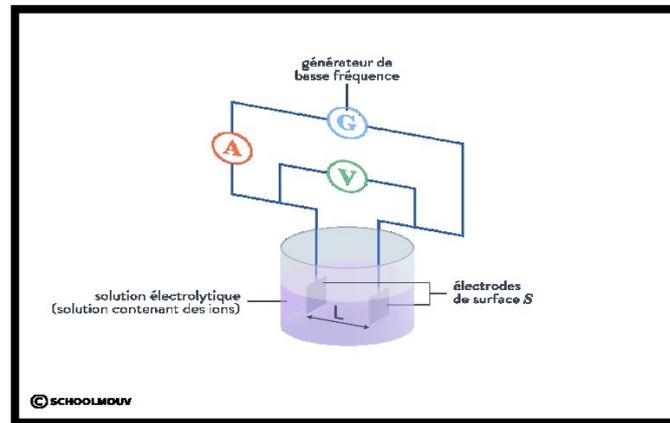


Figure II.1 : Schématisation de la conductivité électrolytique.

II.2.2 Facteurs influant sur la valeur de la résistivité électrique

Les facteurs influant sur la valeur de la résistivité sont largement décrits dans la littérature (e.g. Keller, 1988; McNeil, 1980; Ward, 1990). Étant donné que le phénomène mis en jeu ici est la conduction électrolytique, les facteurs qui influent le plus sur la valeur de la résistivité sont les suivants : [13]

II.2.2.1 La porosité totale

Définie comme le rapport entre le volume des vides et le volume total. Si la porosité augmente, la résistivité va diminuer. [13]

II.2.2.2 La tortuosité

Définie par la taille et la forme des grains de la matrice. [13]

II.2.2.3 La saturation

Définie comme le pourcentage des vides remplis par l'eau d'imbibition. L'augmentation de la saturation va diminuer la résistivité. [13]

II.2.2.4 La température

Lorsqu'elle augmente, la viscosité diminue, la mobilité des ions devient plus grande, ce qui diminue la résistivité. [13]

II.2.2.5 La quantité et la composition des colloïdes présents

Substance dissoute dans l'eau d'imbibition sous forme de particules de très petites tailles. Une augmentation des colloïdes de substance conductrice va diminuer la résistivité. [13]

II.2.2.6 La résistivité ou conductivité de la matrice

La composition même de la roche. L'augmentation de la teneur en argile va diminuer la résistivité de la roche. [13]

II.3 Prospection électrique la méthode de la résistivité

II.3.1 Principe

En géophysique (hydrogéologie) pour la prospection et la recherche des eaux souterraines on mesure la propriété physique des roches qui est la résistance R de la roche ou bien son équivalent qui est la résistivité. Le principe est basé sur la loi d'Ohm. [14]

Mesure de la différence de potentiel U de la loi d'Ohm :

$$\text{➤ } U = R.I$$

$$R = \frac{U}{I} \quad / \quad R = \rho \frac{L}{S} \quad \text{Donc} \quad \rho = \frac{R.S}{L}$$

Avec : ρ = résistivité en ohm.m, S = la surface en m², L = la largeur en m.

II.3.2 Propriété physique des roches

Pour un géophysicien une roche constituée de :

A• La matrice

Partie solide constituée par les minéraux possédant chacun leurs propriétés physiques propres : densité, vitesse, résistivité, susceptibilité. [14]

B• La porosité

La porosité traduit la faculté d'une roche à stocker un fluide (air, eau) dans ses interstices, également appelés pores, volume des vides en %. [14]

C• Les fluides

Ce qui remplit plus ou moins des vides : eau plus ou moins salée, hydrocarbures, gaz, air et des polluants. [14]

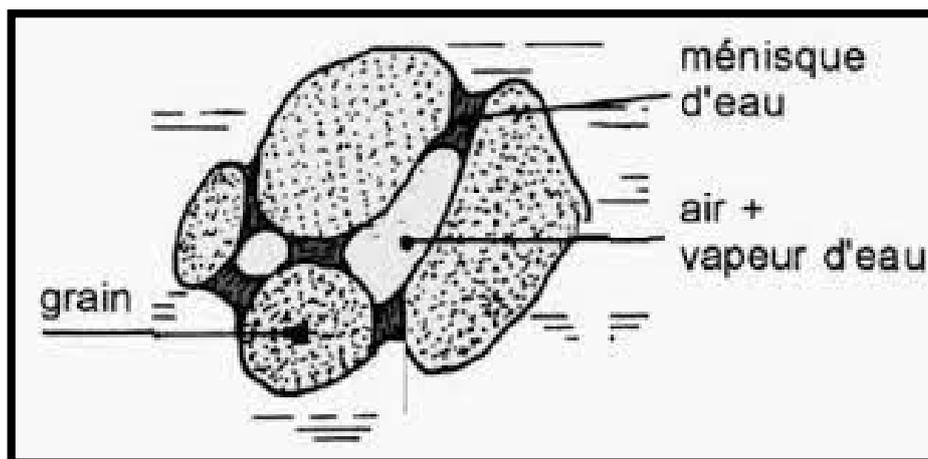


Figure II.2 : Schéma d'une roche.

Tableau II.1 : La porosité et la perméabilité des différentes roches.

Roches	Porosité totale (%)	Perméabilité (cm /s)
Argilite	35	10^{-8} - 10^{-9}
Craie	35	10^{-5}
Marnes	27	10^{-9} - 10^{-9}
Grès	3 à 35	10^{-3} - 10^{-6}
Calcaire	3	10^{-10} - 10^{-12}
Dolomite	1 à 12	10^{-5} - 10^{-7}
Granite	1	10^{-9} - 10^{-10}

II. 4 Notion de courant continu dans le sol

II.4.1 Dispositif Schlum-Berger

Si on injecte un courant continu dans le sol à partir d'une source d'électricité on a :

1^{er} cas :

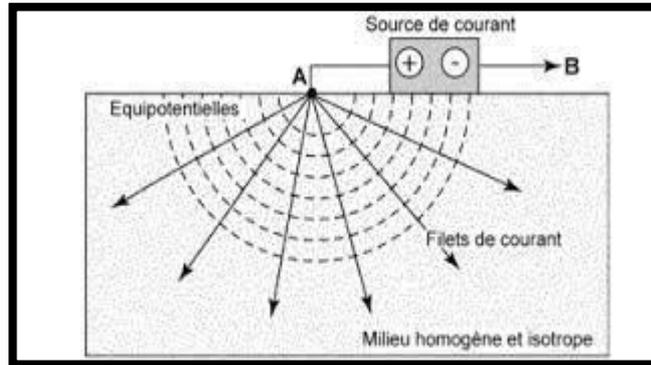


Figure II.3 : Schématisation d'un seul quadripôle.

Donc on injectant le courant dans le sous-sol on crée un champ électrique avec :

- Ligne de courant.
- Courbe perpendiculaire à la ligne de courant équipotentiel.
- La variation du potentiel dans le sous-sol est :

$$du = \frac{\rho \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r^2}$$

2^{ème} cas :

Si on injectant le courant électrique à partir de deux sources A et B :

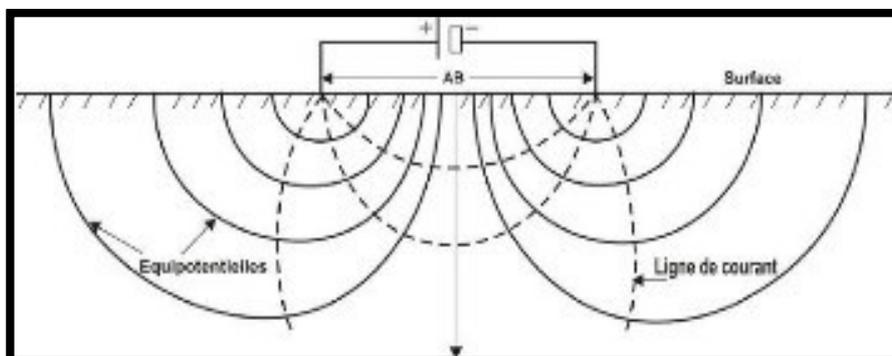


Figure II.4 : Schématisation de deux quadripôles.

Donc il y aura :

- Une création des lignes de courant de A vers B.
- Nous aurons des courbes équipotentielles qui se répartissent entre A et B perpendiculairement à la ligne de courant. [14]

II.4.2 Calcul de la résistivité dans le sous-sol

Soit le dispositif de mesure suivant :

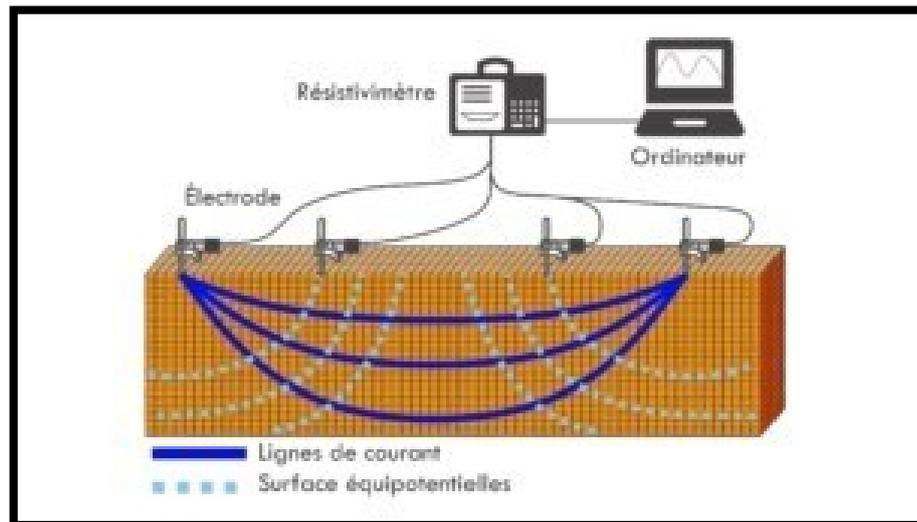


Figure II.5 : Schéma de fonctionnement.

- On utilise pour injecter le courant dans le sous-sol quatre électrodes (piquets en acier conducteur d'électricité entre 50 et 70 cm de long).
- Le système qui comprend les quatre électrodes (quadripôle).
- Les électrodes A et B c'est des électrodes de courant.
- Les électrodes M et N c'est des électrodes de potentiel. [14]

Potentiel U_m :

$$U_m = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} \cdot \frac{1}{BM} \right)$$

Potentiel U_n :

$$U_n = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \left(\frac{1}{AN} \cdot \frac{1}{BN} \right)$$

Donc :

$$U_m - U_n = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} \cdot \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)$$

Alors :

$$\rho = k \cdot \frac{\Delta u}{I}$$

Avec :

$$K = \pi \left(\frac{AM \cdot AN}{MN} \right)$$

Avec : ρ = résistivité apparente de la couche, k = facteur géométrique dispositif, Δu = potentiel entre électrodes Net M (milli volt), I = intensité du courant (mA).

Tableau II.2 : La résistivité de différentes roches. [15]

Roches	Résistivité ($\Omega.m$)
Argilite	70-200
Craie	30-300
Marnes	3-100
Grès	30-300
Calcaire	200-10 000
Dolomite	200-10 000
Granite	1000-15 000

II .5 Généralité sur les techniques de forages

Faire un forage... quoi de plus banal aujourd'hui. On croyait que depuis les Chinois (déjà) qui utilisaient la tige du bambou pour forer à plusieurs centaines de mètres de profondeur, Bernard Palissy inventeur de la sonde, et les pétroliers (in fine), tout avait été dit sur le sujet. Reste que la réalisation d'un forage d'eau, qu'il soit destiné à l'industrie, l'agriculture, ou l'alimentation humaine, s'inscrit aujourd'hui dans un cadre de développement durable, de gestion et de protection de la ressource. [16]

Il existe plusieurs méthodes de forage qui peuvent être utilisées et parmi ces méthodes (Forage par battage ; Le forage au rotary ; Forage au marteau fond de trou (MFT) ; Forage par havage ...) La technique la plus utilisée est le rotary à la boue benthonique, parce qu'elle est adéquate, grâce à ses avantages, comme elle est la plus utilisée dans la région. [16]

II.6 Défient technique pour construire un forage

II.6.1 Forage par battage

C'est la technique la plus ancienne, utilisée par les Chinois depuis plus de 4000 ans (battage au câble), elle consiste à soulever un outil très lourd (trépan) et le laisser retomber sur la roche à perforer en chute libre. Le forage par battage ne nécessite pas de circuit d'eau ou de boue, et seul un peu d'eau au fond de forage suffit. [17]

II.6.1.1 Inconvénients du battage

- le forage s'effectue en discontinu (forage puis curage de cuttings et ainsi de suite).
- difficultés pour équilibrer les pressions d'eau jaillissante.
- absence de contrôle de la rectitude.
- pas de possibilité de faire le carottage.
- vitesse d'avancement faible, quelques mètres par jour.
- Usure rapide des lames de trépan.
- Méthode peu adaptée dans les terrains plastiques ou bouillant.
- Faible profondeur d'investigation 200m. [17]

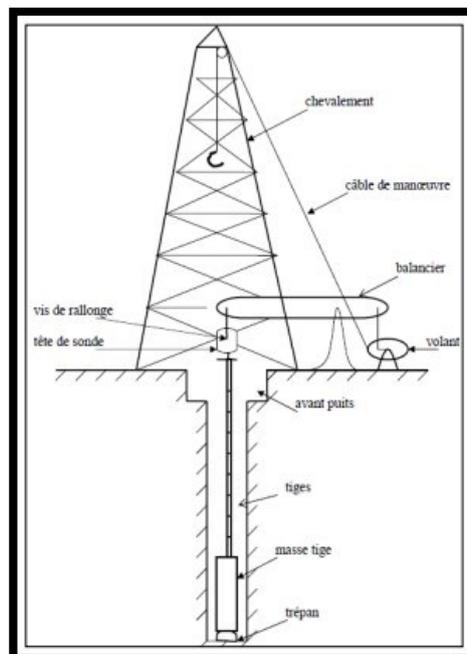


Figure II.6 : Appareil de battage.

II.6.2 Forage par le MFT

Cette technique permet de traverser des terrains durs comme le rocher (granites) ou sédimentaires consolidées (grès, calcaires).

Un taillant à boutons en carbure de tungstène fixé directement sur un marteau pneumatique, est mis en rotation et percussion pour casser et broyer la roche du terrain foré. Le marteau fonctionne comme un marteau piqueur, à l'air comprimé qui est délivré par un compresseur en plus de la machine de forage. Le flux d'air permet de remonter les cuttings du terrain. On distingue 2 phases, la percussion et le soufflage. [17]

II.6.2.1 Les avantages

- Avancement rapide et profondeur d'investigations pouvant dépasser les 300 m de profondeur (fonction du diamètre et de la puissance du compresseur d'air).
- Bonne observation des cuttings (coupe géologique) et des zones productrices (suivi foration).
- Fluide de forage (air) bien adapté au forage d'eau en général de par l'absence de produit de foration (pas d'interférence entre la ressource et des boues ou de l'eau). [17]

II.6.2.2 Les inconvénients

- Le fluide "air" peut perturber en foration les observations relatives à la qualité du fluide d'un niveau producteur par oxydation d'éléments ou en occultant des venues de gaz. La confirmation de la qualité du fluide (eau et gaz) d'un niveau producteur doit fréquemment être réalisée par pompage associé.
- Risque de formation de bouchons de cuttings, nécessitant de fréquents nettoyages du trou par soufflage. Ce phénomène n'existe pas lorsque l'ouvrage est totalement sec ou lorsque le débit des niveaux producteurs est suffisant pour permettre un bon nettoyage par circulation.
- Mauvaise identification de chaque niveau producteur en cours de foration, le fluide recueilli en tête d'ouvrage intégrant l'ensemble des horizons traversés. [17]

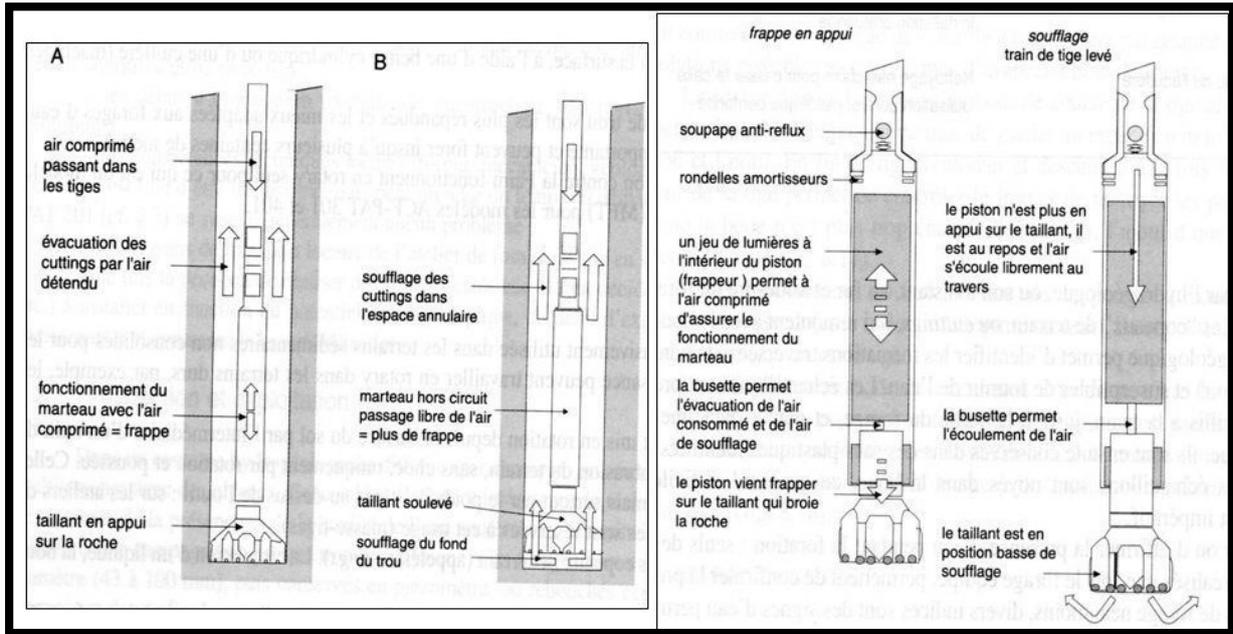


Figure II.7 : Technique de MFT. [17]

II.6.3 Forage par le rotary

Le rotary est une méthode qui applique la rotation et le broyage. Le forage au rotary permet d'atteindre de grandes profondeurs, cette méthode peut être utilisée pour des forages verticaux et même obliques, le forage au rotary nécessite l'utilisation d'un fluide composé d'eau et d'argile formant une boue afin de remonter les déblais en surface.

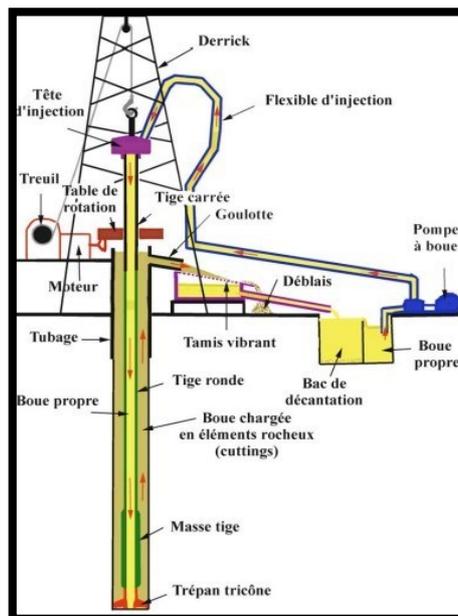


Figure II.8 : Machine Rotary.

Il a des avantages et des inconvénients :

A. Les avantages

- La perméabilité de la formation autour du trou est peu perturbée par le fluide de forage.
- Les forages de grands diamètres sont exécutés rapidement et économiquement.
- Pas de tubage pendant la foration.
- Facilité de mise en place de la crépine.
- Bons rendements dans les terrains tendres.
- Consommation de l'énergie économique.

B. Les inconvénients

- Nécessite beaucoup d'eau.
- Nécessite un grand investissement (matériel très importants).
- Les sites accessibles peuvent être forés avec ce matériel lourd.

II.7 Implantation du forage

Pour choisir le meilleur site pour un forage, il faut prendre en compte les questions techniques, environnementales, sociales, financières et institutionnelles.

Le processus d'implantation doit dépendre des caractéristiques en eau souterraine qui prévalent dans la zone considérée et conduire à un type de forage adapté aux conditions locales.

[17]

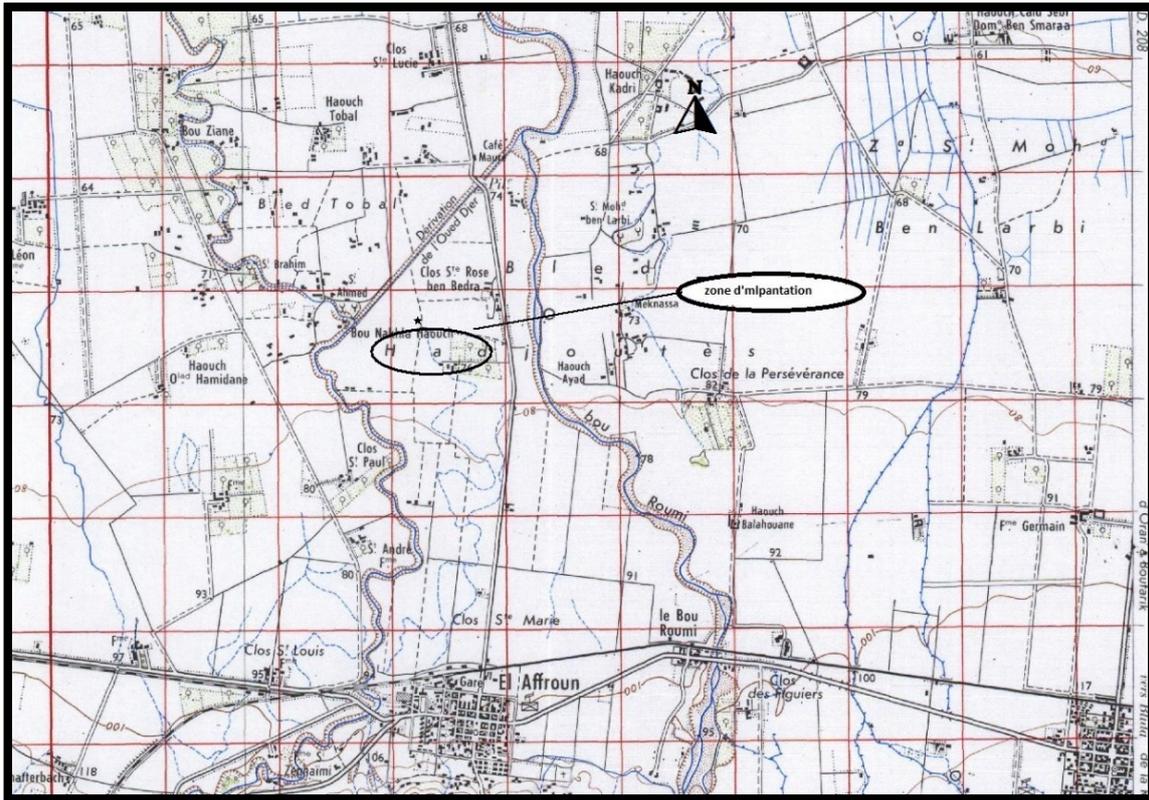


Figure II.9 : Carte de situation du site d'implantation.

II.7.1 Principe de la méthode

La méthode de foration 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. [19]

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. Les tiges sont creuses et permettent l'injection de boue au fond du forage. [19]

Les outils utilisés en rotation sont des trépans 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). [19]

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 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). [19]

II.7.2 La boue de forage

On utilise dans cette méthode un fluide de circulation s'appelle la bentonite.

La bentonite est une roche argileuse d'origine volcanique malléable et très absorbante, il faut doser entre 15 et 30kg par m³ d'eau, elle a plusieurs rôles :

- Refroidir l'outil de forage.
- Faciliter le travail de l'outil sur la roche.
- Remonter les déblais depuis le fond de trou à la surface.
- La formation d'une couche protectrice le cake pour la stabilité de parois. [20]

II.7.3 Description de la machine

Il existe deux types de procédés de forage rotary :

- foreuse à tête de rotation.
- foreuse à table de rotation. [20]

A. Foreuse à tête de rotation

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

B. 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 la tige carré.

II.7.4 Equipements de la machine

II.7.4.1 Equipement de levage

A. Le mat

C'est une structure en forme de A. Il a la particularité d'être articulé à sa base ce qui lui permet d'être assemblé ou démonté horizontalement puis relevé en position verticale en utilisant le treuil de forage et un câble de relevage spécial. [19]



Figure II.10 : Le mat.

B. Le palan

C'est un mécanisme de transmission du mouvement constitué de deux moufles, l'un fixe, l'autre mobile, contenant chacun un nombre arbitraire de poulies, et d'une corde qui les relie.

Il sert à réduire l'effort nécessaire (ou démultiplier la force utilisée) pour rapprocher les deux groupes de poulies, il comprend : [19]

C. Le 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.

D. Le moufle mobile (travelling block)

Formé également d'un certain nombre de poulies par lesquelles passe le câble de forage, 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.

E. Le câble

Il est constitué de plusieurs torons disposés en spirale autour d'une âme, chaque toron est constitué de plusieurs fils calibrés, également disposés en hélice sur plusieurs couches.

II.7.4.2 Equipement de rotation

Il est constitué d'une table de rotation, d'une tige d'entraînement à section carré (Kelly) ainsi que d'une tête d'injection qui peut être motorisée (Top Drive). [19]

A. Tige d'entraînement (Kelly)

De section carrée, hexagonale ou triangulaire, elle est entraînée en rotation par la table.

B. Tête d'injection motorisée (Top Drive, Direct Drive)

Comme son nom l'indique, il s'agit d'une tête d'injection qui remplit les mêmes rôles que les têtes d'injection conventionnelles (assurer le passage de la boue de forage venant d'une conduite fixe des flexibles d'injection dans une conduite animée d'un mouvement de rotation), mais en plus, sert de transmission mécanique sur l'arbre rotatif. La motorisation peut être par moteur électrique ou bien par moteur hydraulique, cette dernière version moins traditionnelle nécessite l'installation d'une unité hydraulique spécifique. Ainsi, on n'a besoin ni de la tige d'entraînement ni de la table de rotation pour faire tourner la garniture, c'est le top drive qui s'en charge.

II.7.4.3 Table de rotation (Rotary table)

Pour faire tourner l'outil, on visse au sommet des tiges, de forme cylindrique, une autre tige de section carrée ou hexagonale, appelée tige d'entraînement (Kelly), et on l'introduit dans un moyeu appelé table de rotation, elle tourne à des vitesses 40 à 500 tr/min. [19]



Figure II.11 : Table de rotation.

II.7.4.4 Table de commandes

Contrôler la vitesse de rotation, la descente et la montée des tiges. [19]



Figure II.12 : Table de commande.

II.7.4.5 Pompe à boue

Les équipements de pompage et de circulation assurent l'acheminement du fluide de forage (la boue) depuis l'aspiration de la pompe jusqu'au retour aux bassins.

La boue est fabriquée dans des bassins de grande capacité, elle est ensuite aspirée par des pompes (pompes à boue) et refoulée dans les tiges creuses (au niveau de la tête d'injection), elle descend le long de la garniture de forage, sort par les orifices de l'outil, remonte dans l'espace annulaire entre la garniture de forage et le puits jusqu'en surface. Là, elle est recueillie dans un tube vertical (tube fontaine), puis acheminée par un autre horizontal (goulotte) vers des tamis vibrants, pour être débarrassée des déblais, avant d'être réinjectée dans le puits. [19]



Figure II.13 : Pompe à boue.

II.7.4.6 Treuil

Assur la transmission de la puissance adéquate à partir des moteurs pour permettre le levage a des vitesses différentes. [20]



Figure II.14 : Le treuil.

Le treuil de mouflage est le moyen de démultiplication le plus répandu et le plus simple pour lever de lourds charges. [20]



Figure II.15 : Treuil de mouflage.

II.7.4.7 Masse tige (drill Colar)

Il s'agit d'une série de tubes massifs en acier dont le rôle est d'assurer une poussée suffisante sur l'outil. Par conséquent, pendant la phase de forage, le train de masses-tiges est en partie, voire en totalité, en état de compression. [19]

II.7.4.8 Tige de forage (drill pipe)

C'est la partie la plus longue de la garniture, elle est constituée d'une série importante de tubes minces d'acier qui s'étendent jusqu'à la surface et dont le rôle est de transmettre le couple vers l'outil et de soutenir plus ou moins le train de masses tiges. Chaque tige est munie à ses extrémités de renflements appelés tool-joint (TJ) servant pour le vissage des tiges entre elles et comme points d'appui du train de tiges sur la paroi de puits. [19]



Figure II.16 : Tiges d'entraînement.

II.7.4.9 BHA (Bottom Hole Assembly)

L'assemblage de fond ou BHA (Bottom Hole Assembly) est la partie inférieure de la garniture de forage, elle est principalement constituée de l'outil de forage, des masses tiges et des stabilisateurs. La BHA a un effet prépondérant sur le comportement directionnel du système de forage. [19]

II.7.5 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 quelque kilogramme à plusieurs centaines de kilogrammes. On distingue différents types d'outils de forage : [20]

A • couronnes : qui sont des tiges, améliorées ou non, munies de dents ou de picotes.

B • tricônes : outils montés par trois cônes rotatifs ou molettes (libre) munis de picots pour les terrains durs

C • trillâmes : outils montés par trois lames en chevron pour les terrains les plus argileux et en gradin ou escalier pour les terrains plus durs.



Figure II.17 : Tricône.



Figure II.18 : Trillâmes.

II.7.5.1 Les équipements auxiliaires

Composés des stabilisateurs (incorporés à la garniture de forage au niveau des masses tiges afin de garder le contrôle sur la trajectoire de l'outil), des amortisseurs de choc, et des raccords divers. [19]



Figure II.19 : Raccords (tool-joint). [19]

II.8 Généralité sur les diagraphies

II.8.1 Définition de diagraphie

Les diagraphies sont des techniques géophysiques mise en œuvre à l'intérieure d'un forage .le rayon du volume d'investigation n'est beaucoup plus grand que celui du forage. [18]

Elles servent à mesurer en place un paramètre physique caractéristique du terrain, avec la meilleure résolution verticale possible. [18]

Les diagraphies sont enregistrées lors d'un arrêt ou en fin de forage. et les paramètres mesurés ne sont accessibles qu'avec certain retard sur l'exécution du forage d'où le nom de diagraphies différées. Des outils conçus dans ce but, sont descendus dans le trou de forage à l'extrémité d'un câble qui assure la liaison avec les instruments de surface commandant les opérations, et groupés soit dans un camion, soit dans une cabine fixe. [21]

II.8.2 Le but des diagraphies

Les diagraphies permet d'avoir des informations très importantes aussi bien quantitative que qualitative sur l'estimation de certains paramètres géométriques, physico-chimiques et hydrodynamiques telles que :

- épaisseur des couches, la porosité et la minéralisation...etc.
- L'évaluation du pourcentage d'argile dans les formations perméables.
- La détermination des formations perméables et imperméables.
- Localisation des zones de perte de boue ou de venue d'eau.
- Le contrôle de la cimentation.
- Et enfin, l'établissement de l'assemblage des logs pour la corrélation entre eux afin d'arriver définir et caractériser les différents réservoirs dans la région d'étude. [21]

II.8.3 Les paramètres influençant les mesures

Ce sont des paramètres liés essentiellement aux conditions de forage. Ils ont une influence positive ou négative sur les enregistrements des diagraphies ; la connaissance de ces paramètres nous permet d'avoir une meilleure interprétation. [21]

A. Diamètres de sondage

Le diamètre de sondage n'est pas constant le long de forage, il varie selon le type et la nature des formations traversées. [21]

B. boue de forage

Elle a une influence directe sur la réponse des outils, due au diamètre de trou (plus est grand plus le volume de fluide entourant l'outil est important et plus la mesure en est affectée). [21]

C. tubage et cimentation

Cette influence ce ressent dans le cas où le trou est tube et cimenté, et qui ne permet pas l'enregistrement de certaines diagraphies. [21]

D. vitesse d'enregistrement

La vitesse maximale d'enregistrement dépend essentiellement du paramètre enregistré, elle varie selon le type d'outil utilisé (chaque outil a une vitesse maximale qui ne doit pas être dépassé. [21]

E. température et pression

La température et la pression augmentant avec la profondeur donc, les outils utilisés doivent pouvoir supporter ces variations au cours de leur descente dans le trou, c'est pourquoi chaque outil à ses propres conditions limites d'utilisation. [21]

II.8.4 Les différents types de diagraphies enregistrées et leurs applications

II.8.4.1 Diagraphie gamma ray

Ces diagraphies peuvent être enregistrées en trou ouvert et en trou tubé, puisque les rayons gamma traversent suivant leur énergie une épaisseur plus ou moins importante d'un matériau en fonction de sa nature (densité).

Cette diagraphie mesure à l'aide d'un compteur à scintillation descendu au bout d'un câble, les rayons gamma naturelle émis par les formations traversés par le forage son symbole est le GR est son unité est l'API. [21]

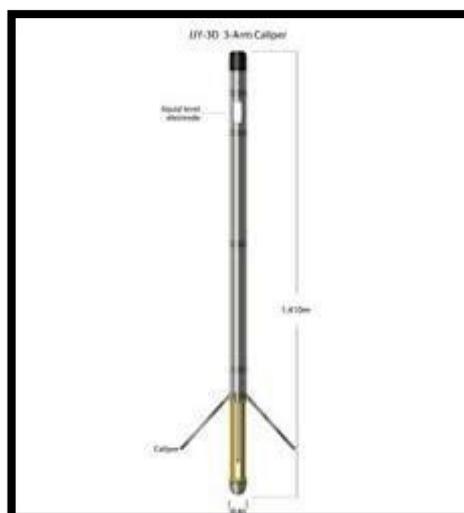


Figure II.20 : Sonde de mesure le gamma ray. [21]

Application

- Evaluation du contenu d'argile Vsh.
- La détermination de la lithologie, en établissant un profil lithologique vertical.
- Courbe de référence pour le calage des diagraphies en profondeur.
- Estimation du pourcentage d'argile des réservoirs.
- Les corrélations entre sondages et la détection de discordances.
- Evaluation des minéraux radioactifs.
- Une approche de la perméabilité.

II.8.4.2 Diagraphie de résistivité

Les diagraphies de résistivité dépendent de la composition de la roche en élément solide et la nature des fluides contenus.

Le principe de mesure consiste à envoyer un signal par une source émettrice d'énergie (courant électrique ou champ magnétique), qui pénètre la formation et enregistrant la différence du potentiel (D.D.P) par un dispositif de mesure (récepteur), situé à une certaine distance de la source dite : espacement.

La résistivité électrique des roches dépend de :

- La qualité de l'électrolyte (résistivité de l'eau d'imbibition R_w quantité de sels dissous).
- De la quantité d'électrolyte contenue dans l'unité de volume de la roche.
- Du mode de distribution des électrolytes
- Dans les roches, c'est le plus souvent l'eau qui joue le rôle de conducteur plus l'eau est abondante, plus S est grande (porosité et saturation), plus les connections entre pores sont directes plus (L) est petite. [21]

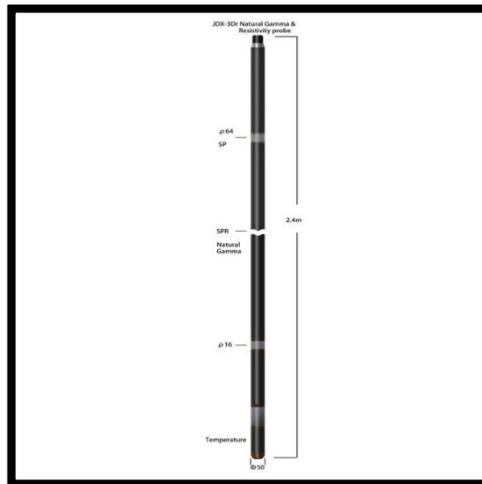


Figure II.21 : Sonde mesure la résistivité. [21]

Application

- Identification des hétérogénéités latérales
- La détermination des différentes résistivités R_t et R_{xo} .
- Descriptions quantitative de la résistivité dans l'invasion radiale et l'évaluation du volume de filtrat de boue.
- Autodétermination de résistivité de boue ou de diamètre de trou.
- Correction de l'effet de trou.
- Concevoir un contrôle de qualité. [21]

II.8.4.3 Diagraphie de porosité

Elle englobe trois types de porosité :

- A. Porosité neutron.
- B. Porosité densité.
- C. Porosité sonique. [21]

Conclusion

Les techniques de reconnaissance (géophysique appliquée) sont utilisées pour la recherche et l'exploitation des eaux souterraines : La géophysique et La diagraphie.

CHAPITRE III :
Opérations de suivi de la
réalisation du forage (F2) D'EL
AFFROUN



III. Introduction

Toutes les opérations de e réalisation du forage (F2) programmé par le DRE de Blida que nous avons suivi sont exposées ci-dessous :

III.1 Installation du chantier

L'opération de réalisation commence par :

- L'amenée de la foreuse.
- Installation de la machine (terrassment du site afin d'aplanir le terrain).

III.2 Installation de la machine

Après l'installation de la machine, des bassins ont été creuse au même moment que l'installation.



Figure III.1 : Installation de la machine.

III.2.1 Les bassins

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

III.2.1.1 Bassin de décantation

Le premier bassin dit bassin de décantation qui reçoit la boue évacuée par la sondeuse lors de la formation pour la décantation de la boue.

Largeur = racine cubique (volume du forage en $m^3 \times 2 / (2.125 \times 7.5) = 1.47m$

Longueur = $2.5 \times \text{largeurs} = 3.67m$

Profondeur = $0.85 \times \text{largeurs} = 1.22m$

Le volume de la fosse de décantation est : largeur * longueur * profondeur = $6.58m^3$

Volume de forage = $(\pi * D^2 * H) / 4 = (3.14 * ((12'' * 2.54 * 10^{-2})^2 * 240) / 4 = 17.50m^3$.

III.2.1.2 Bassin de la boue (liquide de circulation)

Le deuxième bassin pour le pompage est prévu pour recevoir la boue décantée pour être pompée dans la sondeuse (injectée dans le train de tige).

Largeur = racine cubique (volume du forage en $m^3 * 2 / (2.125 * 7.5) = 1.47m$.

Longueur = $1.25 * \text{largeur} = 1.83m$.

Profondeur = $0.85 * \text{largeur} = 1.22m$.

Le volume de la fosse de pompage est : $3.28m^3$.



Figure III.2 : Bassin a boue.

III.2.2 La boue du forage

La boue utilisée est composée d'argile en poudre appelée la bentonite dosée entre 15 à 30kg par m³ d'eau de densité 2.6.



Figure III.3 : Sac de la bentonite.

III.3 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 26'' (660.4mm) et de profondeur de 40m.
- ✓ **La 2^{ème} étape :** placer un tube en TNRS de diamètre 24'' (609.6mm) sur une profondeur de 40m.
- ✓ **La 3^{ème} étape :** une cimentation de 40m pour éviter les problèmes d'infiltration latérale et le glissement des parois avec un ciment qui s'appelle HTS qui peut résister à l'agressivité du sol.



Figure III.4 : Tube guide.



Figure III.5 : Ciment HTS.

III.4 Forage de reconnaissance

Le forage de reconnaissance a été réalisé avec un outil de 12 “ (304.8mm) jusqu'à 240m après intervient les deux opérations suivantes :

- Les examens des cuttings.
- Opération de diagraphie.



Figure III.6 : Outil utilisé pour le forage de reconnaissance.

III.4.1 Prélèvement des échantillons (examens des cuttings)

La circulation de la boue permet de fournir des échantillons broyés à la surface.

L'échantillon final est rincé puis placé dans des sachets en plastique avec des étiquettes numérotées par ordre voir le tableau :

Tableau III.1 : Description de la lithologie des cuttings.

Profondeur(m)	Nature de la couche
0-2	Terre végétale
2-35	Gravier riche au sable
35-52	Argile
52-65	Gravier moyen
65-85	Argile

85-95	Gravier moyen peu argileux
95-110	Argile graveleux
110-120	Gravier
120-135	Argile
135-156	Gravier moyen
156-165	Argile
165-175	Gravier
175-200	Argile peu graveleux
200-240	Sable
240-248	Argile sableuse



Figure III.7 : Les cuttings (examen d'échantillon de sol)

III.5 Reconnaissance géophysique par diagraphie

Cette opération permet de localiser avec précision les zones productrices d'eau et définir le positionnement des tubes (crépine et plein).

La diagraphie mesure verticalement et lentement la résistivité, la polarisation spontanée et gamma ray de différentes couches de trou de forage.



Figure III.8 : Matériels utilisés dans la diagraphie.

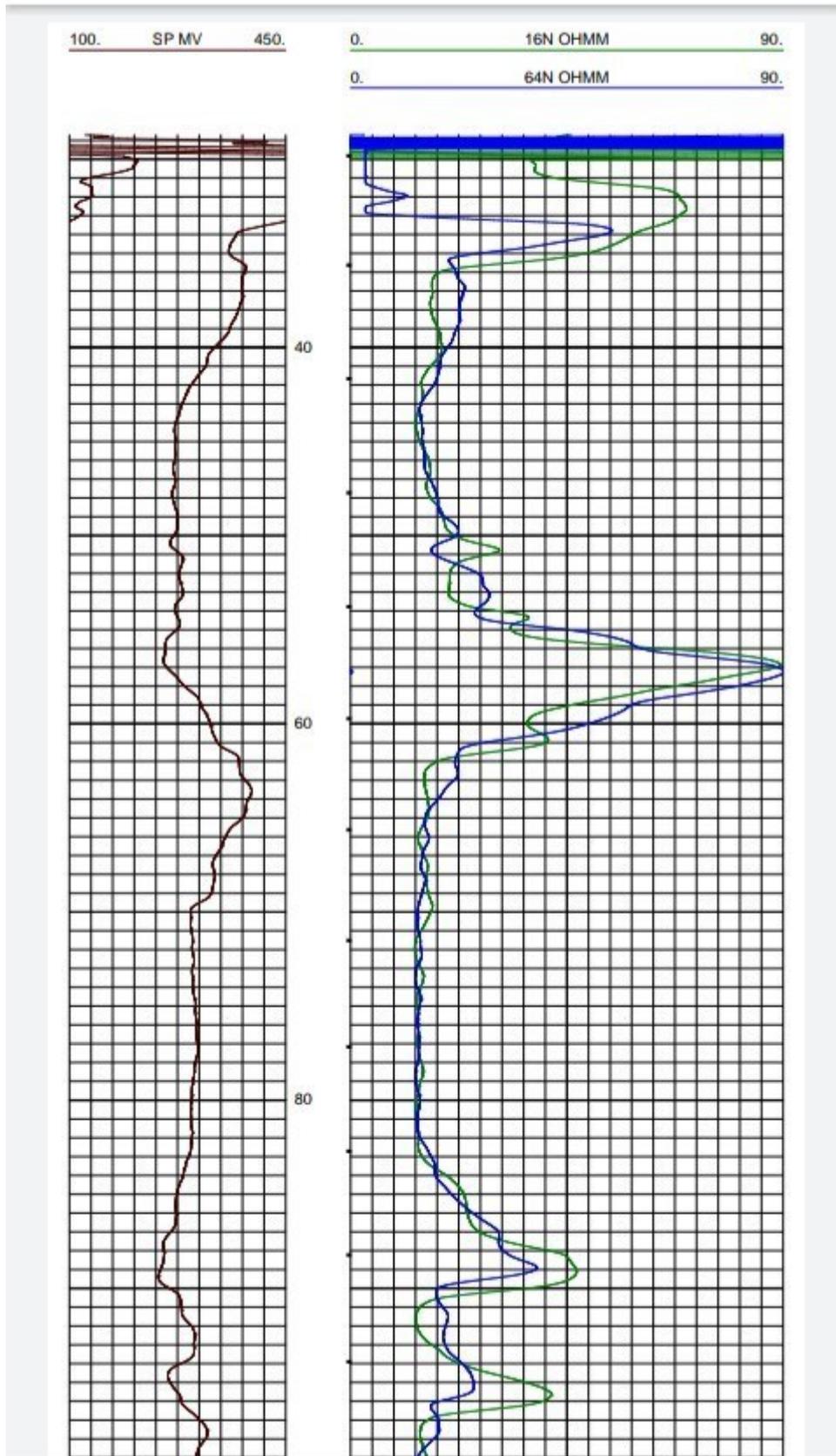
III.5.1 Présentation de l'enregistrement

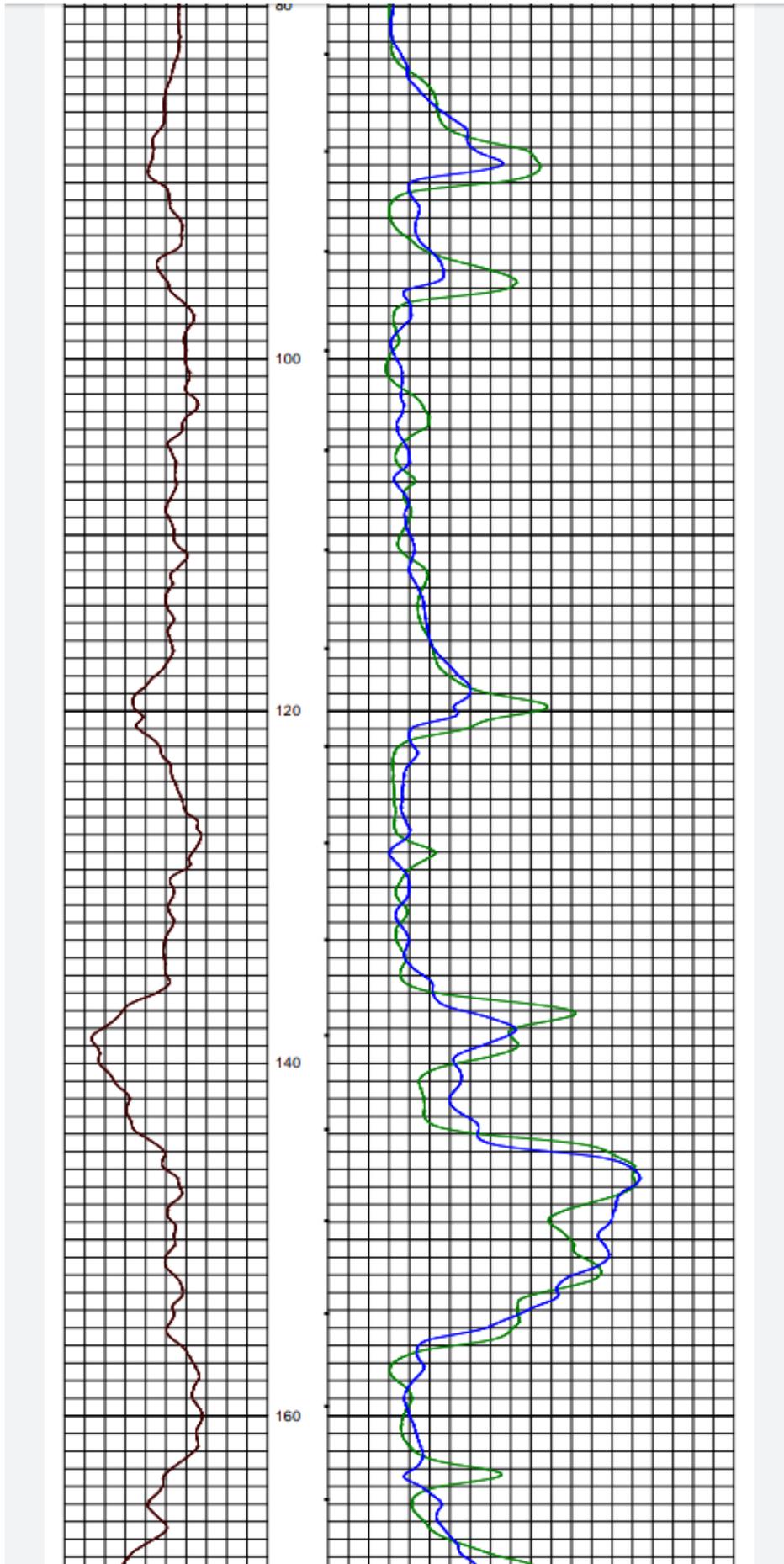
Le but de cette opération consiste à la mesure de :

- Le potentiel et la résistivité électrique des couches.
- Avoir la nature géologique des couches.

Les résultats de l'enregistrement sur notre forage sont présentés sur les figures suivantes :

- Polarisation spontané.
- Les résistivités électriques 16N OHMM- 64N OHMM.





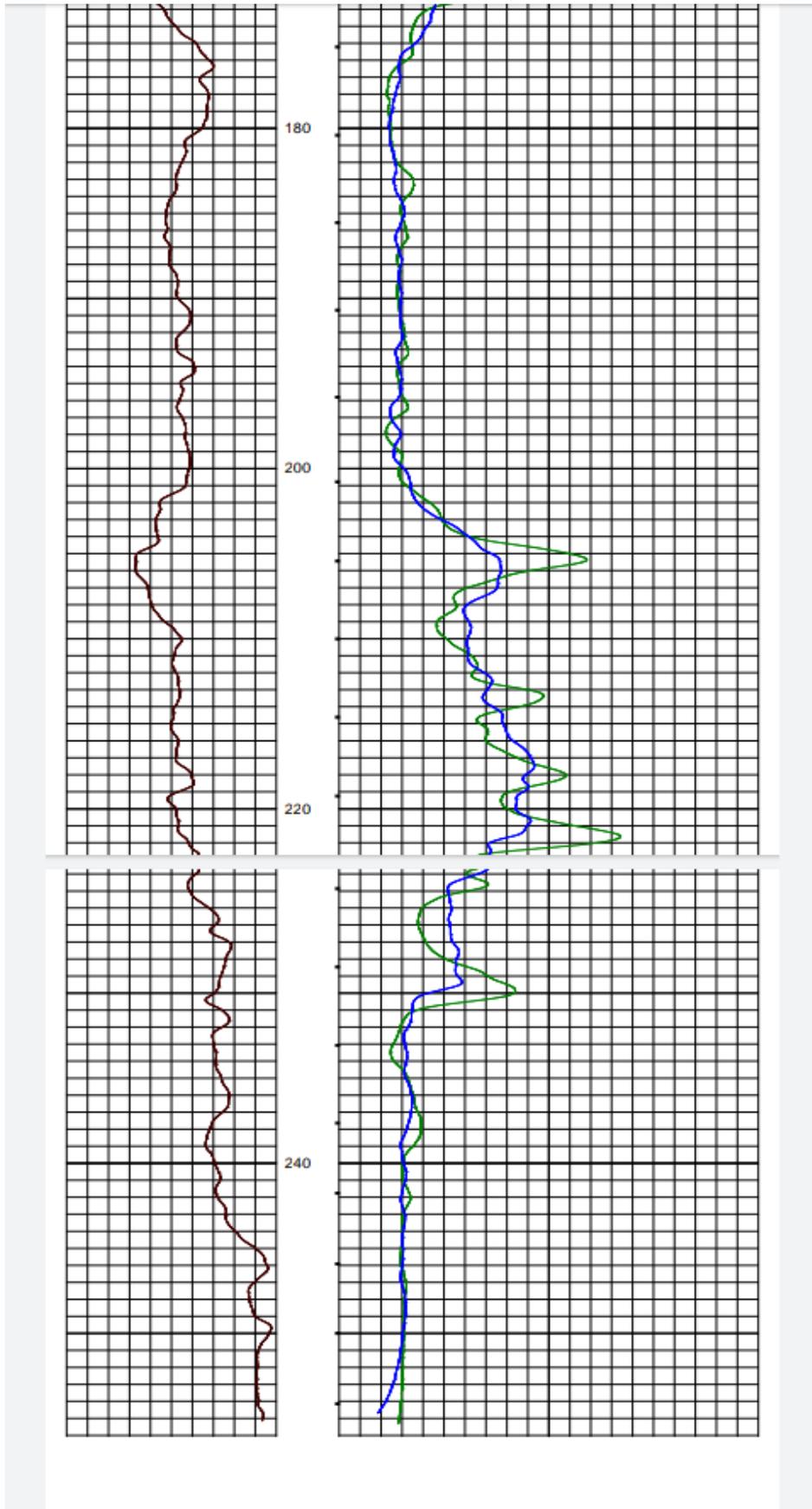


Figure III.9 : Enregistrement diagraphique.

III.5.2 Interprétation de l'enregistrement de la diagraphie

III.5.2.1 La résistivité

La résistivité d'un matériau représente sa capacité à s'opposer à la circulation du courant électrique elle est exprimée en (ohm.m).

D'après l'enregistrement de diagraphie on distingue les zones suivantes :

Zone 1 :

36m à 48m ; 61m à 82m ; 91m à 93m ; 97m à 111m ; 122 à 200m

On remarque que la résistivité de la GN (64'') et PN (16'') marque une moyenne à faible valeur dans cette zone entre (13.5 à 18 ohm.m), ce qui signifie une infiltration car le terrain est perméable, une formation sableux perméable.

Zone 2 :

48m à 61m ; 82 m à 91 m ; 93m à 97m ; 11m à 122m ; 200m à 223m

On remarque que la résistivité de la GN (64'') et PN (16'') marque une valeur élevée dans cette zone entre (18 à 90 ohm.m), et une valeur très élevée sur la cote 57 m, une formation argileuse imperméable.

On conclut donc que notre forage est intéressant a captée et on peut passer à l'élargissement.

III.6 Opération décente tubage

III.6.1 Nettoyage du forage avant le tubage

Avant la mise en place des tubes on passe par une étape très importante qui consiste à purifier le forage des débris, par la pompe à boue.



Figure III.10 : Le nettoyage.

III.6.2 Opération programme de tubage

Afin de proposer en programme d'Equipment au forage(F2) on a interprété l'analyse des cuttings plus l'enregistrement diagraphique, ce qui permet d'établir un programme du tubage (Tube pleine, Tube crépine) et de processus a l'élargissement au forage de reconnaissance.

L'opération d'élargissement soit faite du haut vers le bas avec un diamètre de 17' et 19' jusqu'à la profondeur de 248m.

Le programme de tubage propose comme suit :

- Nature : PVC
- Diamètre : 250 mm
- Pn= 20 bar
- Epaisseur = 20 mm

Tableau III.2 : Programme de tubage.

Profondeurs (m)	Tube
0-104	Plein

104-120	Crépine
120-136	Plein
136-156	Crépine
156-164	Plein
164-176	Crépine
176-180	Plein
180-188	Crépine
188-200	Plein
200-224	Crépine
224-228	Plein
228-244	Crépine
244-248	Plein avec sabot

Un tube plein

Est un tube solide sans aucun trou ou ouverture à travers lequel un fluide peut circuler. Il est utilisé pour transporter des liquides ou des gaz d'un point à un autre.

Un tube crépine

En revanche, est un type spécifique de tube utilisé dans les systèmes de filtration ou de pompage. Il est généralement fabriqué en acier inoxydable ou en plastique et possède de petites ouvertures, appelées crépines, qui permettent au fluide de passer à travers tout en retenant les

particules solides. Les tubes crépines sont utilisés dans les puits d'eau, les pompes submersibles, les filtres à eau et d'autres applications où il est nécessaire de filtrer les particules indésirables du fluide tout en le laissant passer.

En résumé, un tube plein est un tube solide sans ouverture, tandis qu'un tube crépine est un tube avec de petites ouvertures pour filtrer les particules solides du fluide qui le traverse.



Figure III.11 : Tube plein.



Figure III.12 : Tube crépine.

III.7 Massif gravier

III.7.1 Le massif filtrant (gravier additionnel)

Le gravier additionnel a été injecté après la descente de tubage et la circulation de la boue, le gravier d'une taille de diamètre **3mm** et la nature de ce dernier est calibré (rond, siliceux) et bien lavé.

III.7.2 Rôle du massif filtrant

Le rôle du gravier additionnel est d'augmenter les débits d'exploitation, de diminuer les vitesses d'écoulement, et d'éviter le risque d'érosion en évitant l'entrée des sables fins. Dans la pratique, le gravier additionnel est défini par la granulométrie de la formation et par l'ouverture de la crépine. Il doit être uniforme, propre, calibré et siliceux de préférence.

Le gravier descend dans l'espace annulaire le long du tubage. Une remontée de boue par le tube de forage indique une descente correcte du gravier. Lorsque le niveau du gravier atteint le haut des crépines, la boue ne remonte pas par le tube mais par l'espace annulaire : le massif de gravier doit alors dépasser le haut des crépines sur quelques mètres.



Figure III.13 : Le massif filtrant.

III.7.3 Mise en place de massif filtrant

La pratique habituelle consiste à former un espace annulaire de 2 à 5 pouces (5 à 13 cm) de largeur pour le massif filtrant.

Avant d'introduire le massif filtrant dans l'espace annulaire, il faut calculer le volume de l'espace annulaire.

III.8 Développement

Le développement d'un forage consiste, à améliorer la perméabilité et la formation aquifère située autour de la crépine et à stabiliser cette formation. Il faut savoir que la mise en production immédiate d'un ouvrage sans développement aurait des conséquences fâcheuses :

- Elle ne permettrait pas d'obtenir le débit optimal pouvant être fourni par l'aquifère.
- Elle entraînerait très certainement d'importantes venues de sable (risques de dommages à la crépine et à la pompe, de colmatage, de tassement du massif de gravier).

Le développement est donc destiné à parfaire le nettoyage du trou, de la crépine et du massif de gravier et à améliorer les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère autour de la crépine, et d'éliminer le **cake** déposé par la boue sur les parois, dans le but d'augmenter le débit exploitable et de produire une eau propre.

Le développement a été fait à l'aide d'un compresseur de **20bar**.

III.8.1 Opération de développement à l'aire lifte

Après la descente de tubage on a procédé de développement de forage à l'aide d'un compresseur de 20 bar.

Le programme de développement l'air lift du forage avec niveau statique 78m comme suite :

Tableau III.3 : Programme de développement.

palier	Tube d'eau(m)	Tube d'air(m)
1	88	75
2	100	90
3	115	101
4	125	118
5	145	130
6	160	150
7	180	175
8	200	195
9	220	210
10	245	235

L'opération de développement est arrêté jusqu'à l'obtention d'une eau claire.

III.8.2 Traitement chimique du forage

Après le développement et afin de nettoyer le forage, 300kg d'héxametaphosphate a été injectée dans le forage est laisser réagie pendant 24h.

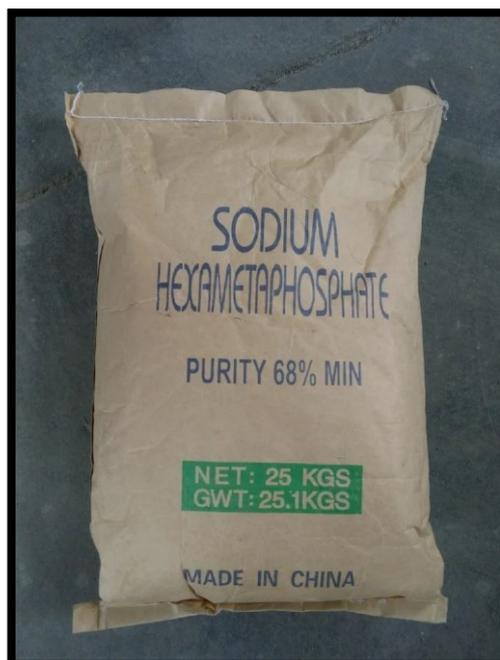


Figure III.14 : L'hexametaphosphate.

III.9 Les essais de pompage

L'opération de l'essai de pompage vient de finaliser toutes les opérations décrite ci-dessus. Il consiste à abaisser par pompage la surface piézométrique de la nappe et à mesurer, en fonction du temps, les variations du niveau de cette surface ainsi que le débit pompé. Le pompage est effectué dans un puits et l'évolution dans le temps de la surface piézométrique est suivie au moyen de piézomètres implantés aux alentours du puits. L'essai permet de déterminer :

- Le niveau statique de forage.
- Le niveau dynamique.
- La transmisivité (T) et coefficient d'emmagasinement (S).

III.9.1 Observation de niveau d'eau

Pour observer le niveau d'eau on utilise la sonde piézométrique manuelle est le moyen le plus pratique.

On descend la sonde piézométrique dans le forage lorsqu'elle atteint la surface d'eau, émet un courant électrique et le niveau d'eau peut être lu sur un ruban gradué.

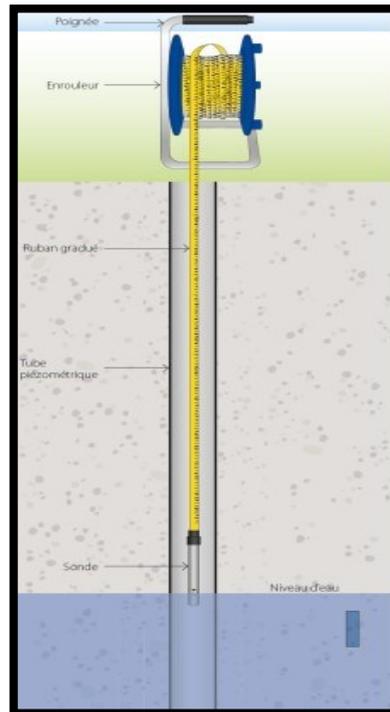


Figure III.15 : Sonde piézométrique.

III.9.2 Observation des débits

- **Débitmètre** : est un appareil destiner à mesurer la vitesse du fluide.

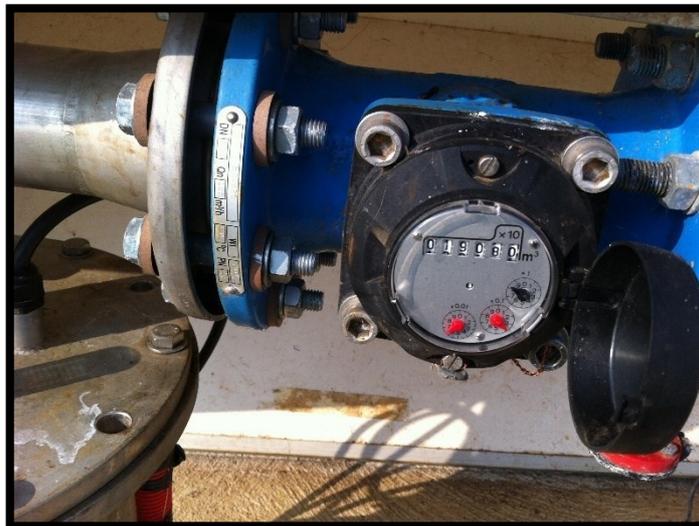


Figure III.16 : Un débitmètre.

III.9.2.1 Essai par palier (courte durée)

Le forage à subir un essai de débit dans le but est de déterminer le débit maximum d'exploitation et le rabattement correspondant ou admissible d'une part et le dimensionnement

des caractéristiques de l'équipement électromécanique, d'autre part. Pour cela, trois paliers de 8h de durée ont été réalisés. Les résultats obtenus sont compilés dans le tableau suivant : [23]

Le niveau statique NS=78m.

Tableau III.4 : Résultat des essais de pompage court durer.

palier	Débit (l/s)	Rabattement(m)
1	5	10
2	10	15
3	15	25
4	25	55
5	35	80

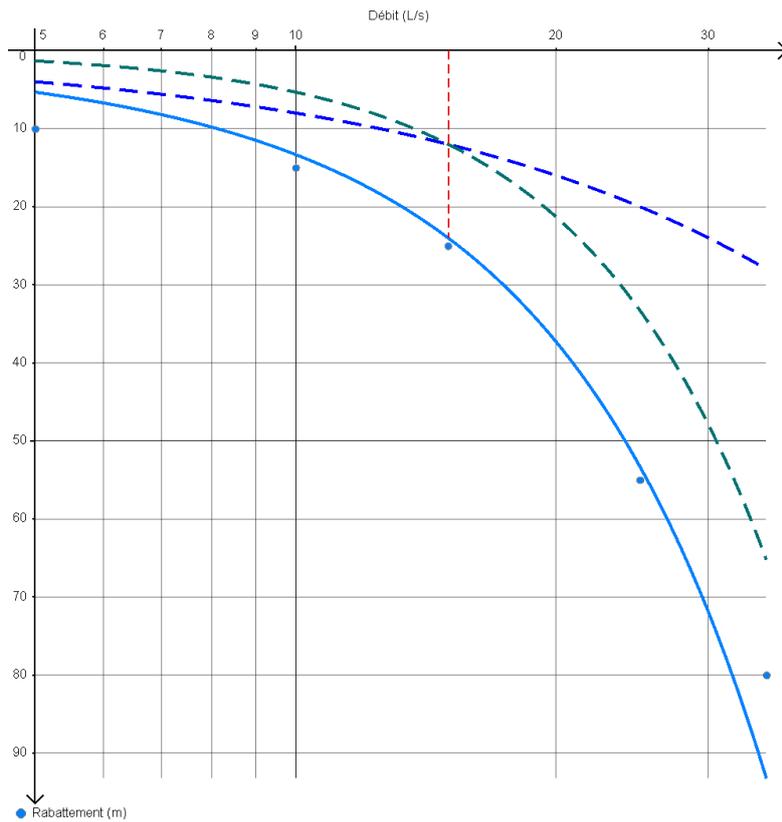


Figure III.17 : Courbe caractéristique du forage suivi.

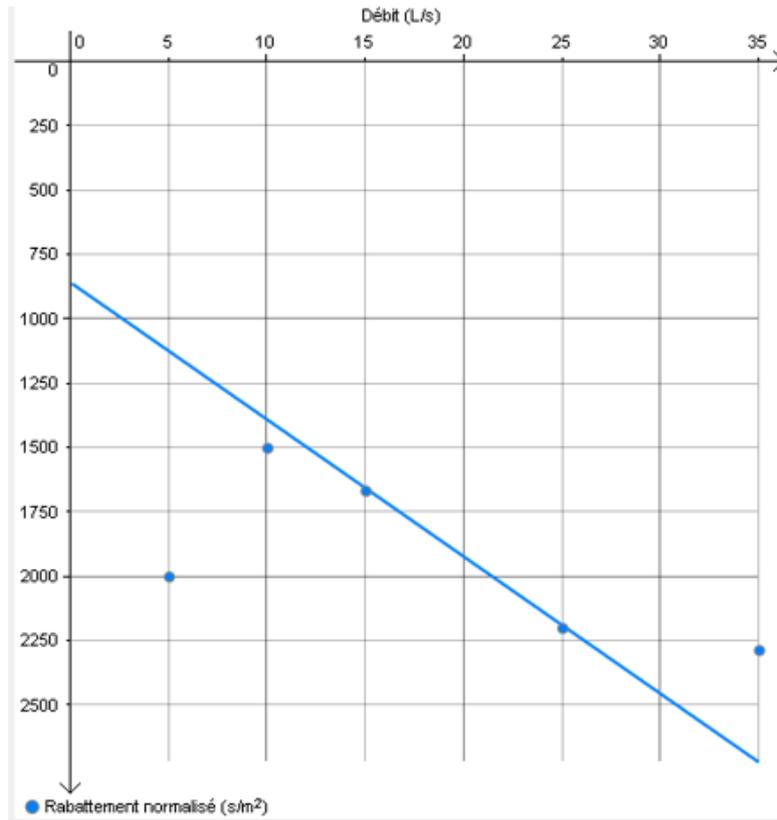


Figure III.18 : Rabattement spécifique.

Chaque palier est séparé par un arrêt identique de 10 h, afin de permettre la remontée des eaux à son niveau initial. L'essai de débit permet de tracer une courbe caractéristique ou courbe débit/rabattement représentant la fonction $S = f(Q)$ en portant sur un graphique linéaire, les débits sur l'axe des abscisses et les rabattements sur l'axe des ordonnées. Cette dernière permettra de déterminer le point d'inflexion, qui correspond au débit maximum et au rabattement maximum.

➤ Débit critique $Q_c = 15.02 \text{ l/s}$

➤ Rabattement correspondant $S = 24.03 \text{ m}$

III.9.2.2 Les essais de pompage long duré

Il s'agit d'une méthode utilisée dans le domaine de l'hydrogéologie pour évaluer les caractéristiques d'un aquifère, telles que la capacité de production d'eau, la perméabilité et la réponse de l'aquifère au pompage sur une période prolongée.

Lors d'un essai de pompage de longue durée, un puits est utilisé pour extraire de l'eau de l'aquifère pendant une période prolongée, généralement de plusieurs jours à plusieurs

semaines. Les données recueillies pendant cette période sont ensuite analysées pour évaluer le comportement de l'aquifère et estimer ses propriétés hydrauliques. [23]

III.9.3 Principe théorique et pratique d'un essai de pompage

III.9.3.1 Etude de rabattement pendant le pompage

Quand le pompage consiste d'un débit constant et une piézométrie et une distance R. [23]

Equation de JACOB :

$$\Delta = 0.183 \frac{Q}{T} Lg \frac{2.25.T.t}{r^2.S}$$

On a : T et S sont des inconnus

$$\Delta = a(lgb + lgx)$$

$$y = ax + c$$

Détermination de la transmissivité T :

Pente du droit :

$$a = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{lgt_2 - lgt_1} = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{lg \frac{t_2}{t_1}}$$

Donc :

$$T = 0.183. Q \frac{lg \frac{t_2}{t_1}}{\Delta_2 - \Delta_1}$$

Détermination coefficient d'emmagasinement S :

Par conséquent, si l'on porte les rabattements Δ en fonction du logarithme du temps t, on obtient une ligne droite. On prolonge cette ligne jusqu'à l'axe des abscisses, et le point d'intersection. [23]

Pour $\Delta = 0$ et $t = t_0$. On obtient :

$$0 = 0.183 \frac{Q}{T} Lg 2.25 \frac{T t_0}{r^2 S}$$

$$0.183 \frac{Q}{T} \neq 0$$

$$\text{Et } \frac{2.25Tt_0}{r^2 S} = 1$$

Donc :
$$S = \frac{2.25Tt_0}{r^2}$$

Avec : Δ = rabattement (m), T = transmissivité (m²/s), r = distance à l'axe du forage (m),

Q = débit de pompage (m³/s), S = coefficient d'emmagasinement, t = temps de pompage (s).

Remarque

Une tentative de réalisation d'un essai de long durée au niveau du forage F2 d'El Affroun a été effectuée, afin de déterminer les paramètres hydrodynamique de la nappe.

Malheureusement l'entreprise a mal réalisée le test.

CHAPITRE IV :
Analyse hydrochimique des
eaux souterraine des forages
D'El Affroun



IV. Introduction

L'étude de l'hydrochimie des eaux souterraines présente plusieurs intérêts importants. Voici quelques-uns des principaux : [24]

IV.1 Gestion des ressources en eau

L'hydrochimie des eaux souterraines permet de comprendre la composition chimique de ces ressources précieuses. Cela permet de déterminer la qualité de l'eau, d'identifier d'éventuelles contaminations et de suivre les variations temporelles de la composition chimique. Ces informations sont essentielles pour une gestion durable des ressources en eau souterraine et pour prendre des décisions éclairées concernant leur utilisation. [24]

IV.2 Préservation de la santé publique

L'hydrochimie des eaux souterraines est liée à la santé publique car l'eau souterraine est souvent utilisée comme source d'eau potable. En analysant la composition chimique de l'eau, il est possible de détecter la présence de contaminants potentiellement nocifs tels que les métaux lourds, les nitrates, les pesticides ou les hydrocarbures. Cela permet de mettre en place des mesures de protection de la santé publique, comme le traitement approprié de l'eau, pour éviter les risques pour la population. [24]

IV.3 Compréhension des processus géologiques

L'étude de l'hydrochimie des eaux souterraines aide à comprendre les processus géologiques qui se produisent dans les aquifères. La composition chimique de l'eau souterraine peut fournir des informations sur l'origine de l'eau, les interactions avec les minéraux présents dans le sous-sol et les processus d'échange entre l'eau souterraine et l'eau de surface. Ces connaissances sont utiles pour évaluer la dynamique des aquifères, prédire les changements dans la qualité de l'eau souterraine et modéliser les flux hydrologiques. [24]

IV.4 Évaluation de l'impact environnemental

L'hydrochimie des eaux souterraines est également utilisée pour évaluer l'impact des activités humaines sur les ressources en eau souterraine et les écosystèmes associés. Par exemple, elle peut aider à détecter les fuites de substances polluantes provenant de sites industriels, les déversements accidentels, les infiltrations de produits chimiques agricoles ou les effets de la pollution urbaine. Ces informations sont cruciales pour prendre des mesures de

prévention et de remédiation, ainsi que pour établir des politiques environnementales appropriées.

En résumé, l'hydrochimie des eaux souterraines permet une meilleure compréhension de ces ressources vitales, contribue à la gestion durable de l'eau, à la préservation de la santé publique, à l'étude des processus géologiques et à l'évaluation de l'impact environnemental. [24]

IV.5 Hydrochimie de la nappe de la Mitidja

IV.5.1 Les analyses chimiques des eaux de forages de la Mitidja

Nous disposons d'un certain nombre d'analyse chimiques des eaux des forages de Mitidja ouest et principalement aux environs de la région d'El Affroun. (Tableau IV.1)

Tableau IV.1 : Les analyses chimiques des eaux des forages environ de F2.

Forage	libellé	PH	Ca	Mg	Na	K	Hco3	No3	Cl	So4	CE	Residu sec	TH
1	1	8	153	99	227	5	267	67	267	388	2600	1752	79
F2	1	7.9	200	48	38	1	58	32	58	229	1519	979	70
3	1	7.6	204	55	80	2	90	68	90	253	1871	1107	74
4	1	7.5	238	37	176	1	324	24	324	40	2530	1557	75
5	1	7.6	242	5	83	10	141	62	141	118	1805	1175	63
6	1	7.7	106	23	24	1	55	50	55	32	800	363	36
7	1	7.9	173	58	83	1	98	69	98	245	1740	1100	67
8	1	7.7	146	28	54	1	87	37	87	81	1422	825	48
9	1	7.9	154	69	154	2	331	65	331	188	2330	1487	67
10	1	7.8	77	118	102	1	247	95	249	176	1971	1464	68

Afin d'interpréter ces analyses chimiques on a utilisé le logiciel « DIAGRAMMES ».voir la figure IV.1 :

Libellé	Date	Groupe	Piper	Schoeller	Stiff	XY	Korjinski	Phreeq	Stat	TDS	T°C	pH	c25°C	Cations	Anions	Ca	Mg	Na	K	H3O+	HCO3	Cl	SO4	NO3	OH-
Mitidja	1	1	1	1	oui	oui	oui	oui	oui	1483	8	2600	25,7590	21,2750	152,57	98,96	227	5	0,00023	267	267	338	67	0,02105	
Mitidja	1	2	2	2	oui	oui	oui	oui	oui	664	7,9	1519	15,6460	7,87150	200	48,46	38	1	0,00028	58	58	229	32	0,01592	
MITIDJA	1	3	3	3	oui	oui	oui	oui	oui	842	7,6	1871	18,2600	10,3780	203,84	55,38	80	2	0,00057	90	90	253	68	0,00807	
Mitidja	1	4	4	4	oui	oui	oui	oui	oui	1173	7,5	2530	22,8490	15,6690	238,46	36,92	176	10	0,00072	324	324	40	24	0,00648	
Mitidja	1	5	5	5	oui	oui	oui	oui	oui	793	7,6	1805	16,1070	9,74520	242,30	4,61	83	1	0,00056	141	141	118	62	0,00795	
Mitidja	1	6	6	6	oui	oui	oui	oui	oui	346	7,7	800	8,24640	3,92600	105,76	23,07	24	1	0,00042	55	55	32	50	0,00954	
Mitidja	1	7	7	7	oui	oui	oui	oui	oui	825	7,9	1740	17,0200	10,5850	173,07	57,69	83	1	0,00028	98	98	245	69	0,01604	
Mitidja	1	8	8	8	oui	oui	oui	oui	oui	521	7,7	1422	11,9460	6,16360	146,15	27,69	54	1	0,00043	87	87	81	37	0,00977	
Mitidja	1	9	9	9	oui	oui	oui	oui	oui	1294	7,9	2330	20,1310	19,7250	154	69,23	154	2	0,00028	331	331	188	65	0,01635	
Mitidja	1	10	10	10	oui	oui	oui	oui	oui	1065	7,8	1971	18,0150	16,2690	77	118	102	1	0,00036	247	249	176	95	0,01286	

Figure IV.1 : Tableau des analyses chimique des eaux (DIAGRAMMES).

IV.5.2 Logiciel Diagramme

Le principal outil utilisé est le logiciel DIAGRAMMES (Figure IV.1) créé par Roland SIMLER du Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon. C'est un logiciel d'hydrochimie en distribution libre facilitant l'exploitation d'analyse d'eau. Ces fonctions sont variées et complètes, en voici quelques-unes :

- Diagrammes :

- Piper

- Stiff

- Schoeller-Berkalov

- Binaire

- Korjinski

- Les paramètres calculés :

- Balances ionique

- Teneurs en cations

- Dureté

- Teneurs en anions

- Indice de saturation (calcite, dolomite, aragonite, gypse).

Toutes les fonctionnalités n'ont pas été utilisées, mais ce logiciel s'avère être simple d'utilisation. De ce fait les diagrammes de PIPER et de SCHOELLER ont été établis grâce à ce logiciel.

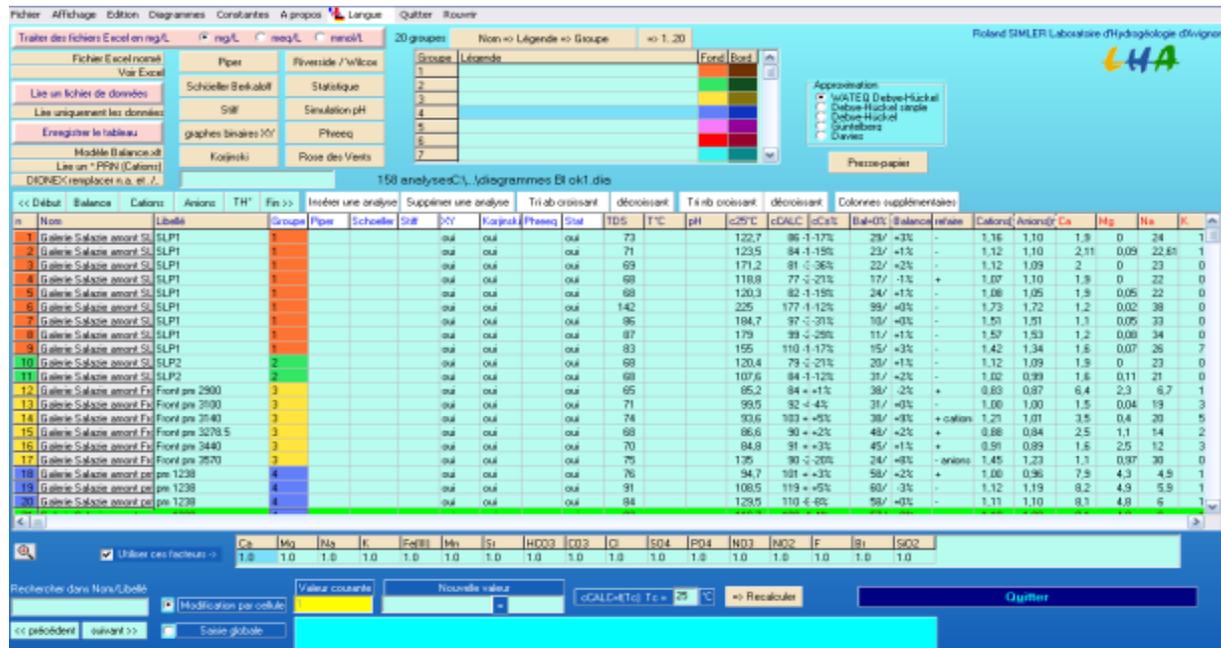


Figure IV.2 : Interface de command du logiciel DIAGRAMMES.

IV.6 Les faciès chimiques

Les faciès chimiques font référence aux caractéristiques chimiques des eaux souterraines dans une région donnée. Ils décrivent la composition chimique dominante de l'eau souterraine en termes de types de minéraux dissous et de concentrations d'éléments chimiques. L'identification et la classification des faciès chimiques sont importantes car elles fournissent des informations sur les processus géochimiques, l'origine de l'eau et les interactions entre l'eau souterraine et les roches environnantes.

Voici quelques-uns des principaux faciès chimiques couramment rencontrés :

IV.6.1 Faciès bicarbonaté

Les eaux souterraines de ce faciès contiennent une concentration élevée de bicarbonates (HCO_3^-) et sont généralement alcalines. Elles peuvent provenir de l'infiltration d'eau de pluie à travers des sols riches en matière organique ou être influencées par des processus de dissolution des carbonates présents dans les roches environnantes.

IV.6.2 Faciès chloruré

Les eaux souterraines de ce faciès sont caractérisées par des concentrations élevées de chlorures (Cl^-) et peuvent avoir une salinité élevée. Ce faciès est souvent associé à des zones côtières où l'eau de mer peut infiltrer les aquifères côtiers ou à des régions arides où l'évaporation est élevée.

IV.6.3 Faciès sulfaté

Les eaux souterraines de ce faciès contiennent des concentrations élevées de sulfates (SO_4^{2-}) et peuvent être associées à des processus d'altération des minéraux sulfurés présents dans les roches environnantes. Ce faciès est souvent observé dans les régions minières ou dans les régions où les eaux souterraines interagissent avec des formations géologiques riches en sulfates.

IV.6.4 Faciès calcique

Les eaux souterraines de ce faciès sont riches en calcium (Ca^{2+}) et en bicarbonates (HCO_3^-) et sont souvent associées à des processus de dissolution des minéraux carbonatés, tels que le calcaire. Ce faciès est courant dans les régions karstiques où des formations calcaires sont présentes.

IV.6.5 Faciès magnésien

Les eaux souterraines de ce faciès sont caractérisées par des concentrations élevées de magnésium (Mg^{2+}) et de bicarbonates (HCO_3^-). Ce faciès est souvent observé dans les régions où les eaux souterraines interagissent avec des roches riches en magnésium, telles que la dolomite.

Ces faciès chimiques ne sont que quelques exemples parmi d'autres, et il est important de noter que les caractéristiques chimiques des eaux souterraines peuvent varier considérablement d'une région à l'autre en fonction de la géologie locale, des processus hydrologiques et des activités humaines. L'étude des faciès chimiques permet de mieux comprendre la variabilité chimique des eaux souterraines et d'évaluer leur utilisation potentielle dans différents domaines, tels que l'approvisionnement en eau potable, l'agriculture ou l'industrie.

La représentation des analyses chimiques des eaux de la nappe de quaternaire dans la région d'El Affroun, Mitidja ouest montre les faciès chimiques suivants :

IV.7 Diagramme de piper

Le diagramme de Piper, également connu sous le nom de tracé de Piper, est un outil graphique largement utilisé pour représenter la composition chimique des eaux souterraines ou des eaux de surface. Il est utile pour analyser et comparer les faciès chimiques des échantillons d'eau.

Le diagramme de Piper représente les concentrations des principaux ions chimiques dissous dans l'eau sous forme de pourcentages d'anions (ions négatifs) et de cations (ions positifs). Il se compose de deux losanges équilatéraux superposés, représentant respectivement les cations et les anions.

IV.7.1 Eaux de Mitidja ouest et El Affroun

Les eaux représentées sur le diagramme de piper montrent un faciès chimique bicarbonate calcique et magnésien avec une prédominance des ions bicarbonates (HCO_3^-) et calcium (Ca^{2+}).

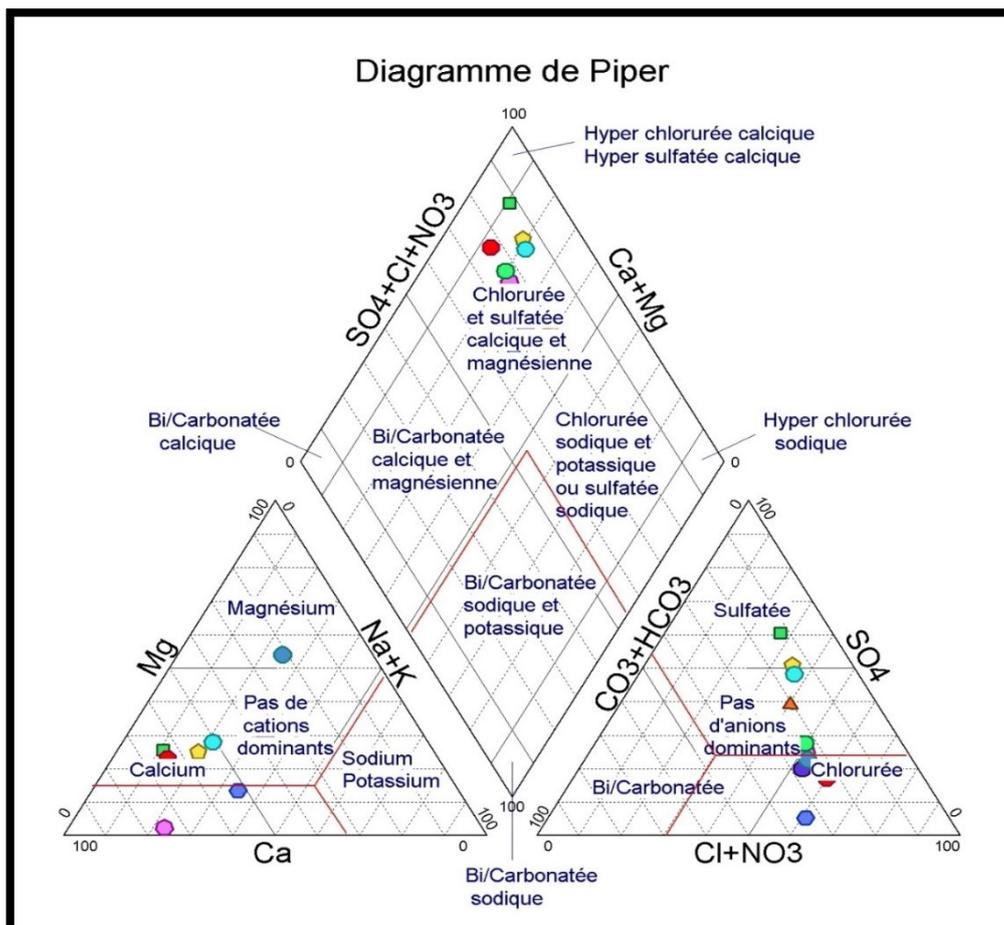


Figure IV.3 : Diagramme de Piper.

IV.8 Diagramme de Schoeller Berkaloff

Le diagramme de Schoeller permet entre autres de reconnaître simplement le faciès d'une eau souterrain, en utilisant les concentrations des éléments majeurs et en les reportant sur un graphique en colonnes à échelles logarithmiques.

Le diagramme de Scholler Berkaloff présente une répartition homogène preuve que ces eaux appartiennent à la même nappe de quaternaire.

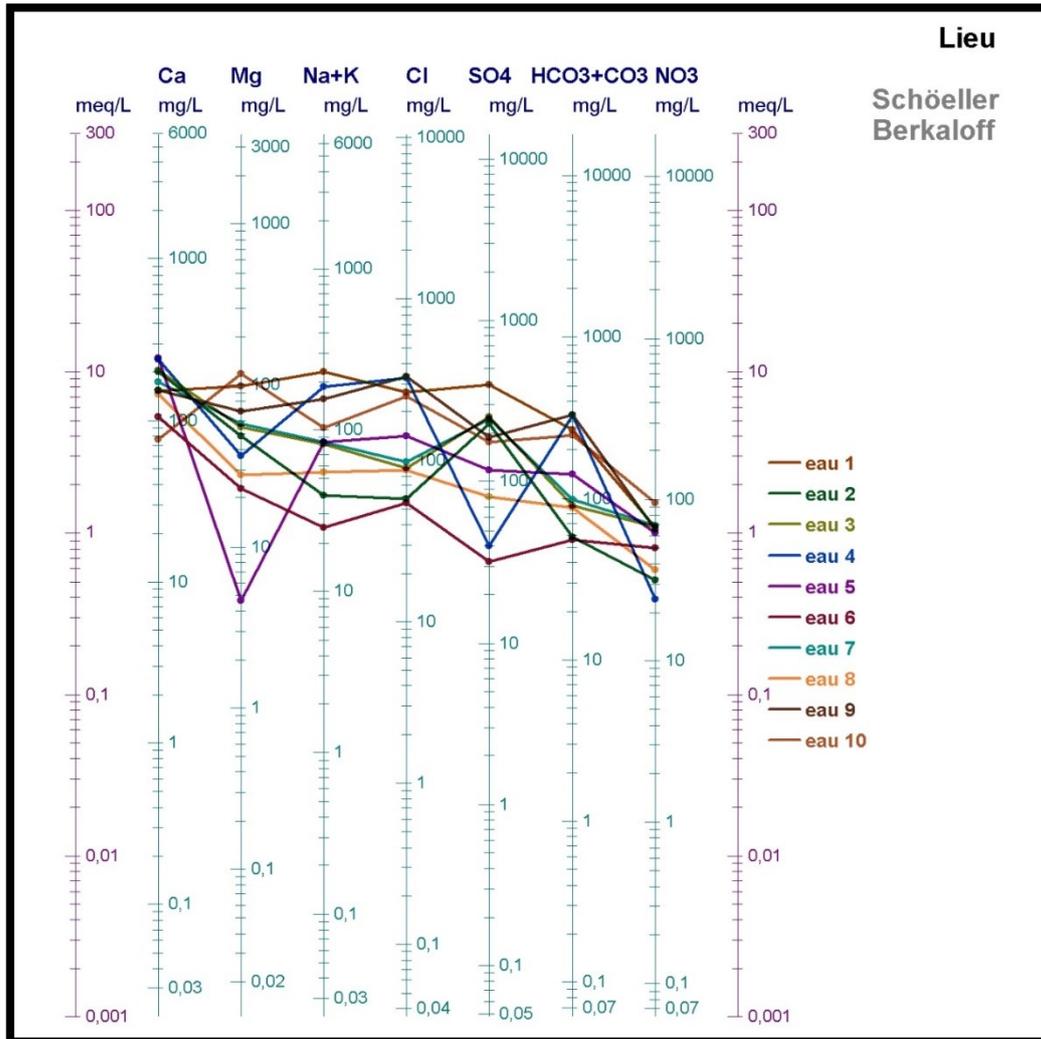


Figure IV.4 : Diagramme de Schoeller Berkaloff.

IV.9 Etude de quelques couples chimiques

L'étude des couples chimiques permet de déterminer l'origine des ions respectifs confrontés et par conséquent donnent une idée sur l'origine de la salinité.

Couple Na-Cl :

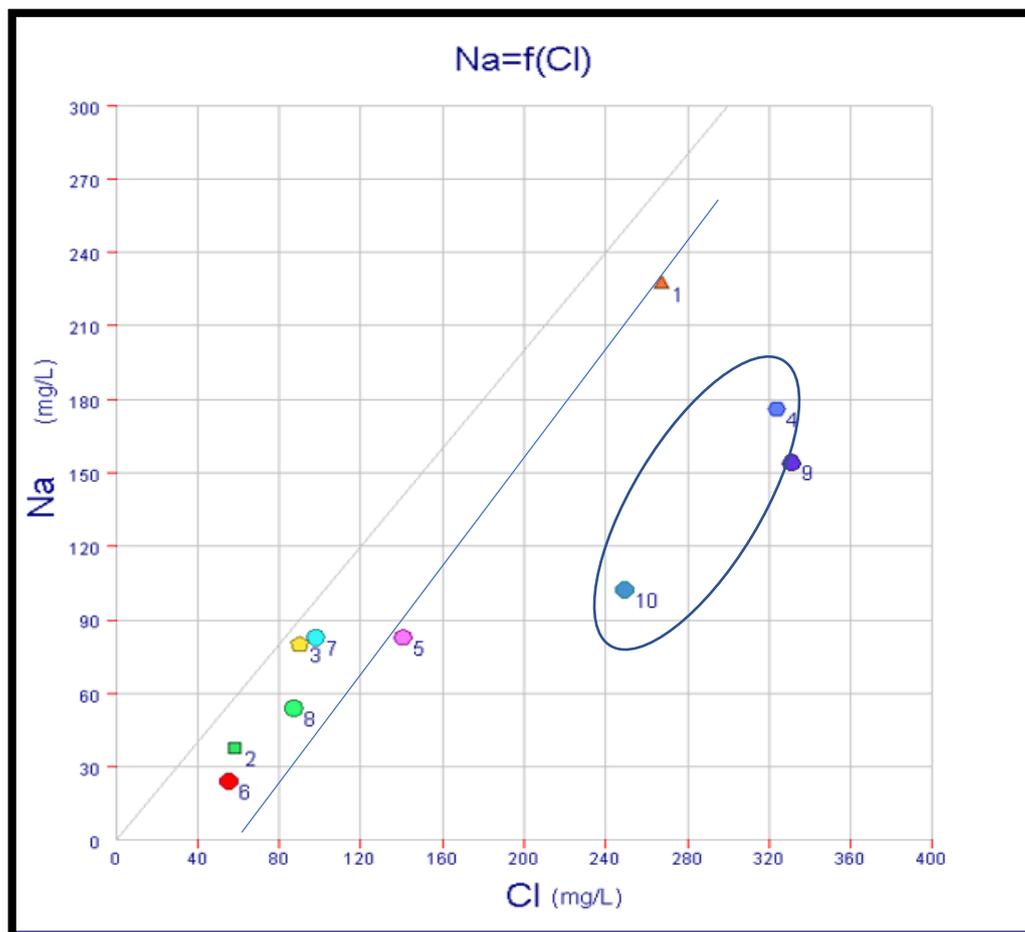


Figure IV.5 : Corrélation binaire de NaCl.

Sur le diagramme NaCl (Figure IV.4) la répartition des points se fait le long d'une droite de pente (1.1) relative à la dissolution de l'halite (sel NaCl). A l'exception des points (4, 9,10) ou l'origine des chlorures pourrait être due à la pollution (des rejets dans les oueds).

Couple conductivité –Cl :

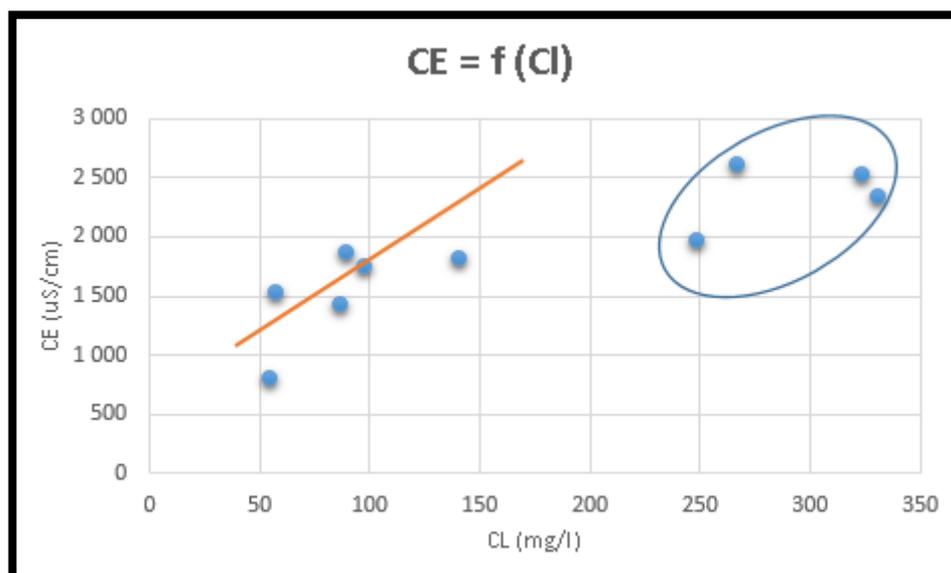


Figure IV.6 : Corrélacion conductivité-Cl.

La relation entre la conductivité et les chlorures (figure IV.5) montrent une tendance similaire à celle du couple NaCl. Avec un premier groupe qui montre une tendance linéaire qui expliquerait que l'acquisition de la salinité est liée à l'ensemble des ions et que probablement elle est due au processus de dissolution et lessivage lors du parcours souterrain des eaux. Le 2ème groupe ne montre pas une relation nette entre ces deux variables.

IV.9.1 Origine de la salinité

L'origine de la salinité, c'est-à-dire la présence de sels dissous dans l'eau, peut être attribuée à plusieurs facteurs :

- Érosion des roches.
- Activités humaines.
- Intrusion d'eau de mer.
- Précipitations atmosphériques.



***CONCLUSION
GENERALE***

Conclusion générale

La zone d'étude est caractérisée par un climat méditerranéen avec une saison humide allant du mois d'octobre au mois de mai avec une précipitation moyenne mensuelle maximale de 360 mm enregistré en mois de décembre à la station d' El Affroun, et une saison sèche qui s'étale du mois de juin jusqu'au mois de septembre avec une précipitation moyenne mensuelle minimale de 00 mm mesurée en mois de juin dans la station d'El Affroun. Avec une précipitation moyenne annuelle de 649mm. (Période 1973-2013).

La synthèse géologique et hydrogéologique de la zone d'étude montre la présence des deux principaux aquifères connus à l'échelle de la Mitidja : La nappe superficielle du Quaternaire (sable et graviers et argile) qui surmonte une nappe profonde de l'Astien (Sables et grés). Ces deux formations aquifères s'étendent sur toute la Mitidja avec des épaisseurs variables (200 à 400 m).

Les opérations de suivi technique de la réalisation du forage F2 à El Affroun (Profondeur 248m) ont été effectués dans les normes et les principaux résultats obtenus sont :

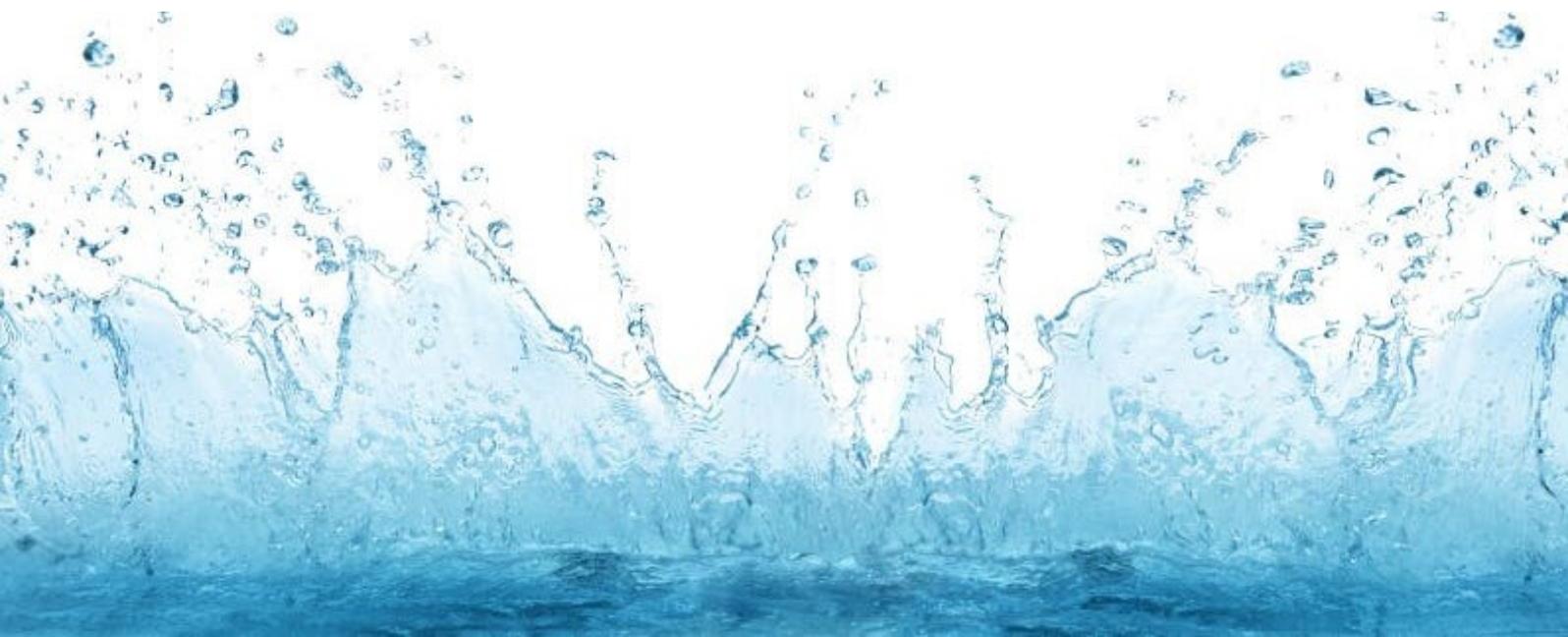
- Installation du chantier
- Installation de la machine
 - Bassin de décantation (largeur = 1.74 m ; longueur = 3.67 m ; profondeur = 1.22m ; volume de fosse = $6.58 m^3$; volume du forage = $17.50m^3$)
 - Bassin des boues (largeur = 1.47 m ; longueur = 1.83 m ; profondeur = 1.22m ; volume de la fosse : $3.28m^3$).
- Mise en place d'un tube guide par 3 étapes
 - Un outil de 26" et profondeur de 40m.
 - Un tube TNRS de 24" sur une profondeur de 40 m.
 - Cimentation de 40 m.
- Forage de reconnaissance de 12" jusqu'à 248m.
- Opération diagraphie
- Interprétation de l'enregistrement de diagraphie
- Elargissement de trou à 17" et après à 19"
- Opération décente tubage (PVC spécial forage avec un diamètre de 250mm, épaisseur de 20 mm, SLOT 10 PN 20 bar)
- Décente massif du gravier

- Opération du développement à l'aide d'un compresseur de 20 bar pendant 72 h, jusqu'à une obtention une eau claire.
- les essais de pompage réalisé sur le forage F2 a permis de déterminer le débit d'exploitation de la nappe qui est 15 L/s.

Les analyses chimiques réalisées sur les eaux de la région d'El Affroun montrent une bonne qualité et une acquisition de la salinité par la dissolution dans l'aquifère.

On peut affirmer à la fin que le forage F2 programme par la DRE de Blida est positif et il a était dans les normes sur le plan technique.

Références
Bibliographiques



Références bibliographiques

- [1]. **Vikidia**: Article site web: Mtidja, publié le 10 October 2020
- [2]. **GEORGES BOUCHET 15 janvier 2011** : Document : La plaine de la Mitidja
- [3]. **ABDELMADJID DRIUCHE et MANAEL DJEMA et FATIHA LEZZAL : 02 février 2019**, Document : Variabilité interannuelle des précipitations dans la plaine de la Mitidja en Algérie du nord
- [4]. **DB-CITY.com** : Document : El Affroun
- [5]. **Wikipedia.org** : Article: Daïra d'El Affroun
- [6]. **JEAN CLAUD ROSSO** : Document : Info 791 ELAFFROUN
- [7]. **ARNH Blida**
- [8]. **DRE Blida**
- [9]. **BOUTI ISMAHANE et AGABI AHMED EL AOULI** :30 Juin 2022 : Mémoire de master : Etude de peuplement des éphéméroptères d'Oued Bouroumi et Oued Djer (Blida-Alger) Université Mohamed Khider Biskra
- [10]. **AMMARI ABDELHADI**, 27 Septembre 2012, Thèse Doctorat : Vulnérabilité à l'envasement des barrages (cas du bassin hydrographique côtier algérois) Université Mohamed Khider Biskra
- [11]. **LEGHLAM SALAHEDDINE**, 2021, Mémoire de master : Analyses statistiques multivariées de la qualité des eaux souterraines de la plaine de Mitidja Université Mohamed Boudiaf Msila
- [12]. **KOUMRI MOHAMED LAMINE, SALHI AHLEM**, 2020, Mémoire de master : Suivi hydrogéologique de l'exécution des opérations de forage F23 (Meftah la plaine de la Mitidja) Université Saad Dahleb Blida 1
- [13]. **IBOUKEN Christian 2019** : évaluation de l'implantation géophysique des forages d'eau en zone de socle en milieu tropical (Benin, Afrique de l'ouest) apport de la tomographie de résistivité électrique pour la caractérisation de la cible hydrogéologique : thèse doctorat Université d'Abomey-Calavi (UAC), BENIN

- [14]. **Cours GUENDOZ.A 2022** : cours prospection électrique, département SEE, université SAAD Dahleb Blida.
- [15]. **BROSSIER Romain 2012** : PDF prospection géophysique, université JOSEPH Fourie GRENOBLE France.
- [16]. **Institue EGID Bordeaux 3 2008** : PDF le forage d'eau.
- [17]. **CHEHIMA Sofiane et DEDDOUCHE Houria 2021** : étude et suivi technique d'un forage profond albien dans la région de SEBSEB : mémoire master université Ghardaïa.
- [18]. **LAGABRIELLE Richard** : article de référence c224 v 4 publiée le 10 mai 2007.
- [19]. **SEDDIKI Brahim et ANICHEL Imad Eddine 2020** : étude de conception d'un forage d'albien (cas de nouvelle ville Ain El Beida Ouargla) : mémoire master en hydraulique, université Kasdi Merbah Ouargla.
- [20]. **IKHLEF ESCHOUF Louisa et ALIOUA Kathia 2021** : suivi technique de la réalisation du forage F2 (prise d'eau EL Harrach) : mémoire de master, université SAAD Dahleb Blida.
- [21]. **CHADEDI Iman 2017** : étude des paramètres petro-physique par la méthode de diagraphie dans la région de HASSI Guettar ouest : mémoire de master Professional, université Kasdi Merbah Ouargla.
- [22]. **BEUSOUS Gille** : article publiée le 22/11/2010.
- [23]. **Cours GUENDOZ.A 2000** : Cours d'hydrogéologie, département SEE, université SAAD Dahleb Blida.