République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed
Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers
Département des Sciences de la Terre

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du grade de

Master en Sciences de la Terre

Option : Hydrogéologie

Thème :

Étude et suivi des travaux de forages dans la région de Relizane

Présenté par :

M^lle^ CHARRI Ikram
M^lle^ BELMEHDI Samia

Devant le jury composé de :

Nom et prénom	Qualité	Grade	Université de rattachement
Mr FOUKRACHE Mohamed	Président	MAA	Université d'Oran 2
Mme GUENOUNE Kamilia	Encadrante	MAA	Université d'Oran 2
Mme ABLAOUI Halima	Examinatrice	MAA	Université d'Oran 2

Année universitaire : 2025/2026

Remerciements :

Avant tout, nous remercions Dieu Tout-Puissant de nous avoir accordé la force, la patience et la détermination nécessaires pour mener à bien ce travail et pour nous avoir guidées tout au long de notre parcours universitaire.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre encadrante,
Mme GUENOUNE Kamilia, pour son encadrement rigoureux, sa disponibilité, ses précieux conseils scientifiques ainsi que son soutien constant durant l'élaboration de ce mémoire.

Nos sincères remerciements s'adressent également aux membres du jury, Monsieur FOUKRACHE Mohamed et Madame ABLAOUI Halima, pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'examiner ce travail.

Nous adressons également nos vifs remerciements à la Direction des Ressources en Eau de la wilaya de Relizane, ainsi qu'à tous les responsables et ingénieurs qui nous ont facilité l'accès aux données hydrogéologiques, aux rapports techniques et aux différentes informations relatives aux forages.

Nous remercions également l'ensemble des enseignants du département de Sciences de la Terre pour la qualité de la formation dispensée et pour les connaissances scientifiques acquises tout au long de notre cursus universitaire.

Enfin, nous exprimons notre gratitude à toutes les personnes ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

Qu'elles trouvent ici l'expression de notre profonde reconnaissance.

Dédicace *:*

Louange à Dieu Tout-Puissant qui m'a accordé la réussite et m'a aidé à mener à bien ce modeste travail, en me donnant la force et la patience nécessaires pour surmonter les difficultés et accomplir cet objectif.

Je dédie le fruit de mes efforts :

À ma chère mère, symbole de générosité et de sacrifice, dont les prières et les encouragements constants ont été la source de ma force et de ma réussite. Que Dieu la protège et la garde toujours à mes côtés.

À la mémoire de mon père, que Dieu lui accorde Sa miséricorde et l'accueille dans Son vaste paradis. Sa présence dans ma vie fut une source de motivation et d'ambition, et son souvenir restera à jamais une lumière guidant mon chemin.

À mes sœurs bien-aimés, qui ont toujours été à mes côtés par leur soutien et leur encouragement.

À toute ma famille ainsi qu'à toutes les personnes qui m'ont entourée d'affection et de soutien tout au long de mon parcours universitaire.

À mes honorables enseignants, qui ont éclairé mon chemin par leur savoir et leurs précieux conseils.

À mes amis et collègues, avec qui j'ai partagé les efforts et les défis des années universitaires.

Enfin, à toute personne ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail, je dédie ce modeste accomplissement en signe de reconnaissance et de gratitude.

CHARRI Ikram

Dédicace :

Louange à Dieu Tout-Puissant qui m'a accordé le succès et m'a guidé pour mener à bien ce modeste travail. Je Lui suis reconnaissante de m'avoir insufflé la force et la patience nécessaires pour surmonter les obstacles et atteindre cet objectif.

Je dédie ce modeste travail *:*

À mes chers parents , Pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices, leur soutien moral et leurs prières qui m'ont donné la force d'avancer et de réussir.

À ma famille , Pour leurs encouragements constants et leur présence dans les moments les plus difficiles.

À mes enseignants et encadreurs , Pour leur patience, leurs précieux conseils et leur accompagnement tout au long de mon parcours universitaire.

À tous mes amis et collègues , Qui ont partagé avec moi les joies et les défis de ces années d'études.

Enfin,

À toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

BELMEHDI Samia

Table des matières :

Remerciements

Dédicace

Liste des figures

Liste des tableaux

RÉSUMÉ

Introduction générale 1

Chapitre I :Présentation de la région d'étude

Introduction : 3

1 Situation géographique et administrative: 3

2 Contexte démographique : 5

3 Contexte agricole : 5

4 Aperçu climatique : 6

4.1 Précipitations : 7

4.1.1 Précipitations mensuelles : 7

4.1.2 Précipitations saisonnières: 8

4.1.3 Précipitations annuelles: **9**

4.2 Température : 12

4.3 Le climat de notre secteur : 13

4.3.1 Méthode pluviothermique de Gaussen et Bagnouls : 13

4.3.2 Indice d'aridité de Martonne : 14

4.3.3 Indice climatique d'Emberger : 15

4.4 Bilan hydrique: 16

4.4.1 Évapotranspiration potentielle (ETP) (la méthode de Thornthwaite): 16

4.4.2 Calcul de bilan hydrique: 17

5 Hydrographie : 17

Conclusion : 20

Chapitre II **:** Caractéristiques géologiques et hydrogéologiques

INTRODUCTION : 21

1 Cadre géologique de la région d'étude : 22

2 Aspect structural : 27

3 Travaux antérieurs de géophysique : 29

4 Hydrogéologie : 30
4.1 Les principaux aquifères : 31
4.2 Les limites latérales des aquifères : 32
4.3 Les limites verticales des aquifères : 32
4.4 Piézométrie de la plaine : 36
4.4.1 Inventaire des points d'eau : 36
4.4.2 Établissement de la carte piézométrique: 37
4.4.3 Interprétation de la carte piézométrique : 38
5 Hydrochimie : 39
Conclusion : 42
Chapitre III :Description et exécution des travaux de forage
INTRODUCTION : 43
1 Aperçu sur les forages existants dans la région de Relizane : 43
1.1 Forage de Bas-Chellif : 44
1.2 Forage WIAM : 47
1.3 Forage d'Ammi Moussa III : 50
1.4 Forage de Mazouna : 52
2 Implantation du forage Billot 2 54
2.1 Méthode de réalisation : 54
2.2 Organisation du chantier de forage : 55
2.2.1 Préparation du terrain : 55
2.2.2 Les composants d'un appareil de forage : 56
2.2.2.1 Le mat de forage : 56
2.2.2.2 Les tiges : 57
2.2.2.3 Les aléseurs : 58
2.2.2.4 Outil de forage : 59
2.2.2.5 Table de rotation : 60
2.2.2.6 Tige d'entraînement : 61
2.2.2.7 Tête d'injection: 61
2.2.2.8 Générateurs de courant : 62
2.3 Description géologique : 63
2.3.1 fluide de forage (Boue) : 63
2.3.2 Cuttings: 64
2.4 Équipement du forage: 66

2.4.1 Tubage : 66
2.4.2 Crépines : 67
2.4.3 Sabots : 68
2.4.4 Massif filtrant : 69
2.4.5 Cimentation : 70
2.4.6 Développement du forage : 71
Conclusion : 71
Chapitre IV :Analyse et interprétation des résultats
Introduction : 72
1 Résultats du forage : 72
1.1 Coupe technique du forage 72
1.2 Diagraphies de forage – Billot 2 : 72
1.3 Essai de pompage : 75
2 Analyses hydrochimiques : 75
2.1 Paramètres physico-chimiques : 75
2.2 Principaux ions dissous : 76
2.2.1 Les cations : 76
2.2.2 Les anions : 77
2.3 Interprétation hydrochimique : 78
2.3.1 Diagramme de Piper 78
2.3.2 Diagramme de Schoeler-Berkaloff : 79
3 Analyse bactériologique : 81
Conclusion : 81
Conclusion générale: 81
Recommandations 81
Références bibliographiques
Annexes

Liste des figures :

Chapitre I :

Figure I- 1:Carte de situation géographique de la wilaya de Relizane 3
Figure I- 2:Évolution de la population de la wilaya de Relizane(1996-2008) 5
Figure I- 3:Répartition de la superficie agricole totale 2018-2019 6
Figure I- 4:Variations des précipitations moyennes mensuelles (1990-2000) 8
Figure I- 5:Variations saisonnières des précipitations(1990-2000) 9
Figure I- 6:Précipitations annuelles de la station de Relizane (1990-2000) 10
Figure I- 7:Précipitations annuelles de la station de Yellel (1990-2000) 11
Figure I- 8:Précipitations annuelles de la station d'Oued El Djemaa (1990-2000) 11
Figure I- 9:Températures moyennes mensuelles de la station d'Oued El Djemaa (1990-2000) 12
Figure I- 10:Diagramme ombrothermique de la station d'Oued El Djemaa 13
Figure I- 11:Diagramme d' indice d'aridité (d'après De Martonne 1925) 14
Figure I- 12:: Climagramme d'Emberger de la station d'Oued El-Djemaa 15
Figure I- 13:Carte du réseau hydrographique et des sous-bassins versants de la wilaya de Relizane . 18

Chapitre II :

Figure II- 1:Carte géologique de la région d'étude 24
Figure II- 2:Log litho-stratigraphique général (d'après A.PERRODON,1957) 26
Figure II- 3:Carte structurale de la plaine de la Mina (in Mohamed Bey F.2013) 28
Figure II- 4:Coupe NO-SE établie à travers de la plaine du Cheliff 30
Figure II- 5:Carte hydrogéologique de la plaine de la Mina (in Boudehedje A. ;Khellouf A.2008) 34

Chapitre III :

Figure III- 1:Forages recensés dans la région d'étude 44
Figure III- 2:Coupe de forage Bas-Chellif 46
Figure III- 3:Coupe de forage WIAM 49
Figure III- 4:Coupe de forage Ammi Moussa III 51
Figure III- 5:Coupe de forage Mazouna 53
Figure III- 6:Appareil du forage 54
Figure III- 7:Zone de travail 55
Figure III- 8:Fosse à boue utilisée dans la réalisation de forage 56
Figure III- 9:Machine de forage 56
Figure III- 10:Tiges de forages 57
Figure III- 11:Les masse-tiges 58
Figure III- 12:Aléseur 58
Figure III- 13:Outils tricône 59
Figure III- 14:Table de rotation 60
Figure III- 15:Tige d'entrainement 61
Figure III- 16:Tête d'injection 62
Figure III- 17:Générateur du courant 62
Figure III- 18:Sacs de bentonite 63
Figure III- 19:Échantillons de terrain 64
Figure III- 20:Coupe lithologique de forage Bellot 2 65
Figure III- 21:Tubages 66
Figure III- 22:Crépine de Johnson 67
Figure III- 23:Sabots 68

Figure III- 24:Gravier additionnel utilisé 69
Figure III- 25:Opération de cimentation 70

Chapitre IV :

Figure IV- 1:Log technique et diagraphique du forage Billot 2 74
Figure IV- 2:Diagramme de Piper des eaux du forage étudié 79
Figure IV- 3:Diagramme de Schoeler-Berkaloff des eaux du forage étudié 80

Liste des tableaux :

Chapitre I :

Tableau I- 1:Organisation administrative de la wilaya de Relizane..... 4
Tableau I- 2:Coordonnées des stations pluviométriques..... 7
Tableau I- 3:Précipitations moyennes mensuelles (1990-2000)..... 7
Tableau I- 4:Précipitations saisonnières (1990-2000)..... 9
Tableau I- 5:Répartition des précipitations annuelles (1990-2000)..... 10
Tableau I- 6:Températures moyennes de la station d'Oued El Djemaa..... 12
Tableau I- 7:Valeurs de l'indice de Martonne..... 14
Tableau I- 8:Répartition mensuelle de l'évapotranspiration potentielle..... 16
Tableau I- 9:Calcul de bilan hydrologique de la station d'Oued El-Djemåa..... 17
Tableau I- 10:Principaux barrages de la wilaya de Relizane..... 19

Chapitre II :

Tableau II- 1:Résultats de mesure des paramètres physicochimique (ADE Relizane 2020)..... 40

Chapitre III :

Tableau III- 1:Tiges utilisées..... 57
Tableau III- 2:Caractéristiques des masse-tiges utilisées..... 58
Tableau III- 3:Outils de forage utilisés..... 59
Tableau III- 4:Caractéristiques de la boue utilisée..... 63
Tableau III- 5:Programme d'équipement du forage Billot 2..... 68

Chapitre IV :

Tableau IV- 1:Paramètres physico-chimiques de l'eau du forage analysé..... 75
Tableau IV- 2:Résultats des analyses des cations majeurs..... 76
Tableau IV- 3:Résultats des analyses des Anions majeurs..... 77

RÉSUMÉ :

Ce mémoire porte sur l'étude du forage Billot 2 réalisé dans la région d'Ouled Sidi Mihoub (Wilaya de Relizane). Il présente les différentes étapes de réalisation du forage, ainsi que l'analyse des caractéristiques hydrodynamiques et hydrochimiques de la nappe exploitée.
Les résultats obtenus montrent une bonne productivité du forage et une eau de qualité globalement conforme aux normes de potabilité. L'étude hydrochimique a révélé un faciès chloruré calcique.
Ce travail met en évidence l'importance du forage Billot 2 comme ressource en eau destinée à l'alimentation en eau potable de la région.

Mots-clés : Forage , Relizane, eaux souterraines, aquifère, qualité de l'eau, alimentation en eau potable.

الملخص :

تتناول هذه المذكرة دراسة بئر الواقع بمنطقة أولاد سيدي الميهوب بولاية غيليزان ،حيث تم عرض مختلف مراحل إنجاز البئر،إضافة إلى دراسة الخصائص الهيدروديناميكية و الهيدروكيميائية للمياه الجوفية المستغلة.
أظهرت النتائج إنتاجية جيدة للبئر و جودة مياه مقبولة عموما و مطابقة لمعايير مياه الشرب.كما بينت الدراسة الهيدروكيميائية أن المياه تنتمي الى الصنف الكيميائي الكلوريدي الكلسي.
و تؤكد هذه الدراسة أهمية هذا البئر كمصدر مائي مهم لدعم التزويد بالمياه الصالحة للشرب في المنطقة.

الكلمات المفتاحية:بئر،غيليزان،المياه الجوفية،الطبقة الحاملة للمياه،جودة المياه،التزويد بالمياه الصالحة للشرب.

ABSTRACT :

This thesis focuses on the study of the Billot 2 borehole located in Ouled Sidi Mihoub (Relizane Province). It describes the different stages of well construction and analyzes the hydrodynamic and hydrochemical characteristics of the exploited aquifer.
The results show good well productivity and generally acceptable water quality that complies with drinking water standards. The hydrochemical study indicates a calcium-magnesium chloride and sulphate facies.
This study highlights the importance of the Billot 2 borehole as a key water resource for drinking water supply in the region.

Keywords: borehole, Relizane, groundwater, aquifer, water quality, drinking water supply.

Introduction générale

Introduction générale :

L'eau constitue une ressource naturelle essentielle au développement socio-économique et à la satisfaction des besoins domestiques, agricoles et industriels. Dans les régions semi-arides , telles que le Nord-Ouest de l'Algérie, la disponibilité des ressources en eau de surface demeure limitée et fortement dépendante des conditions climatiques. Face à cette situation, les eaux souterraines représentent une ressource stratégique pour assurer l'alimentation en eau potable et soutenir les activités économiques.

La wilaya de Relizane connaît une demande croissante en eau en raison de l'augmentation de la population et du développement des activités agricoles. Dans ce contexte, la réalisation de forages hydrauliques constitue une solution efficace pour mobiliser les ressources en eau souterraine et renforcer l'approvisionnement en eau des différentes localités.

Toutefois, la réussite d'un forage dépend de plusieurs facteurs, notamment la connaissance du contexte géologique et hydrogéologique de la région, le choix de la technique de forage appropriée ainsi que le respect des différentes étapes de réalisation et d'équipement de l'ouvrage. Le suivi des travaux de forage est donc indispensable afin de garantir l'atteinte des objectifs fixés et d'assurer une exploitation durable de la ressource.

Le présent travail porte sur le suivi des travaux de réalisation du forage Billot 2, implanté dans la région d'Ouled Sidi Mihoub, wilaya de Relizane. Cette étude vise à analyser les différentes étapes de réalisation du forage, à caractériser les formations traversées, à évaluer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère exploité ainsi qu'à apprécier la qualité physico-chimique des eaux souterraines captées.

La problématique principale de ce travail peut être formulée comme suit :

Dans quelle mesure le forage Billot 2 permet-il de répondre aux besoins en eau potable de la région, et quelles sont les caractéristiques hydrodynamiques et hydrochimiques de la nappe exploitée ?

Afin de répondre à cette problématique, plusieurs objectifs ont été fixés, notamment l'étude du contexte naturel de la zone, l'analyse des conditions géologiques et hydrogéologiques, le suivi des travaux de forage ainsi que l'interprétation des résultats obtenus à partir des essais hydrauliques et des analyses hydrochimiques.

Pour atteindre ces objectifs, cette étude repose sur l'exploitation des données de terrain, des observations lithologiques réalisées au cours du forage, des essais de pompage ainsi que des analyses physico-chimiques des eaux souterraines.

Le présent mémoire est structuré en quatre chapitres :

- Le premier chapitre présente les généralités sur la zone d'étude, sa situation géographique, son climat et son réseau hydrographique.
- Le deuxième chapitre est consacré à l'étude géologique, hydrogéologique et hydrochimique de la région.
- Le troisième chapitre décrit les différentes étapes de réalisation et de suivi des travaux du forage Billot 2.
- Le quatrième chapitre présente l'interprétation et la discussion des résultats obtenus, notamment les caractéristiques lithologiques, hydrodynamiques et hydrochimiques du forage.

Enfin, ce mémoire s'achève par une conclusion générale résumant les principaux résultats obtenus ainsi que quelques recommandations pour une meilleure gestion et exploitation des ressources en eau souterraine.

Chapitre I :Présentation de la région d'étude

Introduction :

Relizane a été connue sous l'appellation de «MINA» en rapport à l'Oued MINA ou se situait à l'époque l'ancienne ville. Son histoire remonte à l'ère des Numidiens entre 203 et 213 avant JC. Ses population étaient d'origine Berbère selon Ibn Khaldoun. La région a été colonisée par les romains pendant cinq siècles.

Son appellation ancienne «ICHILIZANE» signifie en langue berbère «la colline grillée» en souvenir de passage des vandales dans la région.

1 Situation géographique et administrative:

La wilaya de Relizane se situe au Nord-Ouest de l'Algérie, elle est limitée (FigureI.1) :

- Au Nord : par la wilaya de Mostaganem.
- Au Sud : par la wilaya de Tiaret.
- Au Sud –Est : par la wilaya de Tissemsilt.
- À l'Est : par la wilaya de Chlef.
- À l'Ouest : par la wilaya de Mascara

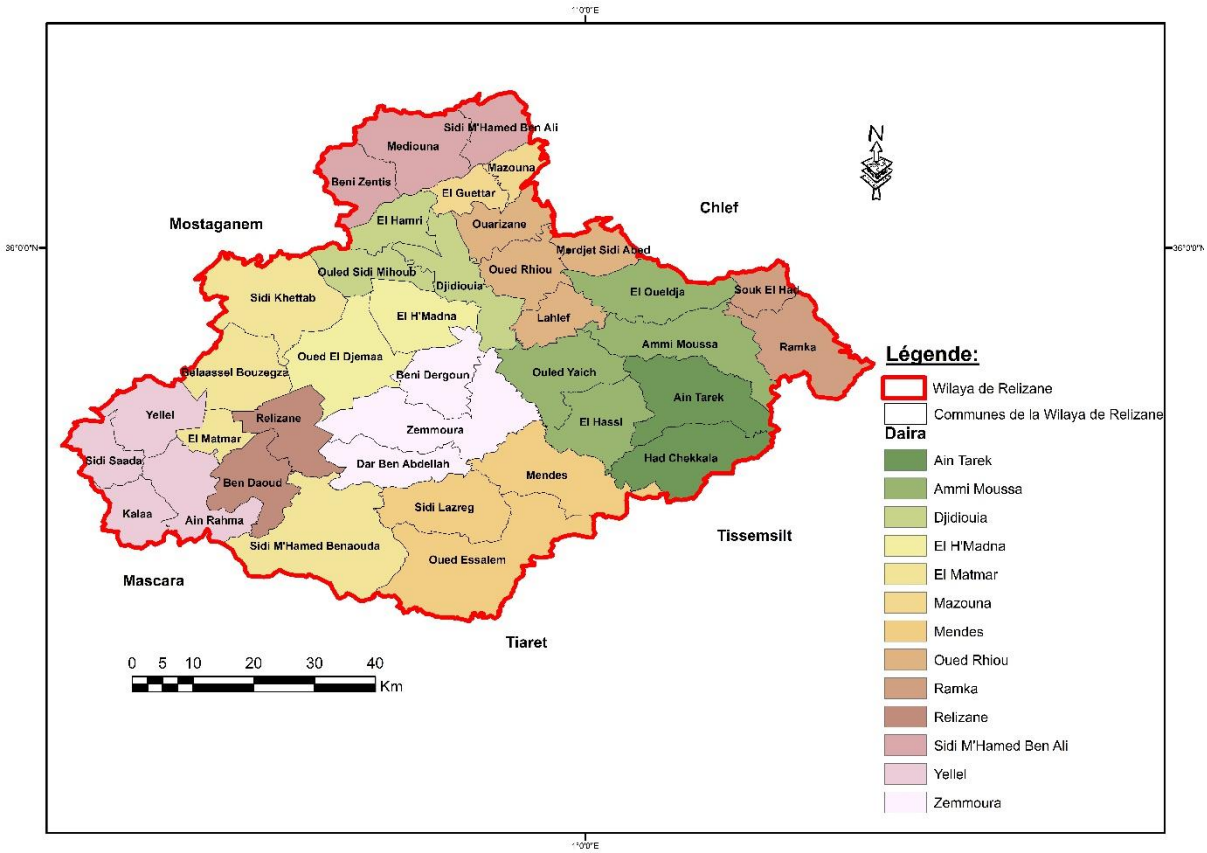


Figure I- 1:Carte de situation géographique de la wilaya de Relizane

La wilaya de Relizane fut créée suite au dernier découpage de 1984,composant de 38 communes organisées en 13 daïra[1]. Elle couvre une superficie de 484.000 hectares.

Tableau I- 1:Organisation administrative de la wilaya de Relizane

Daira	Communes
Aïn Tarek	Aïn Tarek - Had Echkalla
Ammi Moussa	Ammi Moussa - El Hassi - El Ouldja - Ouled Aiche
Djidioua	Djidioua - Hamri - Ouled Sidi Mihoub
El Hamadna	El Hamadna - Oued El Djemaa
El Matmar	El Matmar - Belassel Bouzegza - Sidi Khettab - Sidi M'Hamed Benaouda
Mazouna	Mazouna - El Guettar
Mendes	Mendes - Oued Essalem - Sidi Lazreg
Oued Rhiou	Oued Rhiou - Merdja Sidi Abed - Ouarizane - Lahlef
Ramka	Ramka - Souk El Had
Relizane	Relizane - Bendaoud
Sidi M'Hamed Ben Ali	Sidi M'Hamed Ben Ali - Beni Zentis - Mediouna
Yellel	Yellel - Aïn Rahma - Kalaa - Sidi Saada
Zemmora	Zemmora - Beni Dergoun - Dar Ben Abdellah

[1] Décret exécutif n° 91-306 du 24 août 1991 fixant la liste des communes animées par chaque chef de daïra

2 Contexte démographique :

D'après les données de la population de l'État a beaucoup évolué : elle a été estimée à 115905 personnes en 1966, passant à 368512 en 1977 avec un taux de croissance de 3,21%.

Dans le recensement de 1987, à la suite de l'amélioration des conditions de vie de la population d'une part et du facteur de migration vers l'état d'autre part, la population de l'État a doublé à 544877 personnes avec un taux de croissance de 2,94%.

Dans le recensement de 1998, la population a augmenté à 642205 avec un taux de croissance de 1,37%, puis à 726180 lors du recensement du logement et de la population pour l'année 2008 avec un taux de croissance de 1,05%.

Le graphique suivant montre l'évolution de la population de l'État de 1966 à 2008.

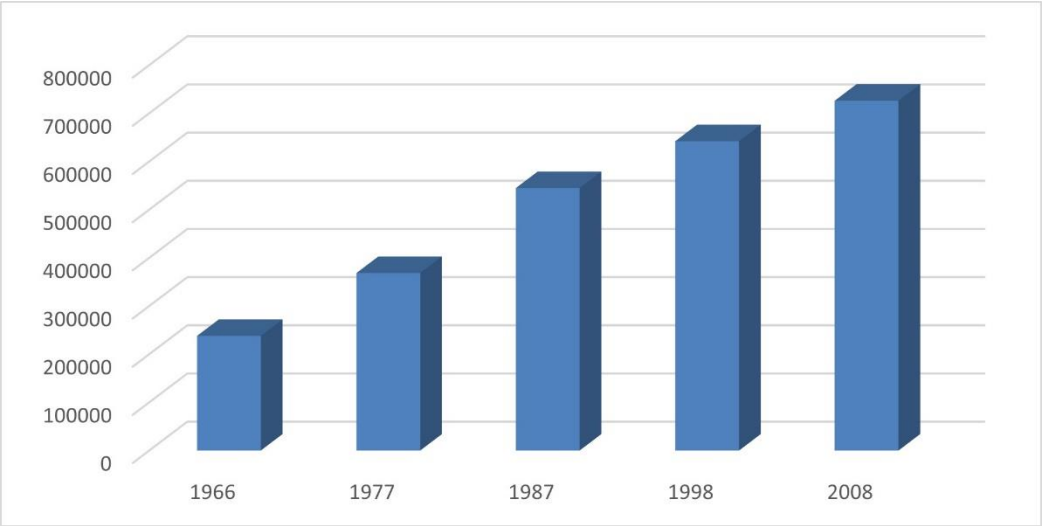


Figure I- 2:Évolution de la population de la wilaya de Relizane(1996-2008)

3 Contexte agricole :

La wilaya de Relizane est caractérisée par sa vocation agricole, elle est connue pour la fertilité de ses terres.

Cette vocation est justifiée par simple relief où se trouve la plaine de la mina d'une part, et celle de bas Chéliff de l'autre part formant une bande centrale.

La répartition des terres dans la région d'étude se présente comme suit :

Superficie agricole totale (S.A.T) : est de l'ordre de 297 387 ha et elle comprend :

- Les pacages et parcours : terres sur lesquelles ne s'effectuent aucune façon culturale depuis au moins 5 ans, elles servent au pacage des animaux elles s'étendent sur 6 062 ha et représentent 2,03 % de la S.A.T.
- Terres improductives des exploitations agricoles : ces terres comprennent les fermes, bâtiments, cours, aires de battage, chemins, canaux, ravins, pistes etc.…, elles s'étendent sur 9 450 ha, elles représentent 3,17 % de la S.AT.
- Superficie Agricole Utile (S.A.U) :terres sur lesquelles sont cultivées des spéculations depuis au moins 5 ans, elles s'étendent sur une surface de l'ordre de 281 875 ha, soit 94,78 % de la S.A.T et elle se répartit comme suit :

Cultures herbacées	194863 ha	soit 69,13 % de la S.A.U
Terres au repos	71559 ha	soit 25,38 % de la S.A.U
Plantations fruitières	14494 ha	soit 05,14 % de la S.A.U
Vignobles	939 ha	soit 0,33 % de la S.A.U
Prairies naturelles	20 ha	soit 0,007 % de la S.A.U

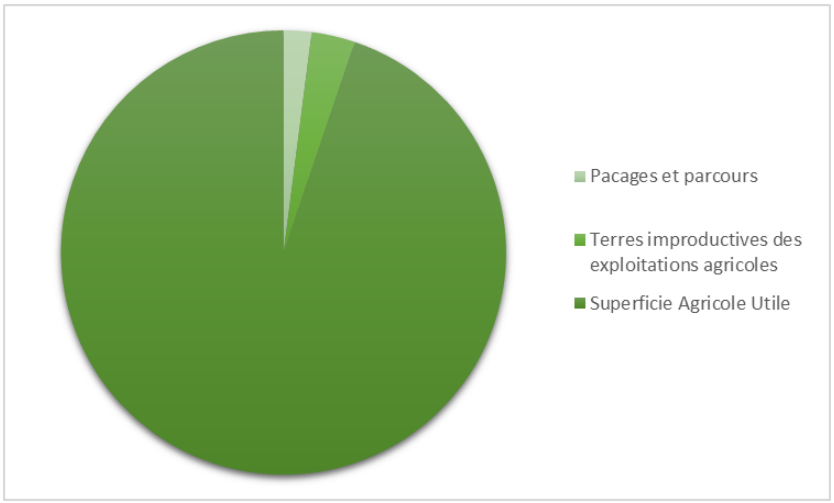


Figure I- 3:Répartition de la superficie agricole totale 2018-2019

4 Aperçu climatique :

Dans cette étude, les données utilisées ont été reprises à partir des travaux antérieurs basés sur les informations issues de l'Office National de la Météorologie (ONM) et de l'Agence Nationale Régionale des Ressources Hydriques(ANRH).

Le tableau I-2 présente les principales caractéristiques des stations choisies , notamment la latitude, la longitude et l'altitude.

Tableau I- 2:Coordonnées des stations pluviométriques

Station	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Oued El-Djemàa	315,1	277, 3	75
Relizane	304,3	272,2	80
Yellel	288,8	272,0	120

(ANRH)

4.1 Précipitations :

Les précipitations constituent un facteur déterminant de l'hydrologie régionale. Elles conditionnent non seulement l'écoulement saisonnier et le régime des cours d'eau, mais influencent également de manière directe la recharge et la dynamique des nappes phréatiques.

4.1.1 Précipitations mensuelles :

Les variations moyennes mensuelles des précipitations des trois stations sont portées dans le tableau suivant.

Tableau I- 3:Précipitations moyennes mensuelles (1990-2000)

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	PP annuelle
Station d'Oued El Djemaa	33,57	40,83	34,47	30,08	17,24	2,35	0,98	5,09	19,73	29,09	39,53	32,33	285,29
Station de Relizane	32,65	33,72	31,68	24,82	16,31	5,42	0,69	3,46	14,81	24,15	33,07	25,78	246,56
Station de Yellel	40	42,3	38,2	37,1	19,3	3,5	2,6	2,2	16,5	30,1	47	34,5	313,3

- **Station d'oued El-Djemàa :**

On constate que la valeur maximale est observée au mois de février avec 40,83 mm, et pour la valeur minimale au moins de juillet avec 0,98 mm.

- **Stations de Relizane** :

Au mois de février on observe le maximum 33,72 mm, alors que le minimum 0,69 mm est enregistré au mois de Juillet.

- **Station de Yellel :**

La valeur maximale s'observe au mois de novembre avec 47 mm et 2,2 mm comme valeur minimale au mois d'août.

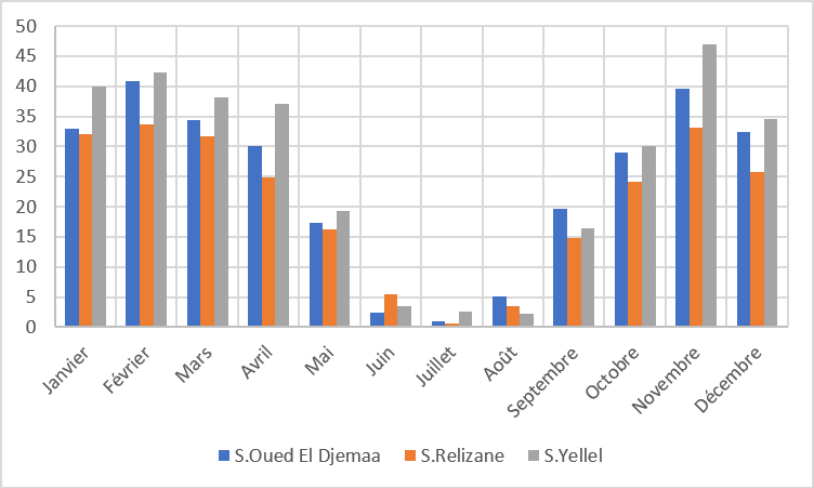


Figure I- 4:Variations des précipitations moyennes mensuelles (1990-2000)

4.1.2 Précipitations saisonnières:

Cette méthode consiste à regrouper les mois par trimestres de manière à ce que chaque saison soit centrée autour d'un solstice ou d'un équinoxe. Cette segmentation permet de définir quatre totaux pluviométriques saisonniers répartis comme suit (tableau I-4):

- **Hiver :** Décembre, Janvier et Février.
- **Printemps :** Mars, Avril et Mai.
- **Été :** Juin, Juillet et Août.
- **Automne :** Septembre, Octobre et Novembre.

Tableau I- 4:Précipitations saisonnières (1990-2000)

Saison / Station	Moyenne saisonnière	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Indice saisonnier
Oued El-Djemàa	mm	99,7	126,8	90,1	11,5	H.A.P.E
	%	30,4	38,64	27,46	3,5	
Relizane	mm	72,03	92,15	72,81	9,57	H.P.A.E
	%	29,21	37,37	29,53	3,88	
Station de Yellel	mm	93,6	116,8	94,6	8,3	H.P.A.E
	%	29,86	37,28	30,18	2,65	

L'analyse des résultats met en évidence que l'hiver constitue la saison la plus pluvieuse pour les trois stations. Tandis que l'Été représente la période la plus sèche marquée par un déficit pluviométrique prononcé.

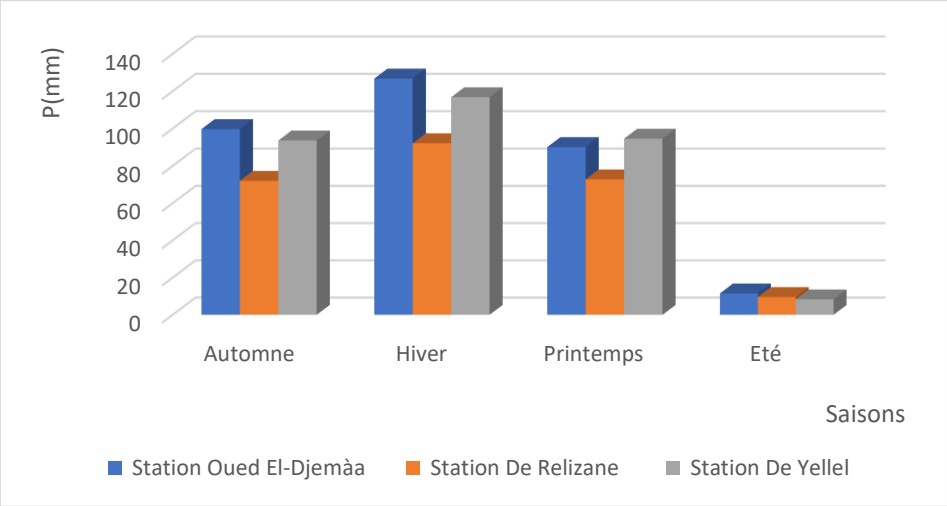


Figure I- 5:Variations saisonnières des précipitations(1990-2000)

4.1.3 Précipitations annuelles:

L'évolution de la pluviométrie annuelle sur la période allant de 1990 à 2000 est illustrée et détaillée dans le Tableau I-5.

Tableau I- 5:Répartition des précipitations annuelles (1990-2000)

Station / année	Relizane	Yellel	Oued El-Djemàa
1990	299	358,1	329,3
1991	237,4	293,7	251,1
1992	183	207,6	203,6
1993	226,8	230,2	213,6
1994	205,8	196,4	274,3
1995	386,9	487,0	453,1
1996	177,5	249,6	252,8
1997	227,2	314,0	350,6
1998	223,1	265,3	227,2
1999	180,0	166,4	201,5
2000	365,4	373,9	381,1
Moyenne (mm)	246,5	285,65	285,29

- **Station de Relizane :**

La hauteur annuelle des précipitations pour la période considérée varie de 177,5 mm enregistrée en 1996 et 386,9 mm enregistrée en 1995 ; tandis que la moyenne annuelle est égale à 246,55 mm.

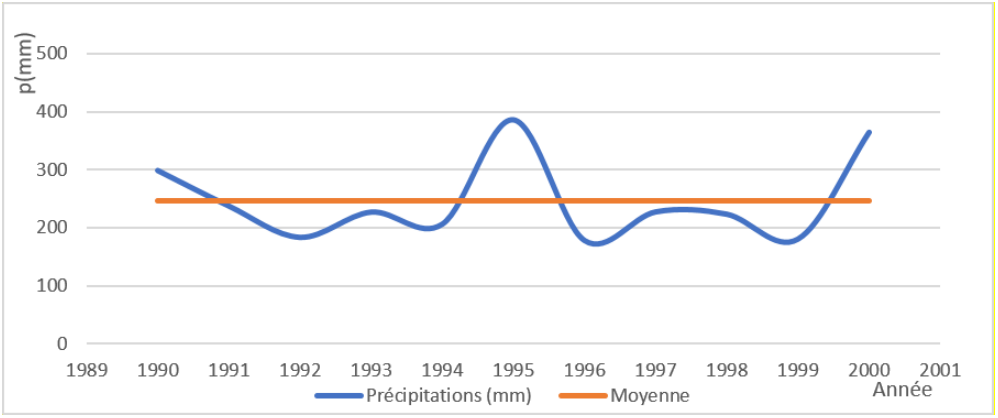


Figure I- 6:Précipitations annuelles de la station de Relizane (1990-2000)

- **Station de Yellel** :

La valeur maximale des précipitations est observée en 1995 avec 478,0 mm, la valeur minimale annuelle est enregistrée en 1999 avec 166,4 mm .

La moyenne des précipitations annuelles est évaluée à 285,65 mm.

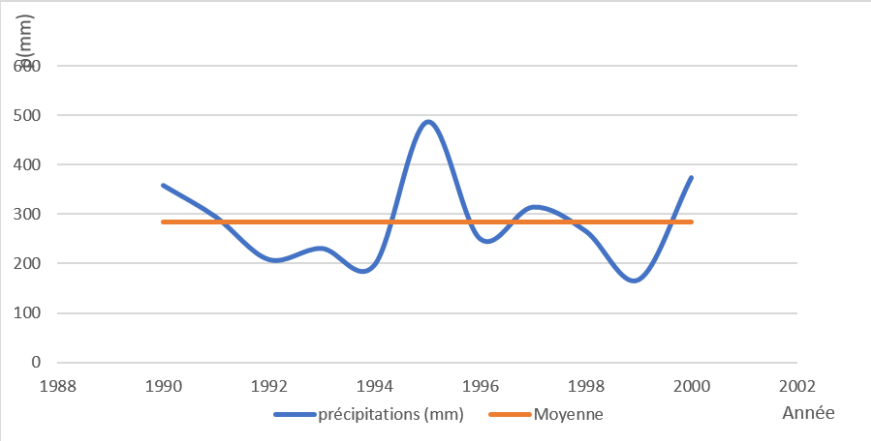


Figure I- 7:Précipitations annuelles de la station de Yellel (1990-2000)

- **Station D'oued El-Djemàa :**

Pendant les années d'observations, les maximas de la pluviosité ont été observés en 1995 avec 453,1 mm et le minimum 201,5 mm en 1999 .La valeur de la moyenne annuelle des précipitations est estimée par 285,29 mm.

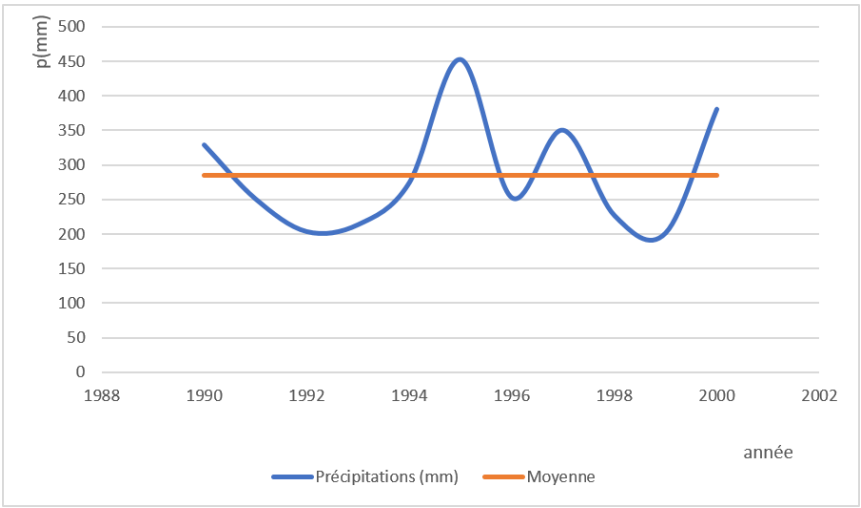


Figure I- 8:Précipitations annuelles de la station d'Oued El Djemaa (1990-2000)

4.2 Température :

La température représente un paramètre climatique majeur qui régit le climat d'une région. Son analyse permet d'évaluer l'évapotranspiration ainsi que le déficit d'écoulement, facilitant ainsi l'établissement du bilan hydrique. Pour notre zone d'étude, on dispose seulement des données la station de Oued El-Djemâa sur la période allant de 1990 à 2000 (tableau I-6) .

Tableau I- 6:Températures moyennes de la station d'Oued El Djemaa

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Moyenne
Moyenne (m)	3,94	3,44	5,70	7,50	13,02	15,07	18,97	19,88	17,00	12,72	8,03	5,64	10,91
Moyenne (M)	17,50	19,44	22,74	24,7	29,38	34,53	38,15	37,79	32,82	27,26	21,92	18,38	27,05
$\frac{m+M}{2}$	10,72	11,44	14,22	16,10	21,20	24,80	28,56	28,83	24,91	19,99	14,97	12,01	18,98

- Les minimas : de Novembre à Avril , ils sont inférieur à 10°C et la valeur la plus baisse se présenter en Février avec 3,44°C.
- Les maximas : ils s'échelonnent de 17,5°C en janvier à 38,15°C en juillet.

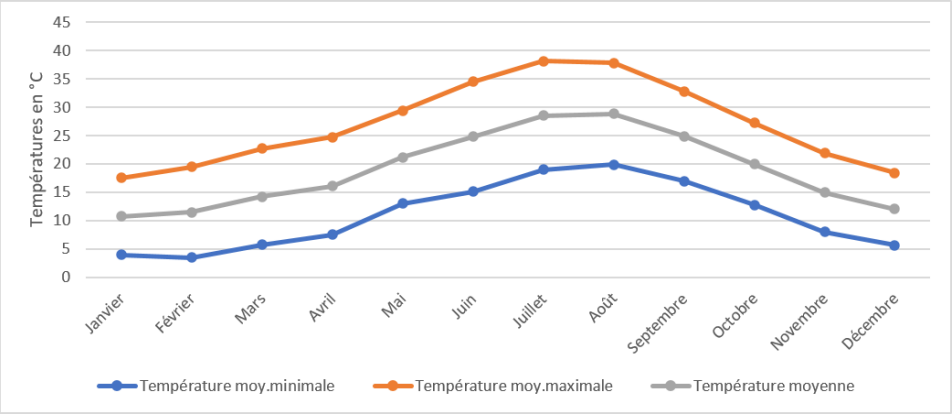


Figure I- 9:Températures moyennes mensuelles de la station d'Oued El Djemaa (1990-2000)

4.3 Le climat de notre secteur :

La notion de climat est extrêmement complexe et difficile à définir de manière univoque. Pour pallier cette difficulté, divers auteurs ont proposé une série d'indices permettant de caractériser, par analogie, le domaine de variation des paramètres météorologiques. Dans cette perspective, on appliquera ces méthodes à notre zone d'étude.

4.3.1 Méthode pluviothermique de Gaussen et Bagnouls :

L'analyse du diagramme ombrothermique permet de visualiser l'alternance et l'étendue des périodes sèches et humides au cours de l'année.

Selon la méthode de Gaussen et Bagnouls, un mois est défini comme sec lorsque le cumul moyen des précipitations (P), exprimé en millimètres, est inférieur ou égal au double de la température moyenne (T), exprimée en degrés Celsius, soit :$P \leq 2T$

L'application de cette relation permet de construire des diagrammes où les échelles sont normalisées (l'échelle des précipitations est le double de celle des températures : $P = 2T$).

Sur le graphe (figure I-10) ,deux situations peuvent être distinguées :

- Période sèche est l'été qui s'étale sur sept mois d'Avril à Octobre ,elle est identifiée lorsque la courbe des températures se situe au-dessus de celle des précipitations.
- Période humide s'étalant sur cinq mois du Novembre au Mars, elle correspond à l'intervalle où la courbe des précipitations surpasse celle des températures.

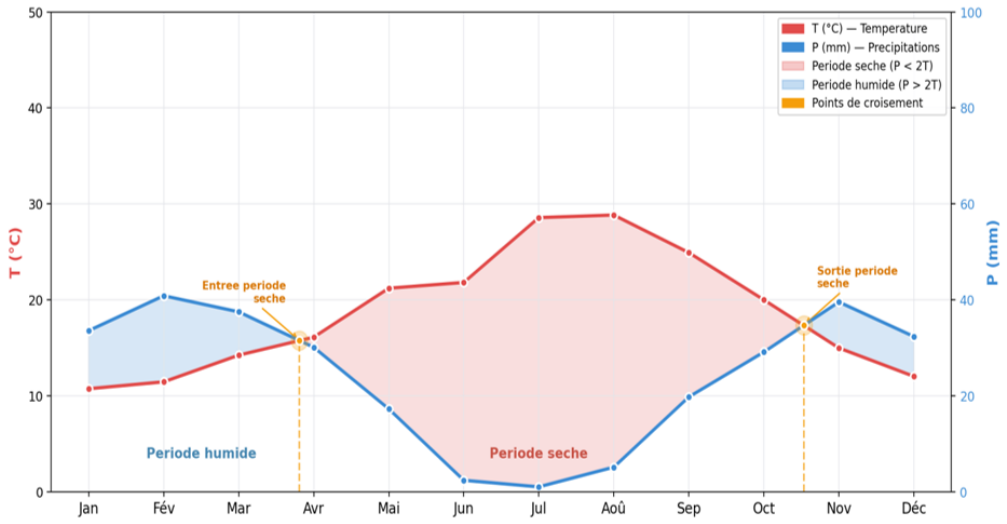


Figure I- 10:Diagramme ombrothermique de la station d'Oued El Djemaa

4.3.2 Indice d'aridité de Martonne :

L'indice d'aridité annuelle selon De Martonne étant donné par la formule :

$$I = \frac{p}{T + 10}$$

Où :

P : Précipitations moyennes annuelles.

T : Températures moyennes annuelles.

Les résultats du module de l'indice sont récapitulés dans le tableau ci-dessous.

Tableau I- 7:Valeurs de l'indice de Martonne

	Pan (mm)	Tan (°C)	Indice de Martonne
Station d'Oued El-Djemàa	285,29	18,98	9,84

Pour la station d'Oued El-Djemaa l'indice de De Martonne égale à 9.84. L'utilisation du diagramme de De Martonne détermine pour notre région d'étude un climat aride (Figure I-11).

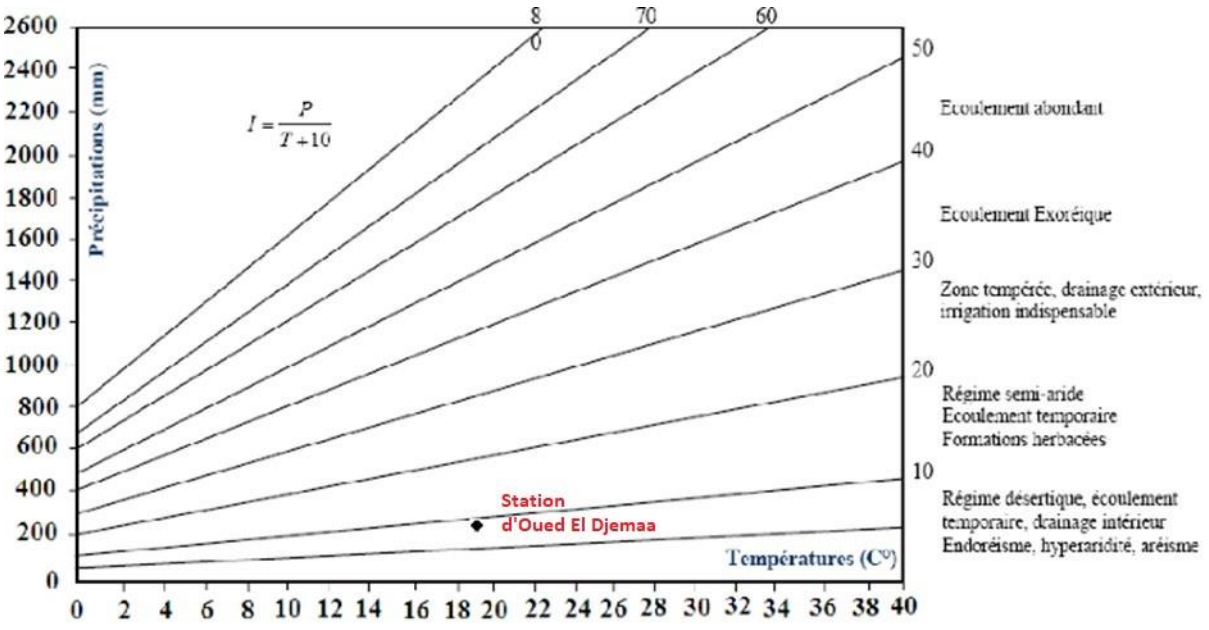


Figure I- 11:Diagramme d' indice d'aridité (d'après De Martonne 1925)

4.3.3 Indice climatique d'Emberger :

Pour situer le climat de la plaine étudiée, on utilise le climagramme d'Emberger qui définit les indices d'aridité par la relation suivante :

$$Q = \frac{2000.P}{M^2 - m^2}$$

Avec:

Q: quotient pluviométrique d'Emberger.

P: précipitations annuelles (mm).

M: moyenne des maxima annuels du plus chaud en degrés absolus (K°).

m: moyenne des minima annuels du plus froid en degrés absolus (K°).

L'application de la relation a donné une valeur de 27,97 représentant un étage climatique aride avec hiver doux. (Figure I-12).

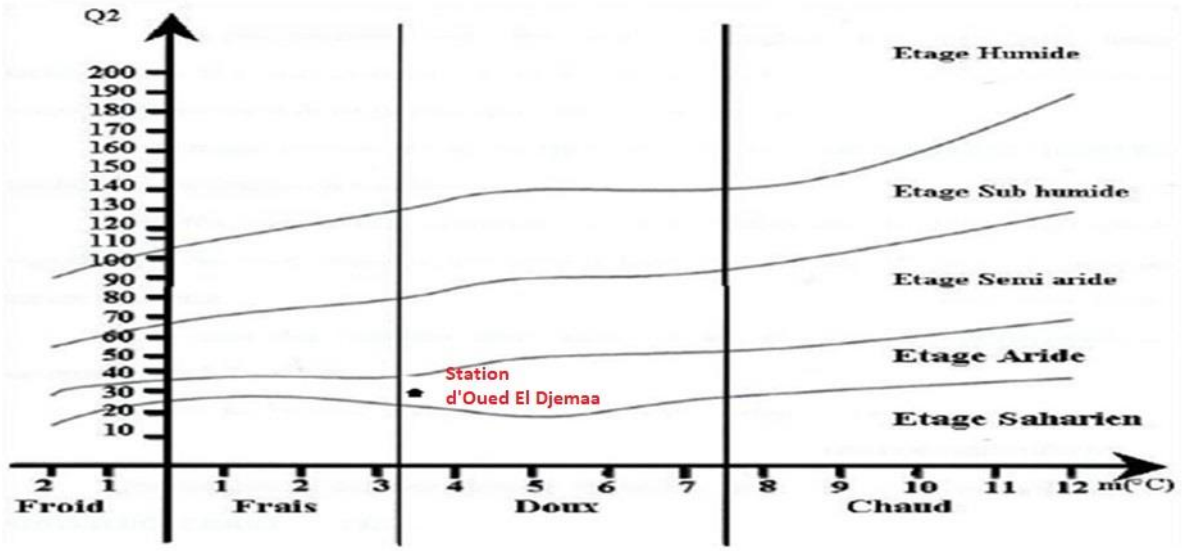


Figure I- 12:: Climagramme d'Emberger de la station d'Oued El-Djemaa

4.4 Bilan hydrique:

4.4.1 Évapotranspiration potentielle (ETP) (la méthode de Thornthwaite):

L'évapotranspiration potentielle (ETP) correspond à la valeur maximale du flux de vapeur d'eau provenant de la respiration des plantes et de l'évaporation des surfaces de contact plante atmosphère et sol-atmosphère (Bonté, 2006). L'ETP est indépendante de la disponibilité réelle en eau. Plusieurs méthodes permettent d'estimer ou de mesurer l'évapotranspiration.

$$\mathbf{ETP=16(\frac{10T}{I})^{a}K}$$

Où :

ETP : évapotranspiration potentielle corrigée

T : température moyenne mensuelle en °C

I : indice annuel de chaleur , $I = \sum_{i=1}^{12} i$

i : indice mensuel de chaleur ,$i=[T/5]^{1,514}$

a =$0,6751*10^{-6}$ I – $0,771*10^{-4}$ I^2 + 0,01792 I + 0,49239

k :facteur correctif dépend de latilude de la station.

Les résultats de l'évapotranspiration potentielle (ETP) calculées par la méthode de Thornthwaite fournissent des valeurs moyennes élevées. Elles varient selon les stations et surtout selon les saisons.

Pour la station d'Oued El Djemaa , les résultats calculés de l'évapotranspiration varient de 18,11 mm (en janvier) à 193,51 mm (en juillet).

Tableau I- 8:Répartition mensuelle de l'évapotranspiration potentielle

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
ETP	18,11	20,24	38,42	52,54	102,91	142,25	193,51	186,08	122,20	73,08	35,67	22,37

4.4.2 Calcul de bilan hydrique:

D'après le tableau ci-dessous on constate que l'excédent et l'écoulement sont nuls.

Tableau I- 9:Calcul de bilan hydrologique de la station d'Oued El-Djemâa

Mois	N	D	J	F	M	A	Mai	J	Jui	Aou	S	O
P (mm)	39,53	32,33	33,57	40,83	34,47	30,08	17,24	2,35	0,98	5,09	19,73	29,09
ETP Corrigée	35,67	22,37	18,11	20,24	38,42	52,54	102,91	142,25	193,51	186,08	122,20	73,08
Variation De RFU.	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
RFU.	3,86	13,82	29,28	49,87	45,92	23,46	0	0	0	0	0	0
ETR.	35,67	22,37	18,11	20,24	38,42	52,54	40,70	2.35	0.98	5.09	19.73	29.09
EXD.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DEF.	0	0	0	0	0	0	62,21	139,90	192,53	180,99	102,47	43,99

5 Hydrographie :

Afin de mieux comprendre l'organisation des écoulements superficiels dans la région d'étude, il est nécessaire d'analyser les caractéristiques hydrographiques de la wilaya de Relizane.

Le réseau hydrographique régional est structuré autour de plusieurs sous-bassins versants appartenant principalement au bassin de la Mina et celui de Bas-Cheliff.

La figure 4.4-1 illustre la répartition du réseau hydrographique ainsi que les différents sous-bassins versants présents dans la région étudiée.

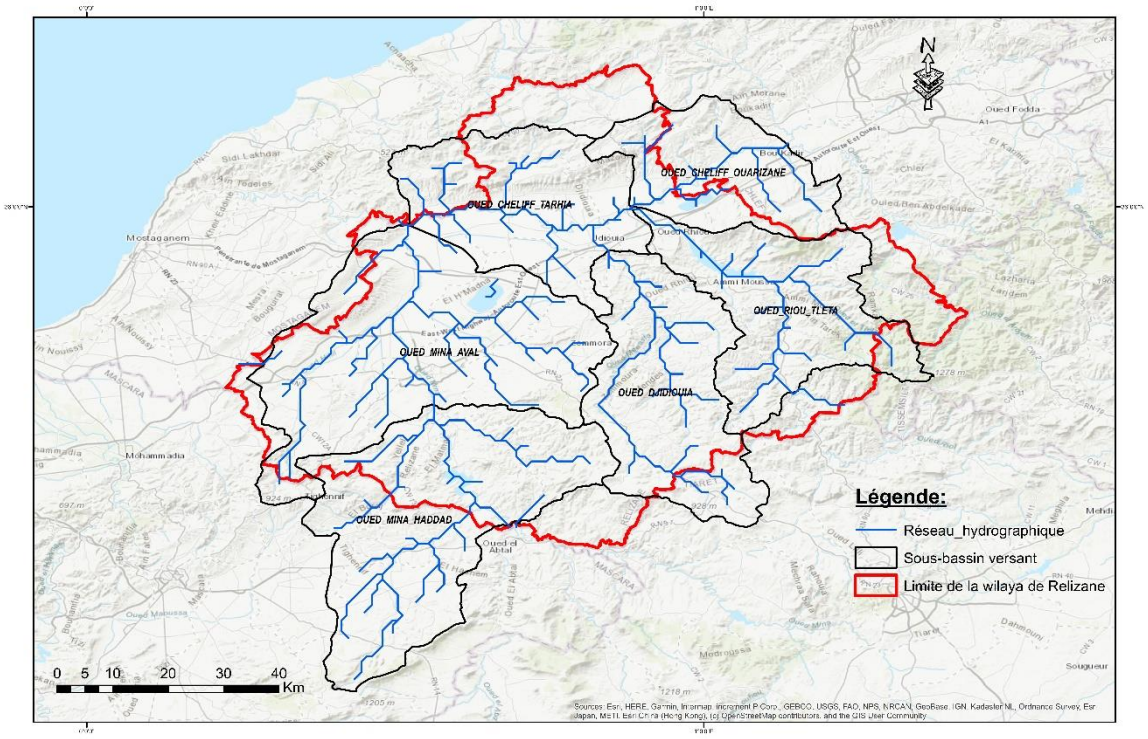


Figure I- 13:Carte du réseau hydrographique et des sous-bassins versants de la wilaya de Relizane

L'analyse de la carte hydrographique montre que la wilaya de Relizane est caractérisée par un réseau hydrographique relativement développé, structuré autour de plusieurs sous-bassins versants, notamment l'Oued Mina aval, l'Oued Mina Haddad et l'Oued Djidiouia.
Ces unités hydrographiques assurent le drainage des eaux de ruissellement vers les principaux exutoires régionaux.

Le réseau hydrographique observé présente un caractère majoritairement temporaire, fortement influencé par les conditions climatiques de la région. Les écoulements deviennent plus importants durant les périodes pluvieuses, tandis qu'ils diminuent considérablement pendant la saison sèche en raison de la faiblesse des précipitations et de l'importance de l'évapotranspiration.

Cette organisation hydrographique joue un rôle important dans le drainage naturel des eaux superficielles, le transport des sédiments ainsi que dans l'alimentation indirecte des nappes souterraines de la région.

La wilaya de Relizane dispose de trois principaux barrages totalisant une capacité de stockage d'environ 561 millions de m³, permettant de régulariser près de 200 hm³/an (Tableau I-10). Cependant, en raison des variations climatiques et de l'irrégularité des précipitations, le volume d'eau actuellement stocké est estimé à 295 hm³, soit environ 52,6 % de la capacité totale de remplissage.

Tableau I- 10:Principaux barrages de la wilaya de Relizane

Barrage	Date de mise en eau	Capacité Initial / Actuel Hm 3	Volume régularisé Initial / Actuel Hm3	Usage	Grand Périmètre Irriguré
S.M.Benaouda	1978	225/153	120/70	AEP-Irrigation	La Mina
Gargar	1989	450/358	120/90	AEP-Irrigation	Le Bas du Chéliff
Merdja Sidi Abed	1984	58/50	50/40	AEP-Irrigation	
TOTAL	/	733/561	290/200	AEP-Irrigation	

(DRE de Relizane)

Conclusion :

Ce premier chapitre a permis de présenter les principales caractéristiques naturelles et physiques de la région d'étude.
L'analyse de la situation géographique, administrative, démographique et agricole a mis en évidence l'importance socio-économique de cette région, dont l'activité repose essentiellement sur l'agriculture et nécessite une forte mobilisation des ressources en eau.

L'étude climatologique a révélé que la région est soumise à un climat aride caractérisé par une faible pluviométrie, une irrégularité des précipitations et une évapotranspiration relativement élevée, influençant directement les ressources hydriques disponibles et les conditions de recharge des nappes souterraines.

Par ailleurs, l'étude hydrographique a montré que la wilaya de Relizane dispose d'un réseau hydrographique structuré autour de plusieurs bassins versants et d'importants ouvrages hydrauliques, notamment les barrages, contribuant à l'alimentation en eau potable et à l'irrigation. Toutefois, les contraintes climatiques et la variabilité des ressources en eau imposent une gestion rationnelle et durable afin de préserver les potentialités hydriques de la région.

Chapitre II : Caractéristiques géologiques et hydrogéologiques

INTRODUCTION :

Le chapitre est consacré à l'étude du cadre géologique, hydrogéologique et hydrochimique de la région d'étude. Cette analyse constitue une étape fondamentale pour la compréhension du fonctionnement des ressources en eau souterraine ainsi que des mécanismes contrôlant leur circulation, leur stockage et leur qualité.

L'étude géologique permet d'identifier les différentes formations lithologiques, leur âge stratigraphique ainsi que les principales structures tectoniques influençant la dynamique des eaux souterraines.

Par ailleurs, l'étude hydrogéologique met l'accent sur les principaux aquifères présents dans la région, leurs limites latérales et verticales, ainsi que les caractéristiques piézométriques contrôlant les écoulements souterrains et les processus de recharge des nappes.

Enfin, l'étude hydrochimique vise à évaluer les caractéristiques physicochimiques des eaux souterraines à travers l'analyse des principaux cations, anions et paramètres physicochimiques, notamment le potentiel hydrogène (pH) et la conductivité électrique, afin d'apprécier la qualité des eaux et leur aptitude à différents usages.

1 Cadre géologique de la région d'étude :

La carte géologique constitue un document fondamental permettant d'identifier la répartition spatiale des différentes formations lithologiques affleurantes ainsi que les principales structures tectoniques présentes dans la région d'étude. Elle fournit des informations essentielles concernant l'âge des formations, leur nature lithologique et leurs relations stratigraphiques.

la carte géologique (figure II-1) met en évidence les formations géologiques qui affleurent au niveau du territoire de la Wilaya de Relizane du plus récent au plus ancien sont:

- **Les terrains du Quaternaire** : Ces terrains sont très développés dans la zone d'étude, ils affleurent essentiellement dans les plaines de la Mina et du bas Chélif. Ils sont constitués par des calcaires lacustres et marins du Villafranchien ,grés marins et formations dunaires du Cambrien recouvert à leurs tour par de dépôts alluvionnaires, regs et terrasses du Quaternaire terminal ,l'épaisseur de cette formation est de 40 à 50 m. À l'intérieur de cette formations affleure Sebkhat de Ben Ziane qui est constitué par des alluvions actuelles ,chotts et limons croute gypso-salines(A).
- **Pliocène** : Il est constitué par deux faciès : Faciès marin transgressif sur les séries gypseuses et représenté par des marnes bleues à la partie inférieure et de grés Astiens dans la partie supérieure (épaisseur égale à 100 m). Le faciès continental est représenté par le dépôt de formations gréso- sableuses et argiles-limoneuses (épaisseur variant de 100 à 150 m).

  Ces deux formations géologiques occupent les fonds des vallées et des Oueds, les plaines et leurs contours jusqu'au piémont des zones de transition et renferment la majorité des nappes phréatiques.
- **Miocène** : Les formations géologiques du Miocène sont constituées par (figure II-2):
  - Formation terminale : Représentée par des marnes à tripolis avec passé calcaire et des lits de silex (épaisseur égale à 80 m), des calcaires à lithothamniées à nodules et filons de gypse. Une série gypseuse médiane (épaisseur égale à 300 m) renfermant 50% de gypse.
  - Formation médiane : Composée à la base d'une série détritique de conglomérats, de grés grossiers marneux et de marnes bariolées sableuses à filonnets de gypse surmontée d'une série de marnes bleues plus au moins sableuses, recouvertes par des éboulis de pente calcaires (épaisseur égale

à 500 m).

Ce type de formation est considéré comme un début d'une série sédimentaire en discordance (discontinuité spatio-temporelle) angulaire sur une autre sérié sédimentaire après des mouvements tectoniques.

- Formation de base: Composée de marnes bleues à bancs de grés calcaires et de conglomérats d'une puissance de 100 à 150 m d'épaisseur.

- **Oligocène**: Il est constitué de marno-calcaires et des calcaires à silex (épaisseur égale à 100 m).
- ***Eocène*** : Il est constitué de calcaires et de marnes à silex (épaisseur variant de 200 à 250 m).
- **Crétacé** : Il est composé de trois formations :
    - Crétacé supérieur de l'unité Sénonienne: il est formé des marnes et de calcaires avec une épaisseur moyenne de 200 m.
    - Crétacé inférieur et moyen: Il est constitué par des marnes grises ou noirâtres gris-bleutées.
    - Crétacé inférieur des unités telliennes: Il est représenté par des argiles noires, des marnes du Néocomien et des alternances variables de marnes sombres et des bancs calcaires du Vraconien-Cénomanien, épaisseur totale de cette série est de 200 m.
- **Trias** : Il est représenté essentiellement par des diapirs renfermant à la base du sel massif et au cap de l'anhydrite et des calcaires dolomitiques. Cette formation géologique est généralement liée aux accidents géologiques (failles) ; L'affleurement du trias est faible dans la région, il est en contact avec les formations du Crétacé au niveau du mont d'Ouarsenis et Beni Chougrane. Au niveau de la trainée de l'Oued Ben Demia montre que ces gypses sont associés à des dolomies, des calcaires dolomitiques et des marnes rouges à des cristaux de quartz bipyramidés.

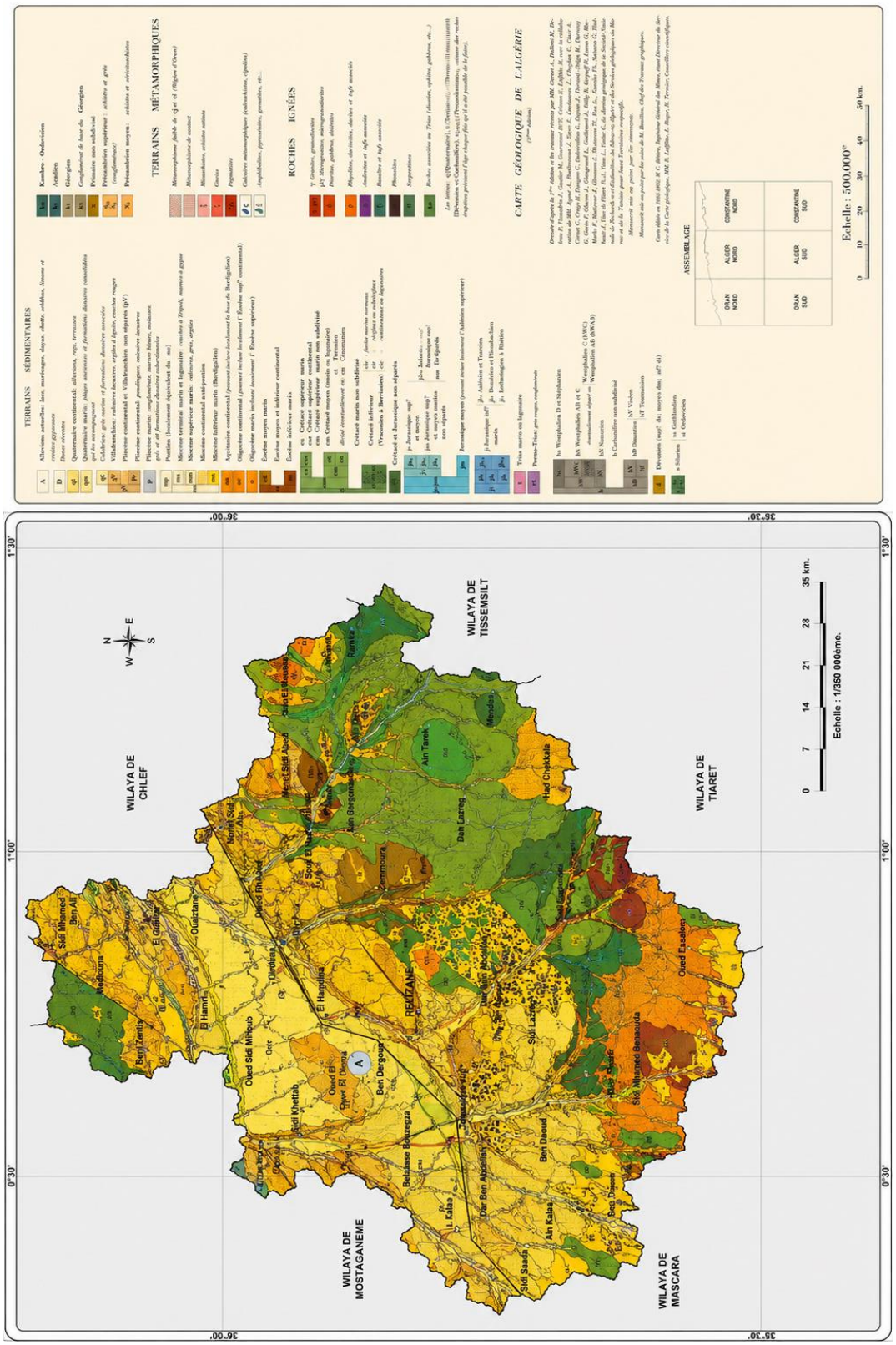


Figure II- 1:Carte géologique de la région d'étude

(extraite de la carte géologique d'Algérie)

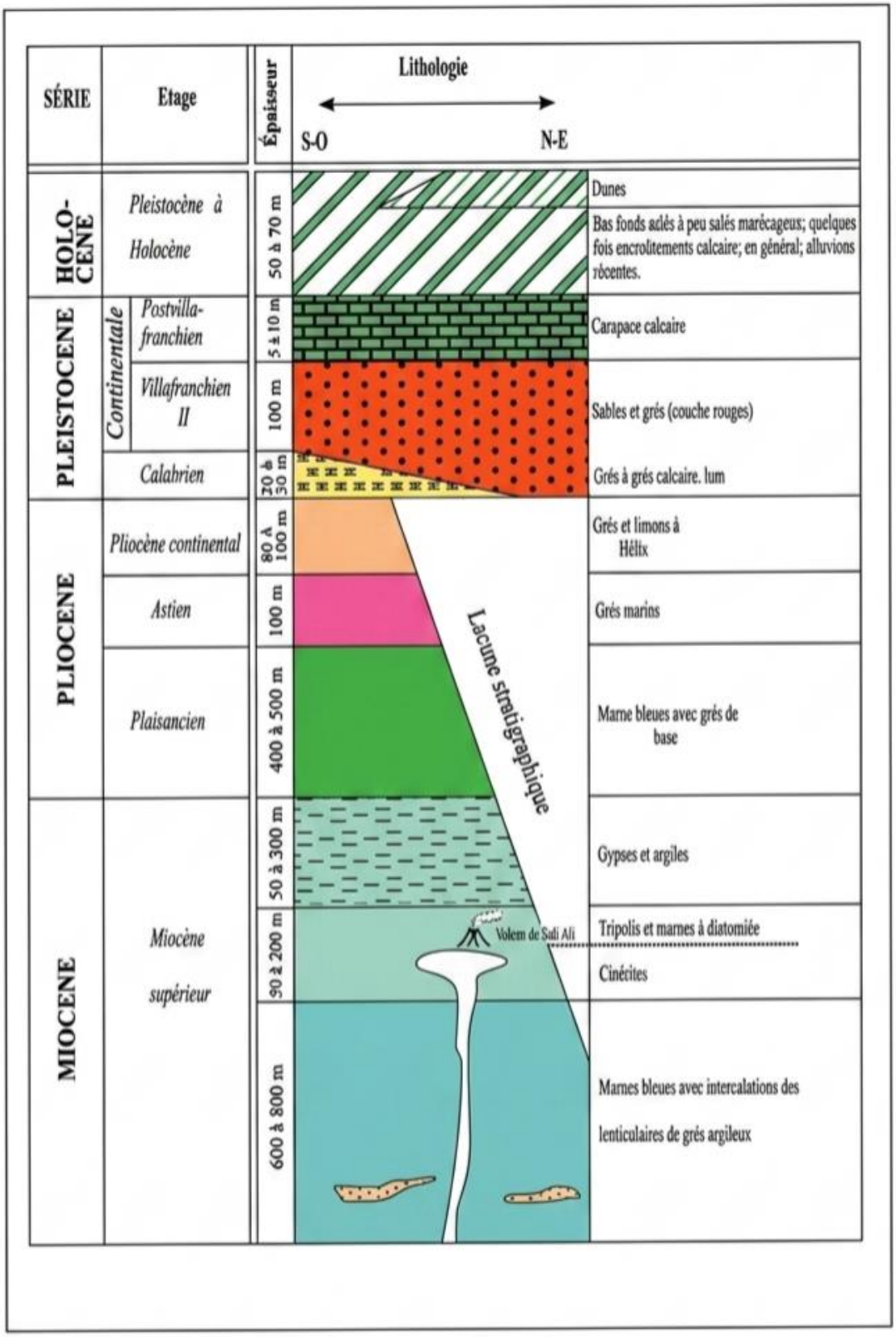


Figure II- 2:Log litho-stratigraphique général (d'après A.PERRODON,1957)

(in (in Boudehedje A. ;Khellouf A.2008)

2 Aspect structural :

Le contexte structural de la région d'étude résulte de plusieurs phases tectoniques successives ayant affecté le bassin du Chéliff et les reliefs environnants. Ces mouvements tectoniques ont contribué à la formation de plis, anticlinaux, synclinaux et failles contrôlant l'organisation géomorphologique et hydrogéologique de la région.

La structure géologique est dominée par des plis d'orientation générale Sud-Ouest / Nord-Est, associés à plusieurs structures anticlinales et synclinales. Ces structures sont particulièrement visibles dans les reliefs de l'Atlas Tellien et des monts du Dahra ainsi que dans le chaînon de Bel Hacel.

La partie occidentale de la plaine de la Mina, notamment la plaine de Yellel, correspond à une vaste structure synclinale limitée par les anticlinaux de Bouguirat et de Guerbouça. Les données sismiques montrent également un faible pendage vers le Nord, assimilant une partie de cette plaine à un monoclinal plongeant sous le flanc sud de l'Ouarsenis.

Par ailleurs, plusieurs systèmes de failles affectent la région, notamment selon les directions principales N10–20°, N60° et N140°. Ces accidents tectoniques influencent fortement la circulation des eaux souterraines en favorisant les phénomènes de fracturation et de perméabilité secondaire.

Les structures tectoniques jouent ainsi un rôle déterminant dans la recharge des nappes, l'écoulement souterrain et la localisation des zones potentielles d'exploitation hydrogéologique.

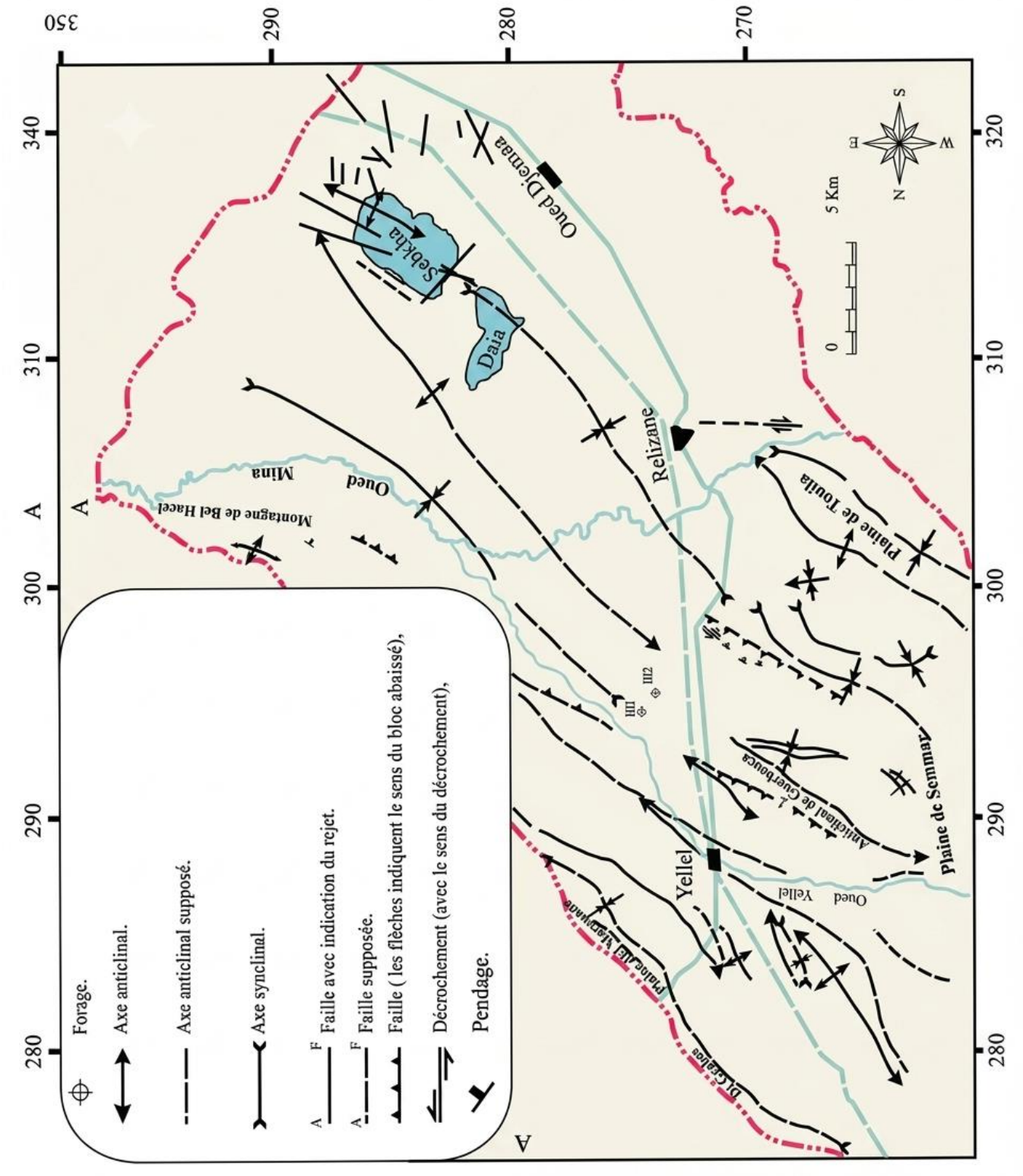


Figure II- 3:Carte structurale de la plaine de la Mina (in Mohamed Bey F.2013)

3 Travaux antérieurs de géophysique :

Plusieurs investigations géophysiques ont été réalisées dans la région du Bas-Chéliff et de la plaine de la Mina afin d'améliorer la connaissance des structures profondes et du fonctionnement hydrogéologique des aquifères.

Les études géophysiques, principalement basées sur les méthodes électriques, ont été menées par différentes institutions spécialisées, notamment la société C.G.G (Compagnie Générale de Géophysique) en 1972. Ces travaux avaient pour objectif la reconnaissance des formations géologiques profondes, la délimitation des structures tectoniques et l'identification des niveaux aquifères potentiels.

Les résultats obtenus ont permis à plusieurs chercheurs, notamment (A. Perrodon 1957), de mieux comprendre la paléogéographie du bassin du Chéliff ainsi que l'évolution sédimentaire du Miocène dans la région.

Ces investigations ont également contribué à la localisation des zones favorables au forage et à l'exploitation des eaux souterraines, grâce à l'identification des formations perméables et des zones fracturées susceptibles de contenir des réserves hydriques importantes.

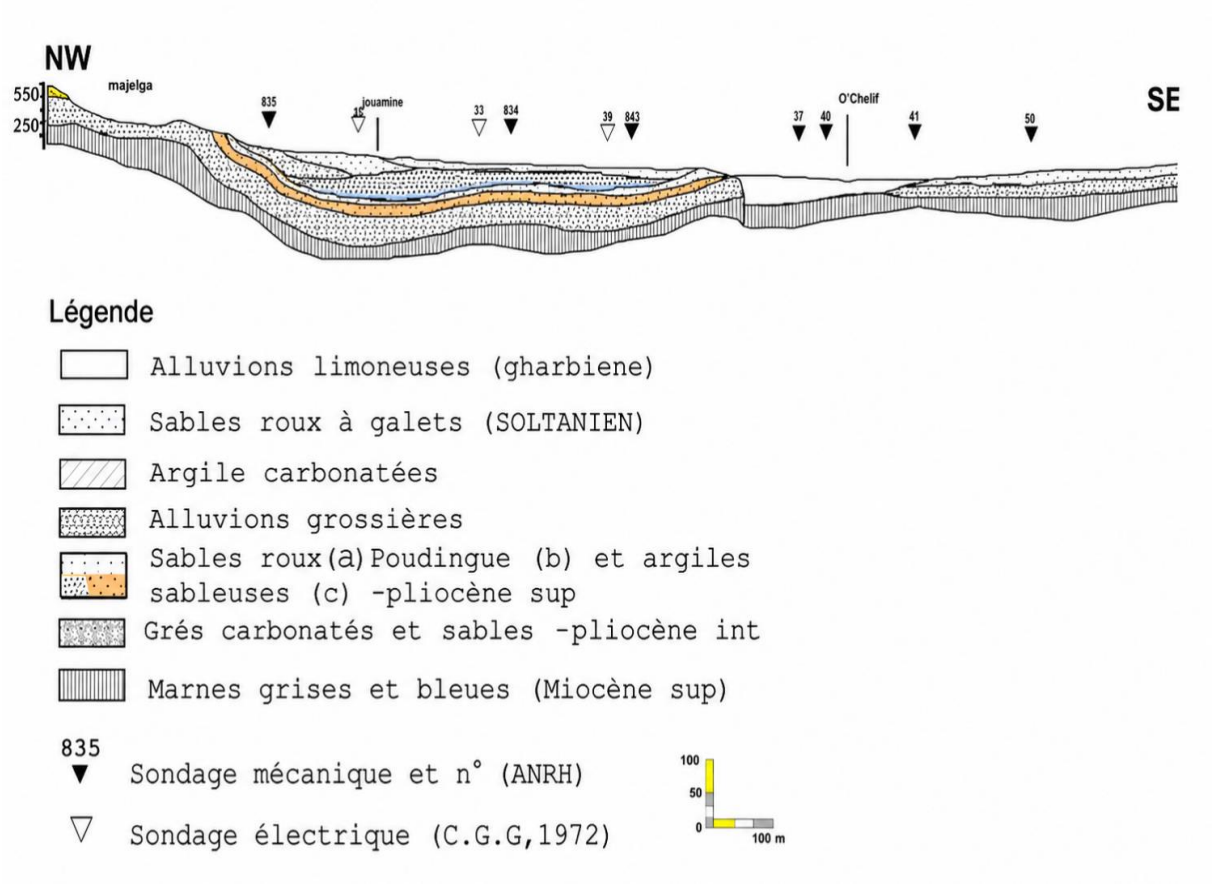


Figure II- 4:Coupe NO-SE établie à travers de la plaine du Cheliff

sur la base des recoupements géologiques et géophysiques (do Rosário , C.E.A 2015)

4 Hydrogéologie :

L'hydrogéologie constitue une branche fondamentale des sciences de la Terre, dédiée à l'étude des eaux souterraines, de leur origine, de leur circulation ainsi que de leurs conditions de stockage au sein des formations géologiques. Elle permet également d'analyser les interactions entre les aquifères et les milieux géologiques environnants, tout en identifiant les facteurs contrôlant la répartition et la disponibilité des ressources en eau souterraine.

Dans la région d'étude, l'approche hydrogéologique revêt une importance particulière en raison de la diversité lithologique et structurale des formations géologiques, qui engendre une variabilité notable des systèmes aquifères, tant en termes de capacité de stockage que de qualité des eaux. Cette analyse permet ainsi de mieux comprendre le fonctionnement des principaux réservoirs aquifères et d'évaluer leur potentiel d'exploitation et leur vulnérabilité.

4.1 Les principaux aquifères :

Les ressources en eau souterraines captées dans la région ont pour origine les principales formations aquifères suivantes :

a) La nappe aquifère des alluvions du Plio-Quaternaire :

Cette nappe constitue l'un des réservoirs aquifères les plus importants de la région. Elle est formée essentiellement d'alluvions quaternaires composées de sables, de graviers, de galets et de limons déposés par les oueds, notamment l'Oued Mina.

Les formations grossières, particulièrement les galets et les graviers, présentent une perméabilité relativement élevée, favorisant l'infiltration, le stockage et la circulation des eaux souterraines. Cette nappe est généralement exploitée pour l'alimentation en eau potable, l'irrigation agricole ainsi que certains usages industriels.

Deux sortes de nappes superposées sont distinguées :

- **Nappe phréatique** : ce sont contenues surtout dans les formations alluvionnaires du Quaternaire récent.
  Ces eaux emprisonnées dans les couches de limon sableux mélangées avec des gravillons siliceux ou dans les dépôts sablo-gravillons .
  Les couches aquifères étant habituellement disposées entre les argiles compactes sont de faible épaisseurs (3,5 à 8 m) et limités dans la superficie.
  Les bancs détritiques (mélange de sables et gravillons) situés plus bas sont chargés d'une grande quantité d'eau.
- **Nappe profonde captive** : cette nappe est contenue dans les formations du Villafranchien, il s'agit des réservoirs constitués par les grands systèmes de lentilles d'éléments détritiques grossiers en relation avec les limons , formées localement de petites lentilles plus récentes.
  Ces nappes referment une ressources en eau assez importante par rapport aux autres aquifères.

b) La nappe captive des grès astiens

Cette nappe est associée aux formations gréseuses présentes dans plusieurs secteurs de la plaine de la Mina et du bassin du Chéliff. L'aquifère astien est constitué par des grès fins peu argileux souvent à ciment calcaire.

ls sont visibles sur les flancs de l'anticlinal de Guerbousa, sur le flanc sud-est des Djebels Mekhlia et Bel Hacel, ensuite ils plongent sous les formations du Quaternaire vers le centre de la plaine. Ces formations ont une perméabilité de fracture non négligeable en revanche leur perméabilité d'interstices est généralement modérée du fait de la cimentation calcaire.

Le toit de cet aquifère est représenté par les formations du Pliocène continental dans lesquels, les changements verticaux et horizontaux sont fréquents. Il constitue donc une barrière semi étanche favorisant les échanges verticaux ascendants. Le mur de l'aquifère, est représenté par les marnes bleues du Plaisancien.

4.2 Les limites latérales des aquifères :

Les limites latérales des aquifères correspondent aux frontières géologiques qui contrôlent l'extension horizontale des réservoirs souterrains. Elles sont généralement déterminées par des variations lithologiques, des structures tectoniques ou des limites morphologiques naturelles.

Dans la région d'étude, les aquifères sont limités latéralement par la présence de formations peu perméables ou imperméables, notamment les marnes et les argiles, qui réduisent la circulation des eaux souterraines.

Par ailleurs, certaines structures tectoniques telles que les failles et les plis peuvent également jouer le rôle de limites hydrogéologiques, soit en favorisant les écoulements souterrains, soit en constituant des barrières hydrauliques.

Les reliefs montagneux environnants, notamment les massifs de l'Ouarsenis et du Dahra, contribuent également à la délimitation naturelle des systèmes aquifères régionaux.

4.3 Les limites verticales des aquifères :

Les limites verticales des aquifères correspondent aux niveaux géologiques qui encadrent les nappes souterraines en profondeur.

La limite supérieure est généralement représentée par le niveau piézométrique, correspondant à la surface libre de la nappe où la pression de l'eau est égale à la pression atmosphérique.

La limite inférieure est constituée le plus souvent par des formations géologiques imperméables ou semi-perméables, telles que les marnes et les argiles, empêchant l'infiltration profonde des eaux souterraines.

Ces niveaux imperméables jouent un rôle essentiel dans le confinement partiel ou total des nappes aquifères et conditionnent leur fonctionnement hydrodynamique.

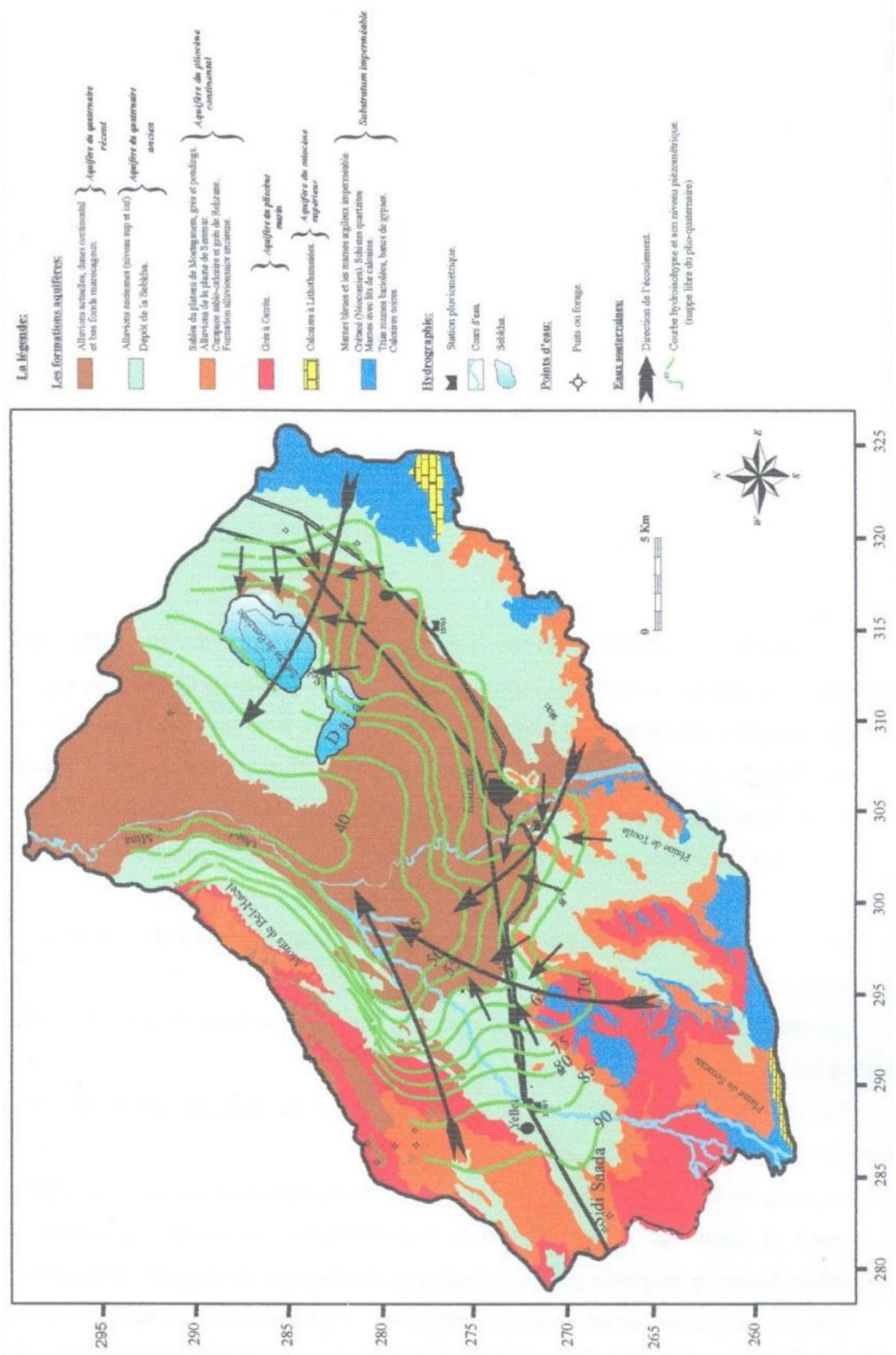


Figure II- 5:Carte hydrogéologique de la plaine de la Mina (in Boudehedje A. ;Khellouf A.2008)

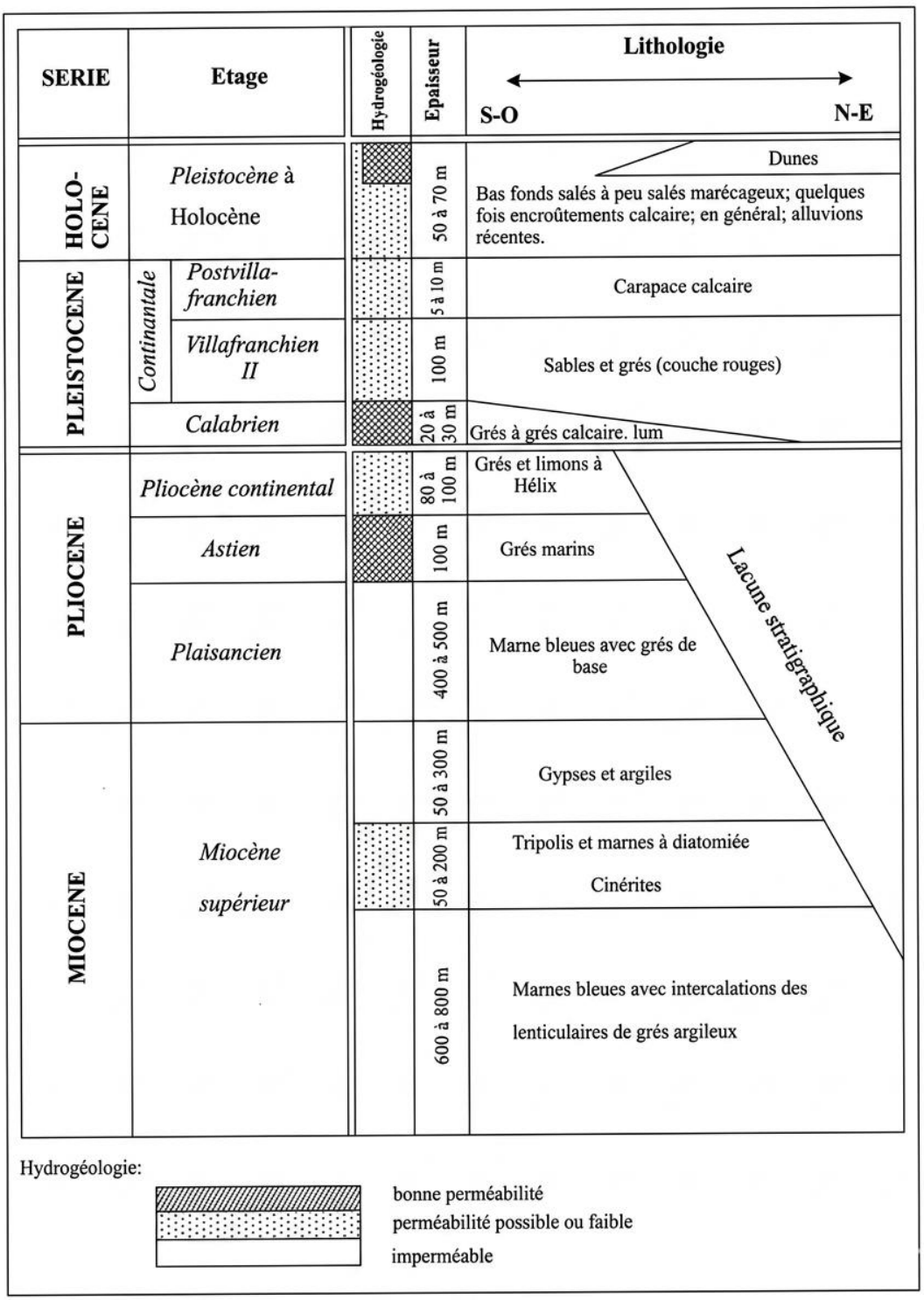


Figure II- 6:Log hydrogéologique de la plaine de la Mina(in Boudehedje A. ;Khellouf A.2008)

Le log hydrogéologique (figure II-6) montre la succession des formations géologiques de la plaine de la Mina, depuis le Miocène jusqu'à l'Holocène, ainsi que leurs caractéristiques hydrogéologiques.

À la base, les formations du Miocène sont principalement constituées de marnes bleues, d'argiles et de gypses, des terrains à faible perméabilité ou imperméables, qui jouent le rôle de substratum et limitent la circulation des eaux souterraines.

Les formations du Pliocène comprennent des grès marins, des grès et limons, ainsi que des marnes bleues. Les niveaux gréseux présentent une bonne perméabilité et constituent des aquifères potentiels, tandis que les niveaux marneux sont peu perméables.

Les dépôts du Pléistocène sont dominés par des sables et des grès (couches rouges), offrant une bonne capacité de stockage et de circulation des eaux souterraines. Une carapace calcaire est également présente localement.

Enfin, les formations superficielles du Quaternaire (Pléistocène supérieur–Holocène) sont composées d'alluvions récentes, de dunes et de dépôts de bas-fonds. Ces matériaux meubles sont généralement très perméables et forment la nappe alluviale, principale ressource en eau souterraine de la plaine.

Le log met en évidence une alternance de couches perméables (sables et grès) et de couches imperméables (marnes et argiles), ce qui contrôle la répartition des aquifères et la circulation des eaux souterraines dans la plaine de la Mina.

4.4 Piézométrie de la plaine :

4.4.1 Inventaire des points d’eau :

20 points d’eau ont été collectées dans le cadre d’un relevé piézométrique réalisé par la Direction de l’Hydraulique de la wilaya de Relizane (DHW), dont les coordonnées géographiques et les niveaux mesurés sont mentionnés dans l’annexe I.

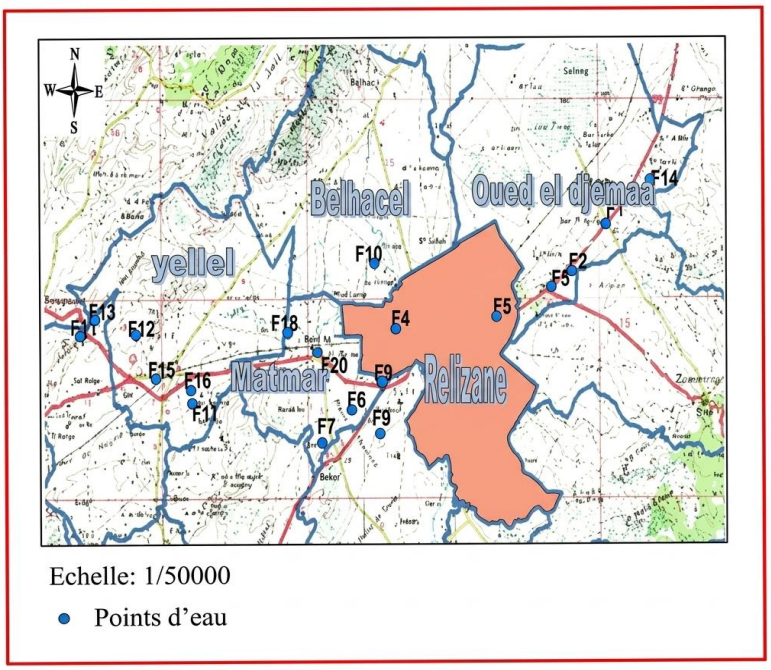


Figure II- 7:Carte d'inventaire des points d'eaux (in Mohamed Bey F. ;Yebbou K.2013)

4.4.2 Établissement de la carte piézométrique:

L'établissement de la carte piézométrique repose sur le tracé des courbes équipotentielles reliant les points présentant une même cote piézométrique, selon une équidistance choisie. Cette méthode permet de représenter la configuration de la surface piézométrique de la nappe étudiée et d'identifier le sens général de l'écoulement des eaux souterraines.

La carte piézométrique obtenue (figure II.8) met en évidence la distribution spatiale des niveaux piézométriques au sein de la plaine de la Mina et constitue un outil essentiel pour l'interprétation du comportement hydrodynamique de l'aquifère.

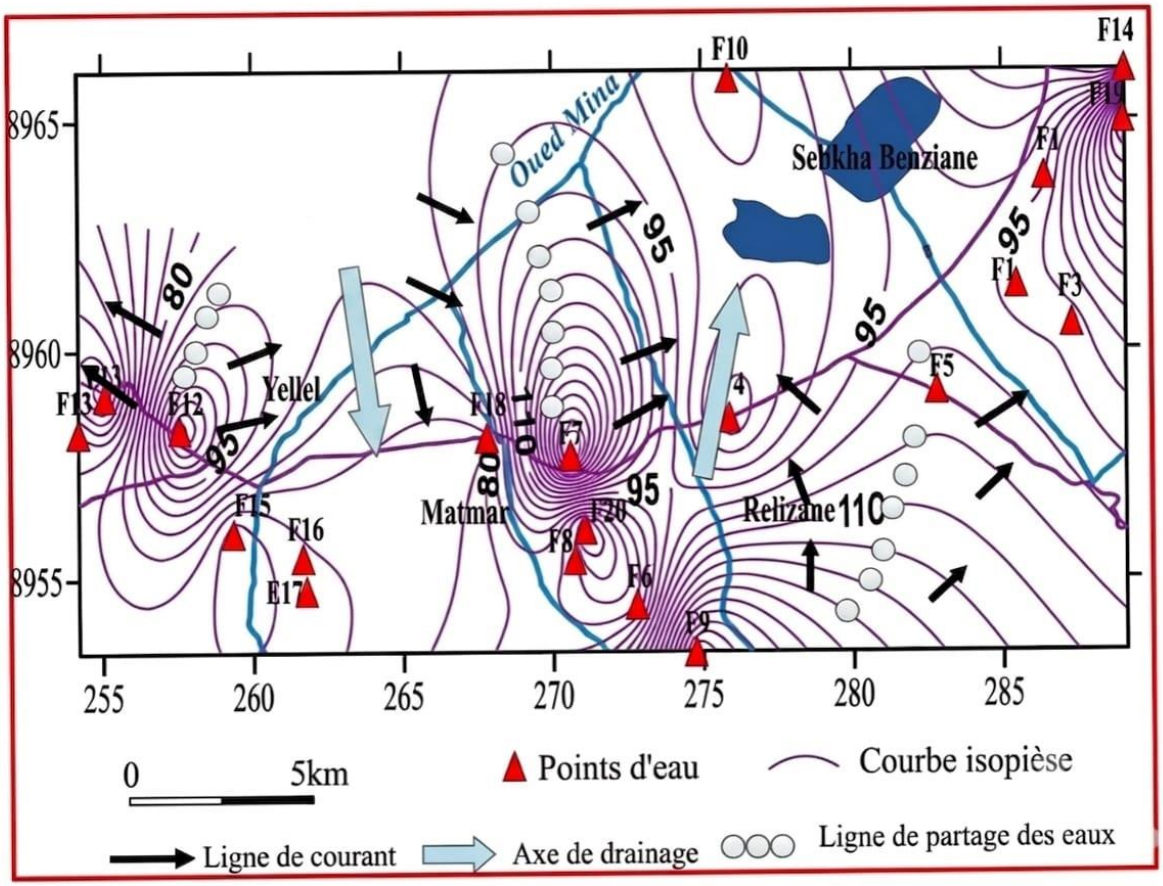


Figure II-8:Carte piézométrique de la plaine de la Mina (Mars 2007)

(in Mohamed Bey,F. ; Yebbou,K 2013)

4.4.3 Interprétation de la carte piézométrique :

L'analyse de la morphologie de la carte piézométrique de la plaine de la Mina montre que la direction générale de l'écoulement des eaux souterraines est orientée globalement du Sud et Sud-Ouest vers le Nord et le Nord-Est ce qui est en parfaite concordance avec la configuration hydrogéologique et topographique de la région.

D'après la disposition des courbes iso-piézométriques les eaux souterraines présentent une convergence vers les zones basses de la plaine (notamment vers la Sebkha Benziane), traduisant l'exutoire naturel de la nappe.

Par ailleurs, des dômes piézométriques individualisés se manifestent par des courbes fermées associées à des lignes de courant divergentes, particulièrement visibles au niveau de Matmar et de Yellel.

Ces structures correspondent à des zones de recharge préférentielle de la nappe, alimentées soit par l'infiltration directe des eaux météoriques, soit par les apports latéraux des reliefs limitrophes.

5 Hydrochimie :

L'hydrochimie constitue une branche essentielle de l'hydrogéologie ayant pour objectif l'étude de la composition chimique des eaux souterraines et superficielles. Elle vise à identifier les éléments dissous présents dans l'eau et à comprendre les interactions qui s'établissent entre les eaux et les formations géologiques traversées.

La composition chimique des eaux dépend principalement de plusieurs facteurs, notamment la nature lithologique des formations géologiques, le temps de résidence des eaux dans le sous-sol, les échanges chimiques entre l'eau et les roches, ainsi que les influences anthropiques liées aux activités agricoles, industrielles et domestiques.

L'étude hydrochimique permet ainsi d'évaluer la qualité des eaux, leur aptitude à différents usages, tels que la consommation humaine, l'irrigation et les usages industriels, ainsi que d'identifier les éventuelles sources de contamination.

L'étude hydrochimique de la région d'étude repose sur l'analyse des eaux souterraines issues du forage Sidi A.E.K Berramda, exploité en 2020 par l'Algérienne Des Eaux (ADE) de Relizane et destiné principalement à l'alimentation en eau potable (AEP).

Les paramètres étudiés concernent principalement le pH, la conductivité électrique, les principaux ions dissous (cations et anions), ainsi que certains indicateurs de qualité tels que les nitrates, nitrites, sulfates, chlorures et le résidu sec.

L'analyse des paramètres physicochimiques montre une qualité globale relativement satisfaisante des eaux souterraines, avec des valeurs généralement conformes aux limites recommandées (tableau II-1).

Tableau II- 1:Résultats de mesure des paramètres physicochimique (ADE Relizane 2020)

Paramètres	Unité	Résultat	Valeurs limitée
pH à 20C°	/	7.70	6.5-9
Conductivité à 20C°	µm/cm	1034	2800
Dureté totale	mg/l	270	200 -320
Dureté calcique	F°	8	/
Dureté magnésique	F°	19	/
TAC	mg/l	154	500
Calcium Ca++	mg/l	32	200
Magnésium Mg++	mg/l	46.17	150
Bicarbonate HCO3	mg/l	187.88	500
Chlorure Cl^-	mg/l	142	500
Nitrate NO3	mg/l	9.43	50
Nitrite NO2	mg/l	0.03	0.2
Sulfate SO4	mg/l	71	400
Sodium Na+	mg/l	/	200
Potassium K+	mg/l	/	12
Résidus sec	mg/l	760	500 -1500

La valeur du pH (7,70) indique une eau à caractère légèrement alcalin, tout en restant dans les normes admissibles (6,5–9). Cette alcalinité modérée peut être liée à la dissolution des formations carbonatées présentes dans la région.

La conductivité électrique (1034 µS/cm) traduit une minéralisation moyenne de l'eau, résultant probablement des interactions entre l'eau et les formations géologiques traversées. Cette valeur demeure inférieure à la limite admissible (2800 µS/cm).

La dureté totale (270 mg/L) révèle une eau moyennement dure à dure, principalement liée à la présence du calcium (32 mg/L) et du magnésium(46,17 mg/L), issus de la dissolution des roches carbonatées et marneuses.

Les teneurs en bicarbonates (187,88 mg/L) indiquent une dominance du faciès bicarbonaté, caractéristique des aquifères développés dans des formations carbonatées. Les concentrations en chlorures (142 mg/L) et en sulfates (71 mg/L) restent modérées et inférieures aux valeurs limites recommandées.

Concernant les composés azotés, les concentrations en nitrates (9,43 mg/L) et en nitrites

(0,03 mg/L) demeurent faibles et largement conformes aux normes, ce qui suggère une faible influence des sources de pollution agricole ou domestique sur la qualité de l'eau.

Le résidu sec (760 mg/L) confirme un degré de minéralisation modéré des eaux.

En général, les résultats indiquent une qualité physicochimique acceptable et une composition dominée par les ions bicarbonatés, calciques et magnésiens, en relation avec le contexte géologique de la région d'étude.

Conclusion :

L'étude géologique, hydrogéologique et hydrochimique de la région d'étude a permis de mieux comprendre les caractéristiques naturelles contrôlant le fonctionnement des ressources en eau souterraine.

L'analyse géologique a mis en évidence une diversité lithologique importante constituée principalement de formations carbonatées, marneuses, gréseuses et alluviales d'âges variés, influençant directement les propriétés hydrodynamiques des terrains. De plus, les structures tectoniques, notamment les plis et les failles, jouent un rôle essentiel dans la circulation et le stockage des eaux souterraines.

L'étude hydrogéologique a permis d'identifier les principaux systèmes aquifères présents dans la région ainsi que leurs limites latérales et verticales. Les formations alluviales constituent les réservoirs aquifères les plus importants, tandis que l'analyse piézométrique contribue à la compréhension des directions d'écoulement des eaux souterraines et des mécanismes de recharge des nappes.

Par ailleurs, l'approche hydrochimique a permis de présenter les principaux éléments chimiques caractérisant les eaux souterraines ainsi que les paramètres physicochimiques influençant leur qualité. En raison de la nature géologique dominante de la région, les eaux présentent généralement une influence carbonatée traduite par la présence des ions bicarbonatés, calciques et magnésiens, tandis que certaines activités anthropiques peuvent modifier localement leur composition chimique.

Chapitre III :Description et exécution des travaux de forage

INTRODUCTION :

Le forage constitue un moyen essentiel pour l'exploration et l'exploitation des ressources en eaux souterraines. Il permet d'accéder aux formations aquifères profondes et d'évaluer leurs caractéristiques hydrogéologiques, notamment leur capacité de stockage et de circulation des eaux.

La réalisation d'un forage nécessite une étude préalable des conditions géologiques et hydrogéologiques de la région afin d'identifier les zones favorables au captage des eaux souterraines. Elle repose également sur le choix adéquat des techniques de forage, des équipements utilisés ainsi que des méthodes d'exécution adaptées à la nature des terrains traversés.

Dans ce chapitre, une description des travaux de forage réalisés dans la région d'étude sera présentée. L'accent sera mis sur les caractéristiques des forages existants, les critères de choix du site d'implantation, les techniques et matériels utilisés ainsi que les différentes étapes d'exécution et d'équipement du forage.

1 Aperçu sur les forages existants dans la région de Relizane :

Plusieurs forages ont été recensés dans la région afin de répondre aux besoins en eau potable, à l'irrigation agricole ainsi qu'à d'autres usages. L'étude de ces ouvrages fournit des informations importantes sur les caractéristiques de l'aquifère, notamment à travers l'analyse de leur localisation, profondeur, niveau statique, débit et nature lithologique.

La répartition spatiale des forages recensés dans la région d'étude dépend essentiellement des conditions géologiques et hydrogéologiques locales. Leur implantation est généralement liée à la présence de formations aquifères favorables ainsi qu'aux besoins en eau des secteurs agricoles et domestiques (figure III-1).

L'analyse des caractéristiques techniques repose principalement sur plusieurs paramètres, notamment la profondeur des forages et la nature lithologique des formations rencontrées. Ces informations permettent d'estimer les capacités de stockage et les modalités de circulation des eaux souterraines au sein de l'aquifère.

La présente section est consacrée à la présentation de quelques forages implantés dans la région d'étude.

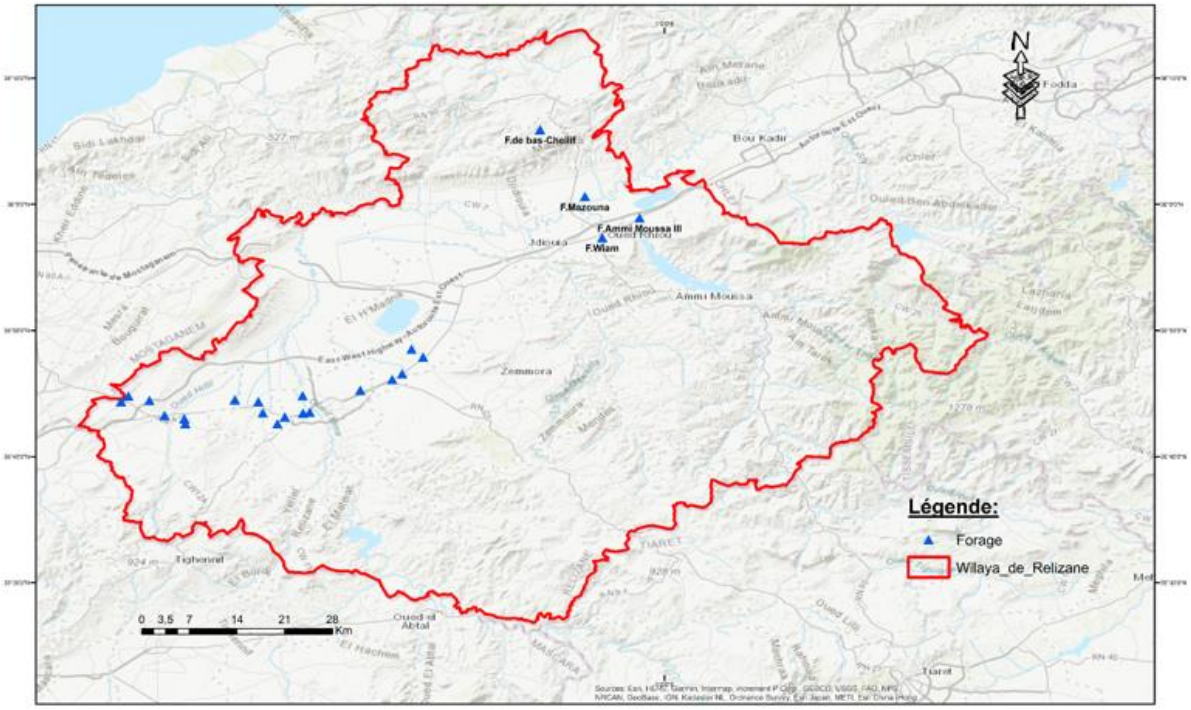


Figure III- 1:Forages recensés dans la région d'étude

1.1 Forage de Bas-Chellif :

(X :332.300 ; Y : 312.650 ; Z : 500)

Le forage a été implanté dans la commune de Ouaarizane ,destiné pour l'alimentation en eau potable des Douars de la commune.

Les travaux de réalisation du forage se sont déroulés du 25 novembre 2008 au 03 mars 2009, atteignant une profondeur finale de 160 m.

la coupe géologique a été déterminée comme suit :

00 - 18 m: Argiles de couleur marron à clair.

18 - 30 m: Sable millimétrique grisâtre.

30 - 34 m: Sable millimétrique marron à clair.

34- 39 m: Sable millimétrique argileux de couleur marron à clair.

39- 60 m: Gravier grisâtre ,millimétrique de gros éléments de 4 à 5mm

À la cote 55 m: Perte partiel (Ils ont colmaté la perte avec de Bentonite)

60 - 70 m: Gravier millimétrique sableux fin (gravier de 1 à 2 mm)

70 - 90 m: Gravier sableux

90 - 105 m: Graviers avec passage de sable

105 - 125 m: Gravier millimétrique argileux avec passage de sable

125 -140 m: Argiles sableuses beige à jaunâtre avec éléments de gravier

140 - 152 m : Argiles sableuses

152 - 160 m :Argiles sableuses

Le programme d'équipement du forage (figure III-2) d'une colonne mixte en diamètre 9 5/8" et sera comme suite :

De :

- 00 à 60 m : Tube plein 9 5/8 " est TNRS
- 60 à 75 m : Tube crépine 9 5/8 "TNRS slot 2.5 mm
- 75 à 80 m : Tube plein 9 5/8 " TNRS
- 80 à 95 m : Tube crépine 9 5/8 " TNRS slot 2.5mm
- 95 à 100 m : Tube plein 9 5/8 " TNRS
- 100 à 105 m : Tube crépine 9 5/8 " slot 2.5 mm
- 105 à 115 m : Tube plein 9 5/8 " TNRS
- 115 à 125 m : Tube crépine 9 5/8 "slot 2.5 mm
- 125 à 130 m : Tube plein 9 5/8 " TNRS
- 130 à 150 m : Tube crépine 9 5/8 "slot 2.5 mm
- 150 à 160 m : Tube plein 9 5/8 " TNRS (Sabot)

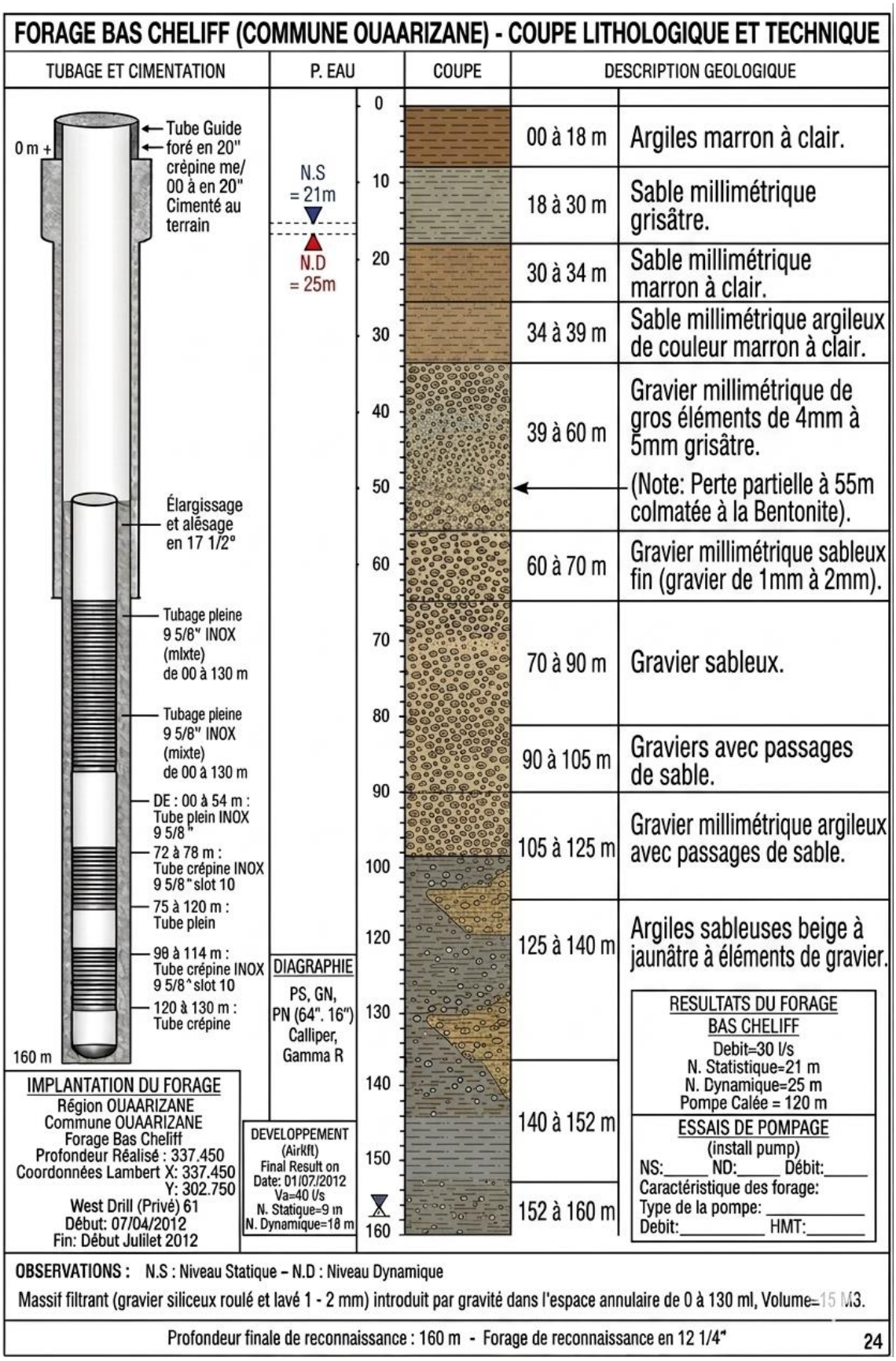


Figure III- 2:Coupe de forage Bas-Chellif

1.2 Forage WIAM :

(X :339.400 ; Y : 296.700 ; Z : 106)

Le forage a été implanté dans la commune d'Oued Rhiou ,destiné à l'alimentation en eau potable de Hai Kharmache.

Les travaux de réalisation du forage se sont déroulés du 10 novembre 2011 au 05 février 2012, atteignant une profondeur finale de 152 m.

Déterminant la coupe géologique suivante :

0–3 m : Tube guide

3–23 m : Calcaire blanc dur

23–26 m : Argiles avec forte teneur en calcaire

26–30 m : Calcaire blanchâtre légèrement argileux

30–35 m : Calcaire blanc

35–38 m : Calcaire argileux

38–40 m : Argiles avec calcaire

41–45 m : Grès friable + calcaire

45–47 m : Perte totale

45–65 m : Tuf blanchâtre dur

65–70 m : Calcaire friable gréseux

70–74 m : Calcaire gréseux + galets

74–80 m : Tuf blanchâtre

80–100 m : Calcaire gréseux + galets

100–113 m : Calcaire moyennement dur

113–120 m : Calcaire gréseux

120–133 m : Calcaire friable gréseux

133–146 m : Marne + galets

146–152 m : Calcaire gréseux + marne

Le programme d'équipement du forage d'une colonne mixte en diamètre 9 5 /8" et sera comme suite :

DE :

- 00 à 54 m :Tube plein INOX 9 5/8 "
- 54 à 78 m : Tube crépine INOX 9 5/8"slot 10
- 78 à 84 m :Tube plein INOX 9 5/8 "
- 84 à 114 m : Tube crépine INOX 9 5/8 " slot 10
- 114 à 120 m • Tube plein INOX 9 5/8"
- 120 à 132 m : Tube crépine INOX 9 5/8 " slot 10
- 132 à 138 m : Tube plein INOX 9 5/8"

Le massif filtrant (gravier siliceux bien roulé et lavé: 1-2 mm) a été introduit par gravité dans l'espace annulaire jusqu'à 138 m avec un volume égale à 16 m^3 (figure III-3) .

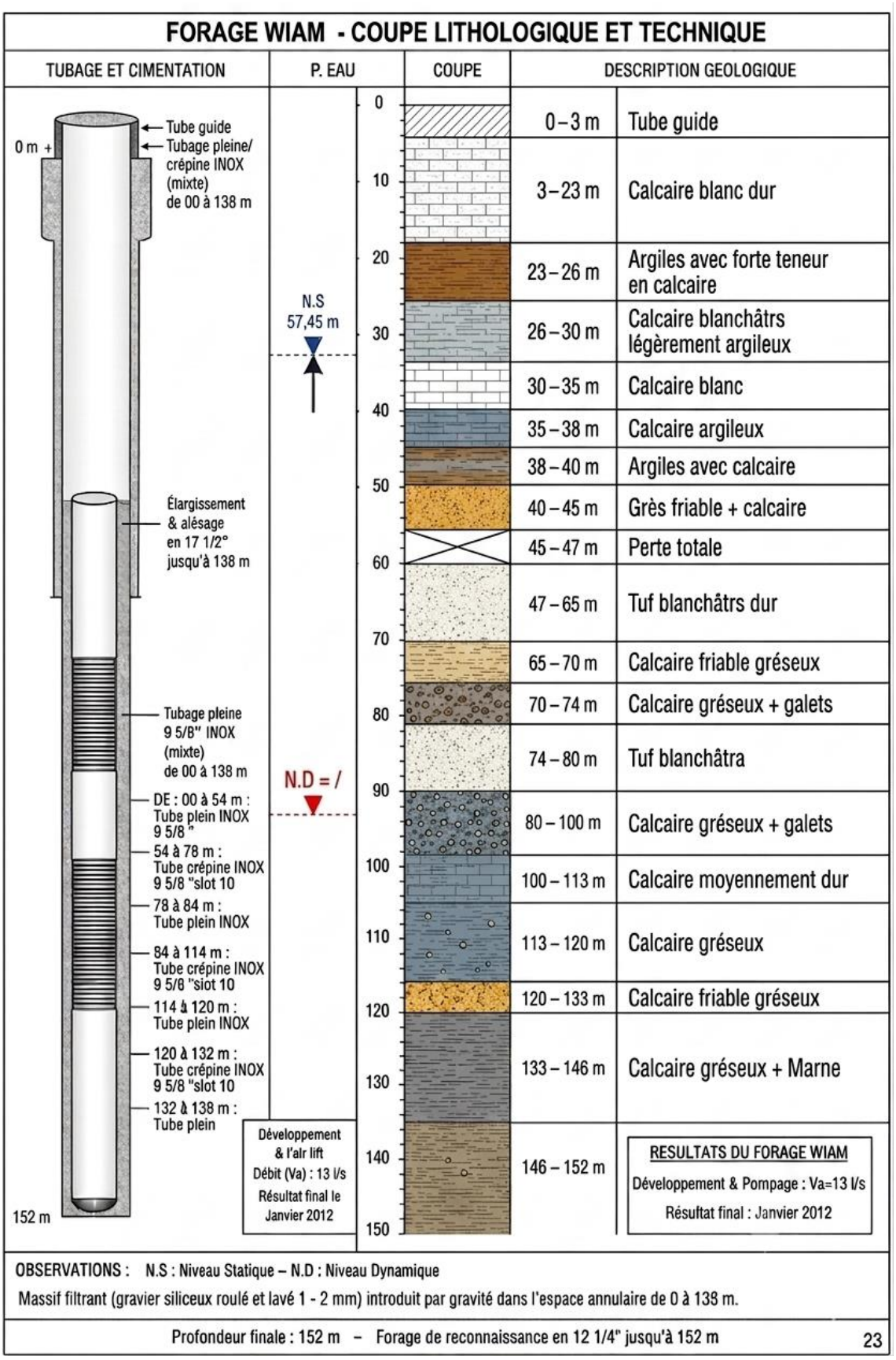


Figure III- 3:Coupe de forage WIAM

1.3 Forage d'Ammi Moussa III :

(X :343.900 ; Y : 299.500 ; Z : 150)

Le forage a été implanté dans la commune de Merdja Sidi ABE, il est destiné à l'alimentation en eau potable de la région d'Ammi Moussa.

Les travaux de réalisation du forage se sont déroulés du 29 mars 2012 à la fin du mois d'avril 2012.

Déterminant la coupe géologique suivante :

00 -6 m: Tube guide.

06 -13 m: Calcaire blanchâtre

13-20 m: Calcaire blanchâtre avec passage d'argile

20-30 m: Calcaire blanchâtre avec passage

30- 40 m: Intercalation de gravier grossier avec passage d'argile et élément de calcaire

40-45 m: Gravier grossier

45 -50 m: Gravier argileux

50-59 m: Argiles graveleuses.

59-61 m: Argile avec faible pourcentage de gravier.

61-90 m: Calcaire blanchâtre.

90-100 m: Calcaire blanchâtre avec élément de gravier et passage d'argile.

100-132 m: Calcaire blanchâtre.

Le programme d'équipement du forage d'une colonne mixte en diamètre 9 5/8" et sera comme suite :

DE :

- 00 à 54 m : Tube plein INOX 9 5/8"
- 54 à 72m : Tube crépine INOX 9 5/8 "Slot 10
- 72 à 78m : Tube plein INOX 9 5/8"
- 78 à 96m : Tube crépiné INOX 9 5/8 Slot 10
- 96 à 102m : Tube plein INOX 9 5/8"
- 102 à 126 m : Tube crépine INOX 9 5/8 Slot 10
- 126 à 138 m : Tube plein INOX 9 5/8 "

Le massif filtrant a été introduit par gravité dans l'espace annulaire de la surface à 138 m avec un volume égale à 16 m^3 (figure III-4) .

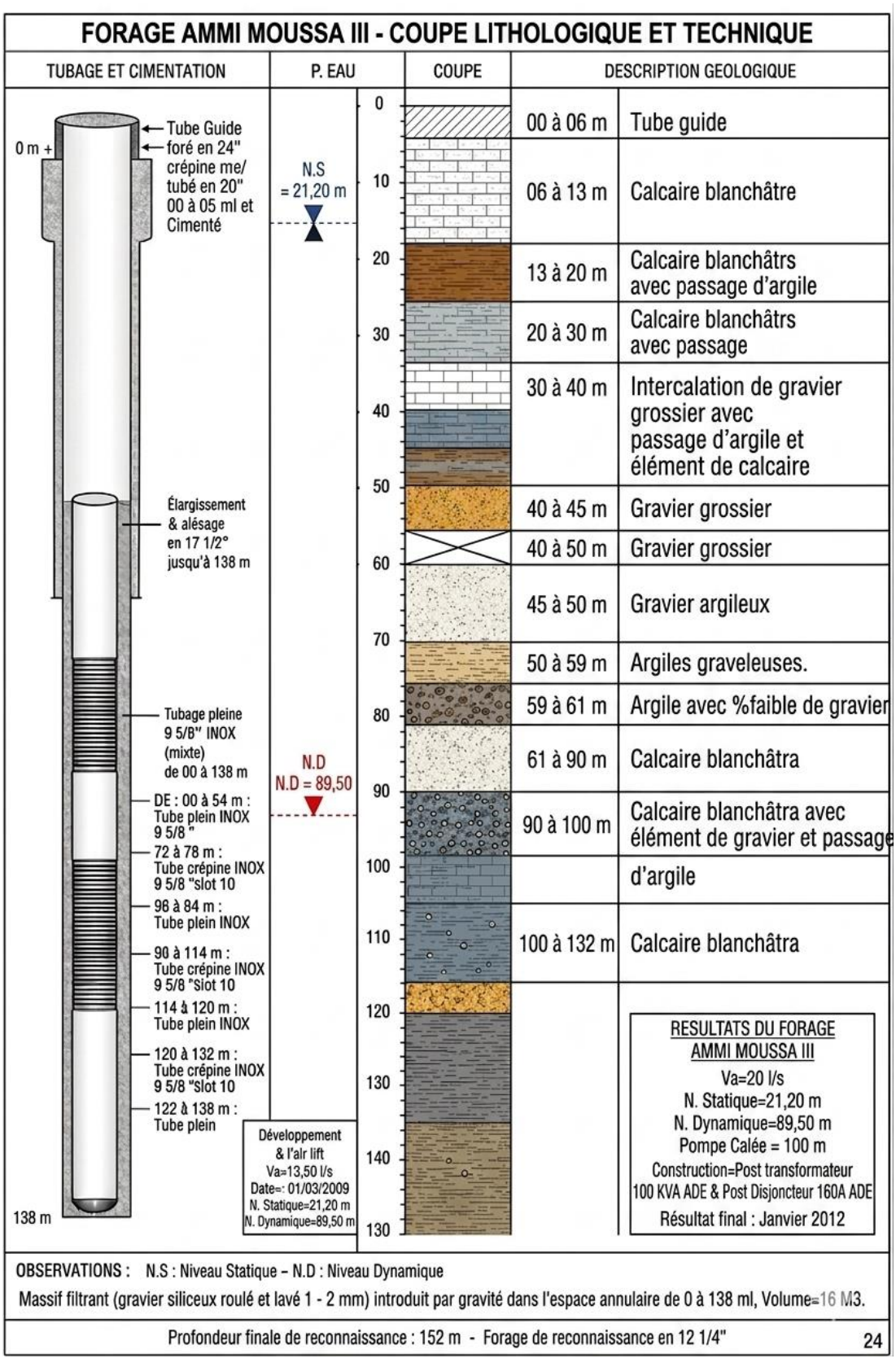


Figure III- 4:Coupe de forage Ammi Moussa III

1.4 Forage de Mazouna :

(X :337.450 ; Y : 302.750 ; Z : 61)

Le forage a été implanté dans la commune de Ouarizane ,destiné pour le renforcement de l'alimentation en eau potable des Douars.

Les travaux de réalisation du forage se sont déroulés du 07 avril 2012 jusqu'au début du mois de juillet 2012.

Déterminant la coupe géologique suivante :

00 -10 m : Argiles marneux de couleur grisâtre.

10 - 20 m : Argiles avec un faible pourcentage de sable graveleuse.

20 - 30 m : Argiles avec un faible pourcentage de sable

30 - 37 m : Sable fin de couleur grisâtre.

37 - 40m : Gravier millimétrique légèrement sableux

40 - 42 m : Sable fin.

42 - 49 m : Gravier millimétrique (diamètre 1-3 mm).

49 - 59 m : Gravier millimétrique.

59 - 75 m : Gravier millimétrique a centimétrique .

75 - 77 m : Gravier avec fort pourcentage de sable.

77 - 87 m : Sable fin avec de gravier.

87 - 90 m : Sable fin.

90 - 94 m : Sable fin légèrement argileux.

94 - 100 m : Gravier millimétrique avec un fort pourcentage de sable.

100 – 108 m : Gravier millimétrique.

Le massif filtrant a été introduit par gravité dans l'espace annulaire jusqu'à 130 m avec un volume égale à 15 m^3 (figure III-5) .

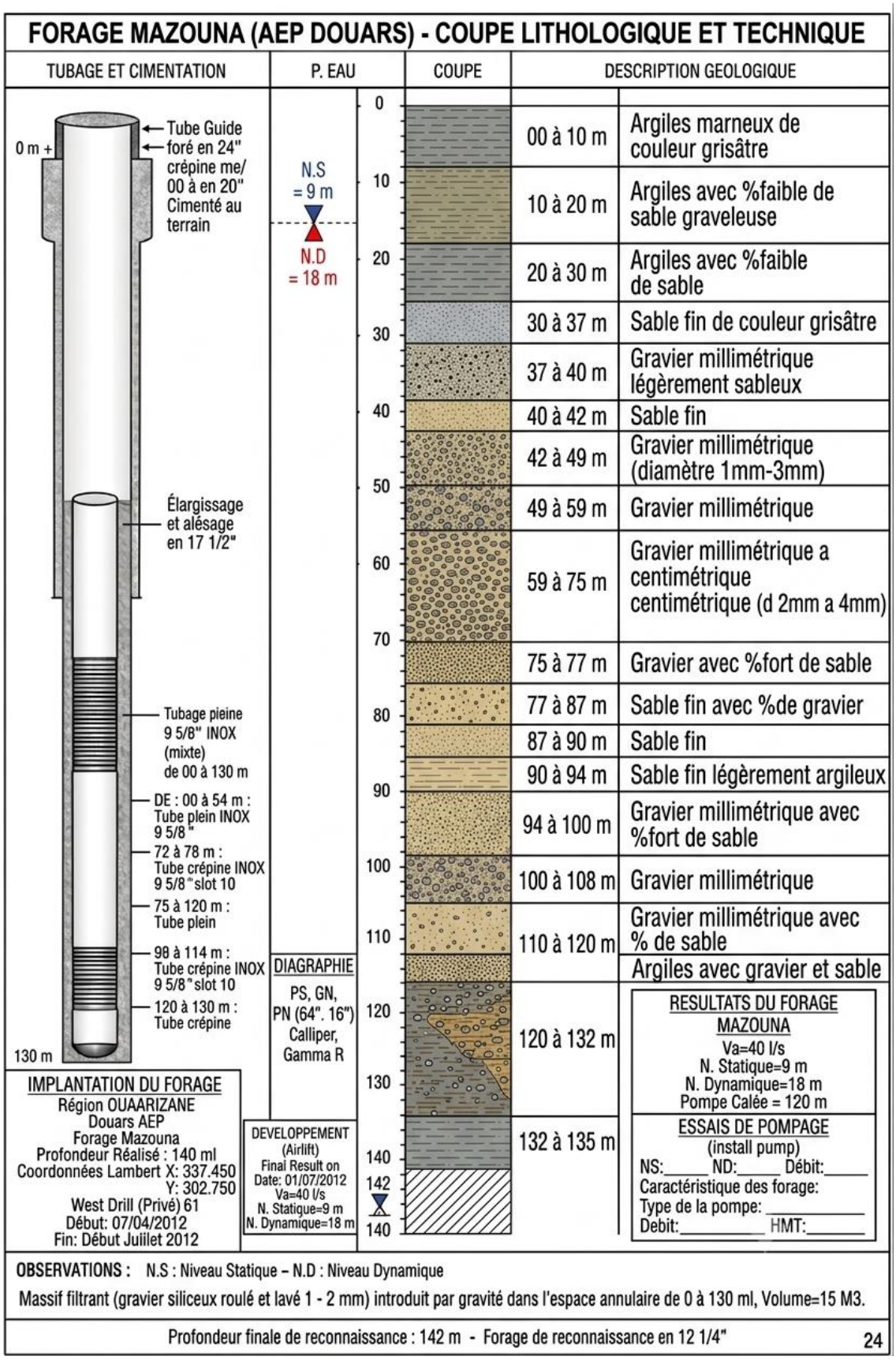


Figure III- 5:Coupe de forage Mazouna

2 Implantation du forage Billot 2

Le choix du site d'implantation d'un forage constitue une étape essentielle dans la réussite d'un projet de captage des eaux souterraines. Cette opération repose sur plusieurs critères géologiques, hydrogéologiques, techniques et socio-économiques permettant d'assurer une exploitation durable et efficace des ressources en eau.

la réalisation du Forage Billot 2 , implanté dans la région de l'Ouled Sidi Mihoub, répond principalement aux besoins croissants en eau potable des douars de la région, où les ressources en eau demeurent insuffisantes face à la demande locale. Ainsi, ce forage représente une solution importante pour renforcer l'approvisionnement en eau potable dans la région.

Le forage Billot 2 est localisé aux coordonnées suivantes : X = 318800 et Y = 294600.

Les travaux de réalisation du forage ont été effectués durant la période allant du 29/ 03/2026 au 03 /06 / 2026. Les travaux ont duré environ 3 mois et ont atteint une profondeur de 150 m.

2.1 Méthode de réalisation :

Le forage Billot 2 a été réalisé par l'entreprise FOREMHYD, à l'aide d'un appareil de forage de type rotary SPEED STAR 25 (SS-25), comme illustré sur la figure III-6 . Le procédé de forage a été effectué en utilisant une boue bentonite afin d'assurer la stabilité des parois et de faciliter l'avancement des travaux.



Figure III- 6:Appareil du forage

2.2 Organisation du chantier de forage :

Le chantier de forage doit être aménagé et préparé de manière à garantir le bon déroulement des travaux ainsi que la sécurité du personnel et des équipements. À cet effet, il est nécessaire de prévoir :

- la sécurisation du périmètre du chantier .
- un accès adapté aux véhicules et engins de forage .
- un approvisionnement suffisant en eau (citernes d'eau) pour les opérations de forage .
- un accès facile permettant le remplissage et l'entretien des fosses à boue .
- un espace sec et approprié pour la rédaction des documents techniques
- l'emplacement de l'appareil de forage et de la pompe à boue.

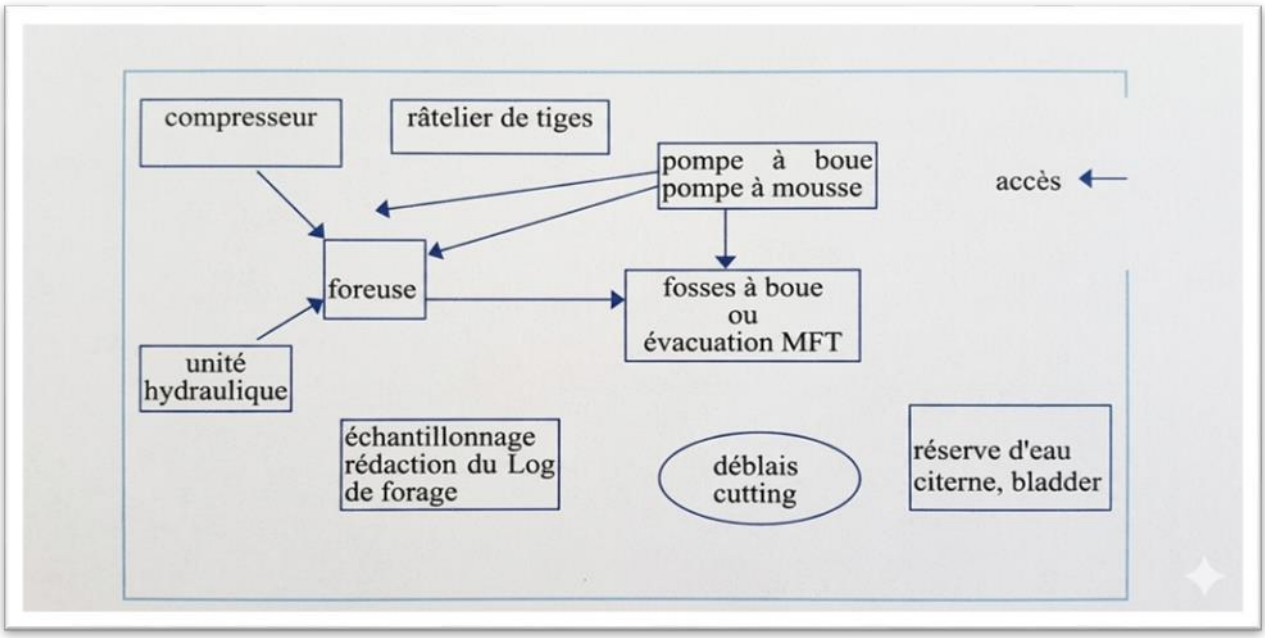


Figure III- 7:Zone de travail

2.2.1 Préparation du terrain :

Cette phase comprend le nivellement de la plate –forme , le creusement de la cave de forage et des fosses à boue , ainsi que le ancrage de la structure de forage.

La fosse à boue constitue une réserve essentielle de fluide de forage. Elle permet également la décantation des déblais et le recyclage de la boue.

Le dimensionnement de la fosse à boue réalisée pour le forage Billot 2 est le suivant :

Largeur : 4.40 m , Longueur : 5.60 m et Profondeur : 1.20 m



Figure III- 8:Fosse à boue utilisée dans la réalisation de forage

2.2.2 Les composants d'un appareil de forage :

2.2.2.1 Le mat de forage :

Dans le cadre de la réalisation du forage Billot 2, une machine de forage SS25 SD équipée d'un mât d'environ 15 m a été utilisée. Ce mât sert principalement aux opérations de levage et de manœuvre des garnitures de forage et des tubages, assurant ainsi le bon déroulement des travaux réalisés par la technique du Rotary à la boue.



Figure III- 9:Machine de forage

2.2.2.2 Les tiges :

Ce sont des tubes d'acier permettent la transmission de la rotation de la table à l'outil et le passage du fluide de forage jusqu'à ce dernier.



Figure III- 10:Tiges de forages

Tableau III- 1:Tiges utilisées

Nombres des tiges	Langueur	Diamètre	Épaisseur
50	9.60 m	110 mm	5 mm

Les masse-tiges permettent de mettre du poids sur l'outil pour éviter de faire travailler les tiges de forage en compression. Le poids utilisable des masse-tiges ne devra pas excéder 80% de leur poids total dans la boue.

Jouer le rôle du plomb du fil à plomb pour forer un trou aussi droit et vertical que possible .

Tableau III- 2:Caractéristiques des masse-tiges utilisées

Nombre de masse-tiges	Longueur	Poids	Diamètre	Épaisseur
5	8.50 m	1200 kg	20 cm	5 cm



Figure III- 11:Les masse-tiges

2.2.2.3 Les aléseurs :

Ce sont des outils descendus immédiatement au-dessus de l'outil pour maintenir ou élargir le diamètre du trou Dans notre étude en utilisée 2 aléseurs de 3 m de Langueur et de diamètre 12"1/4.

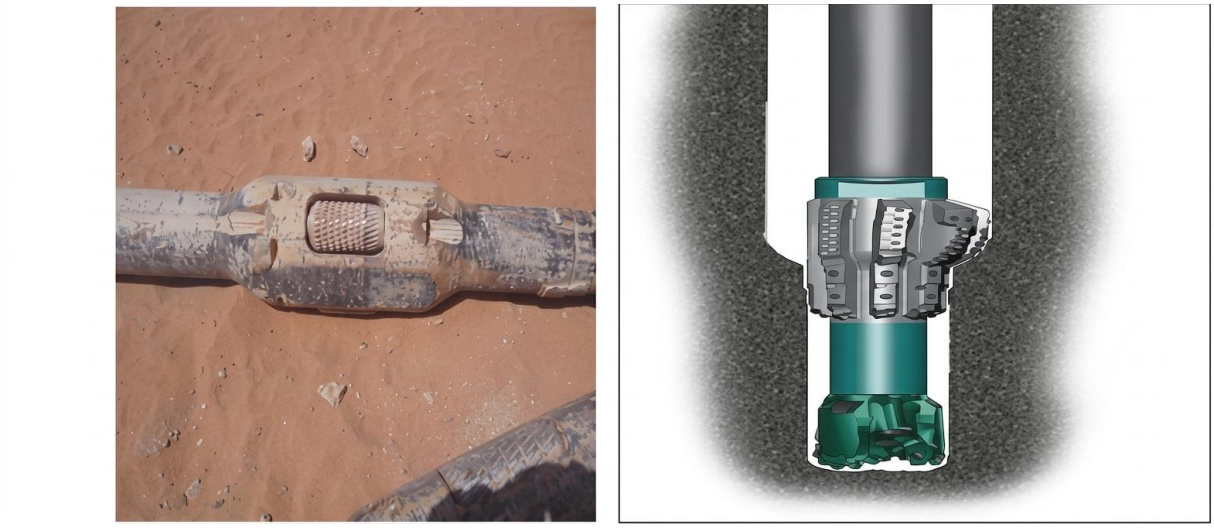


Figure III- 12:Aléseur

2.2.2.4 Outil de forage :

Les technologies de forage ont connu une évolution considérable afin de répondre aux contraintes techniques rencontrées lors de la traversée des différentes formations géologiques. Cette évolution a pour principaux objectifs d'améliorer la vitesse d'avancement du forage, d'augmenter la durée de vie des outils et de réduire les coûts de réalisation des ouvrages.

Dans le cadre du forage Billot 2, la technique du forage rotary à la boue a été adoptée. En raison de la variation des diamètres de forage au cours des différentes phases de réalisation, plusieurs outils adaptés ont été utilisés. Les travaux ont notamment nécessité l'emploi de trépans tricônes, largement utilisés dans les forages hydrauliques en raison de leur robustesse et de leur efficacité.

Tableau III- 3:Outils de forage utilisés

Type d'outil	Diamètre de l'outil	Profondeur de travail
Trépan tricône	26''	0 à 10 m
Trépan tricône	17 ½''	10 à 120 m
Trépan tricône	12 ¼''	120 m à la profondeur finale (150 m)



Figure III- 13:Outils tricône

2.2.2.5 Table de rotation :

La table de rotation (Rotary Table) constitue l'un des principaux équipements d'entraînement de la garniture de forage dans la technique du forage rotary à la boue. Au cours des opérations de forage, elle assure la transmission du mouvement de rotation à la garniture de forage par l'intermédiaire des fourrures (bushings) et de la tige d'entraînement (Kelly).

Cet équipement permet de transmettre le couple nécessaire au trépan afin de désagréger les formations géologiques traversées. Lors des opérations de manœuvre, la table de rotation contribue également au support du poids de la garniture de forage grâce aux coins de retenue installés à sa surface.

Dans le forage Billot 2, la table de rotation a joué un rôle essentiel dans la transmission continue du mouvement rotatif aux outils de forage, assurant ainsi la progression du forage jusqu'à la profondeur finale de 150 m.



Figure III- 14:Table de rotation

2.2.2.6 Tige d'entraînement :

La tige d'entraînement (Kelly) assure la liaison entre la garniture de forage et la tête d'injection. Elle permet de transmettre le mouvement de rotation provenant de la table de rotation vers la garniture de forage grâce à son profil carré ou hexagonal, appelé carré d'entraînement.

Cet élément joue un rôle essentiel dans la transmission du couple de rotation nécessaire à l'avancement de l'outil de forage, garantissant ainsi la continuité des opérations de forage dans des conditions optimales.



Figure III- 15:Tige d'entrainement

2.2.2.7 Tête d'injection:

La tête d'injection est un équipement situé au sommet de la garniture de forage. Elle assure deux fonctions principales : le support de la garniture de forage et l'injection du fluide de forage (boue) à l'intérieur de celle-ci.

Cet équipement permet la circulation de la boue de forage aussi bien en rotation qu'à l'arrêt, assurant ainsi aussi bien en rotation qu'à l'arrêt, assurant ainsi le refroidissement de l'outil, le transport des déblais et la stabilisation des parois du forage.



Figure III- 16:Tête d'injection

2.2.2.8 Générateurs de courant :

Les générateurs de courant, généralement constitués de moteurs diesel, assurent l'alimentation énergétique de l'ensemble des équipements du chantier de forage. Ils produisent un courant électrique continu ou alternatif d'une tension d'environ 380 V, permettant le fonctionnement des différents systèmes du chantier.

Ces groupes électrogènes assurent plusieurs fonctions essentielles, notamment le levage des équipements, la rotation de la garniture de forage, le pompage de la boue de forage, ainsi que l'alimentation des systèmes d'éclairage et des équipements auxiliaires.



Figure III- 17:Générateur du courant

2.3 Description géologique :

2.3.1 fluide de forage (Boue) :

La boue de forage utilisée sur le chantier du forage Billot 2 est une boue à base de bentonite. Elle est préparée par le mélange d'argile (bentonite) et d'eau propre, sous agitation continue, jusqu'à obtention d'une densité adaptée aux conditions du forage, soit généralement comprise entre d = 1.1 g/cm³ .La bentonite utilisée est conditionnée en sacs de 40 kg.

Tableau III- 4:Caractéristiques de la boue utilisée

Nombres des sacs de bentonite	Le poids	Volume d'eau	Densité
10	1= 40 kg	10 m³	1.1



Figure III- 18:Sacs de bentonite

La boue de forage a pour objectifs de:

- circuler à l'intérieur du train de tige.
- Refroidir l'outil à son passage.
- Consolider les parois du trou.
- Maintenir les effluents des réservoirs traversés.
- Remonter les déblais des terrains forés en surface.

2.3.2 Cuttings:

Les cuttings (échantillons de forage) ont été prélevés mètre par mètre, puis nettoyés et séchés soigneusement. Ils ont ensuite été conditionnés dans de petites sachets étiquetés selon la profondeur de prélèvement, avant d'être transmis à l'ingénieur hydrogéologue de l'administration.



Figure III- 19:Échantillons de terrain

Ces échantillons ont fait l'objet d'une analyse macroscopique et microscopique, permettant de déterminer la nature des formations géologiques traversées, leur composition lithologique ainsi que leurs caractéristiques hydrauliques.

Cette étude a également permis de préciser le cadre géologique du forage et de définir les niveaux aquifères exploitables, notamment la position du toit de l'aquifère, contribuant ainsi à l'optimisation de la conception et de l'exploitation du forage (figure III-20)

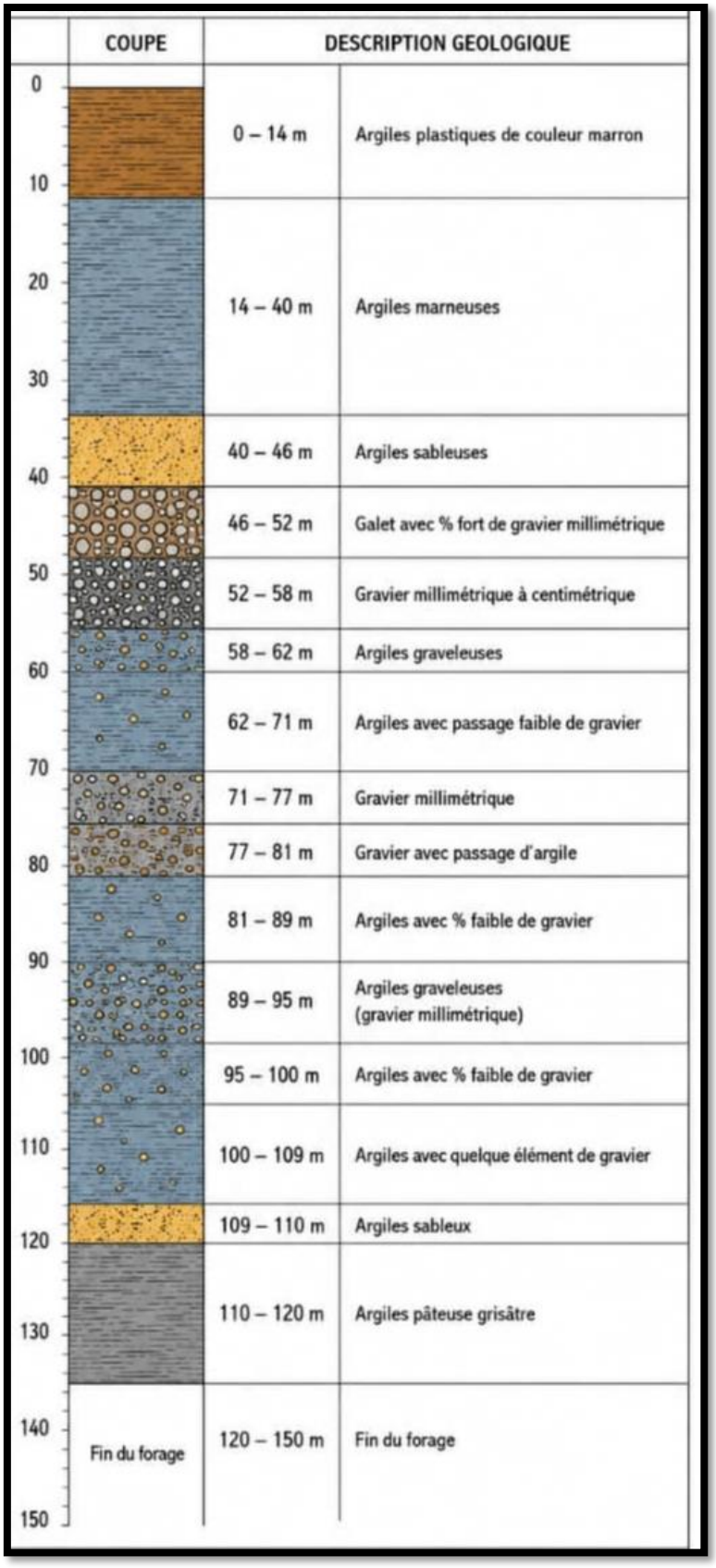


Figure III- 20:Coupe lithologique de forage Bellot 2

2.4 Équipement du forage:

2.4.1 Tubage :

La première phase du forage a consisté en la réalisation d'un trou pilote à l'aide d'un outil de 26 pouces, sur une profondeur allant de 0 à 10 mètres. Cette opération a permis la mise en place d'un tube guide.

Un tubage de type 20 pouces a ensuite été descendu jusqu'à la profondeur de 10 mètres afin de stabiliser les formations superficielles et de sécuriser le début du forage. L'ensemble a été cimenté au terrain afin d'assurer l'étanchéité et la stabilité du tubage.

Cette opération constitue une étape essentielle pour garantir la bonne tenue des parois et la continuité des travaux de forage dans de bonnes conditions techniques.

Le forage a été réalisé en 17 1/2 pouces depuis 10 m jusqu'à la profondeur finale de 150 m, permettant la poursuite de l'avancement dans les différentes formations géologiques traversées.

Des opérations d'alésage ont été effectuées afin de préparer le trou pour la mise en place de l'équipement.



Figure III- 21:Tubages

2.4.2 Crépines :

Les crépines constituent l'élément principal de captage du forage. Elles permettent l'entrée de l'eau provenant des horizons aquifères tout en retenant les particules solides susceptibles de provoquer l'ensablement du forage. Leur choix doit assurer une bonne résistance mécanique, limiter les pertes de charge et garantir une longue durée de vie de l'ouvrage.

Dans le forage Billot 2, les crépines utilisées sont de type Johnson en acier inoxydable (INOX) de diamètre 9 5/8" et de fente Slot 20. Ce type de crépine est caractérisé par une ouverture continue obtenue par l'enroulement d'un fil profilé soudé sur des tiges longitudinales.

Les principaux avantages des crépines Johnson sont :

- La régularité et la précision des ouvertures ;
- La réduction des risques de colmatage ;
- Une grande résistance mécanique ;
- Une meilleure circulation de l'eau vers le forage ;
- Un coefficient d'ouverture élevé par rapport aux autres types de crépines.

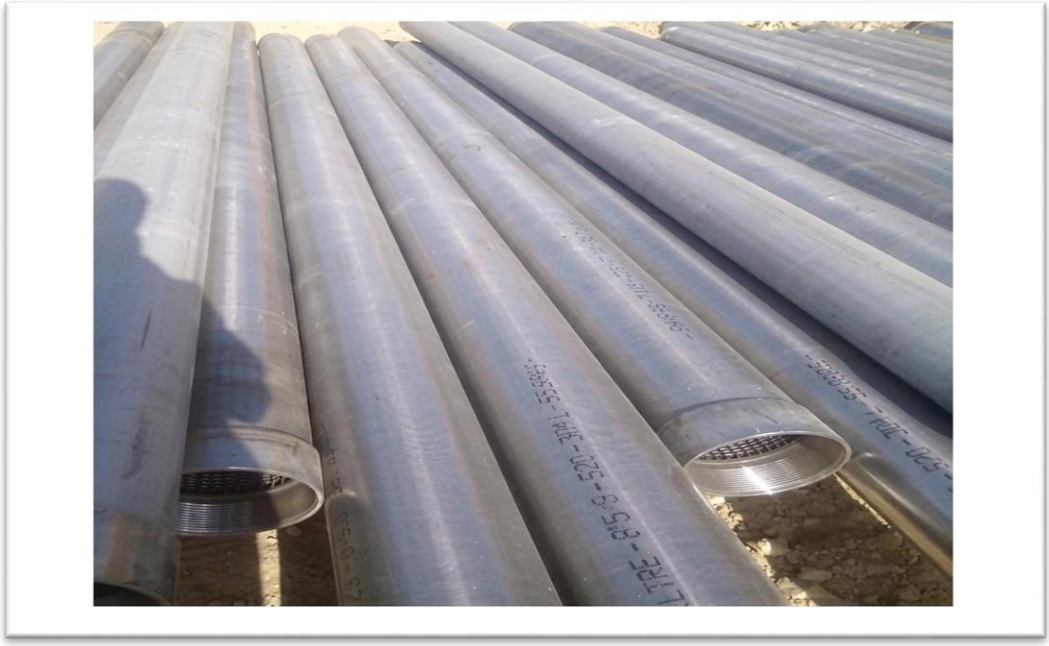


Figure III- 22:Crépine de Johnson

Tableau III- 5:Programme d'équipement du forage Billot 2

Profondeur (m)	Équipement
0 - 42	Tube plein 9 5/8" INOX Johnson
42- 60	Tube crépine 9 5/8" INOX Johnson Slot 20
60- 66	Tube plein 9 5/8" INOX Johnson
66- 78	Tube crépine 9 5/8" INOX Johnson Slot 20
78 - 84	Tube plein 9 5/8" INOX Johnson
84 - 96	Tube crépine 9 5/8" INOX Johnson Slot 20
96 – 102	Tube plein 9 5/8" INOX Johnson
102 - 114	Tube crépine 9 5/8" INOX Johnson Slot 20
114 – 120	Tube plein 9 5/8" INOX Johnson

2.4.3 Sabots :

La pièce appelée sabot, équipée d'un raccord droite-gauche, permet de faciliter la descente de la crépine ainsi que de son tube d'extension en l'absence d'un dispositif à baïonnette.

En cas de blocage lors de la descente, l'injection d'eau ou de boue sous pression est utilisée pour dégager le passage.

Lorsque le gravier additionnel est déjà en place, cette injection permet de le déstructurer localement et de favoriser la descente de la crépine sous l'effet du poids du train de tiges.



Figure III- 23:Sabots

(https://www.sinodrills.com/fr/what-is-casing-shoe/)

2.4.4 Massif filtrant :

Le massif filtrant est constitué de gravier siliceux propre, bien roulé et calibré (1 à 2 mm).

Il est introduit par gravité dans l'espace annulaire autour de la crépine jusqu'à 120 m.

Le volume du massif filtrant utilisé dans le forage Billot 2 est de 10 m³, défini selon les prescriptions techniques du cahier des charges du projet.

Le gravier joue un rôle essentiel dans le fonctionnement du forage, il a pour objectifs :

- D'améliorer la perméabilité autour de la crépine .
- D'augmenter le débit d'exploitation.
- De réduire les vitesses d'écoulement.
- D'empêcher l'entrée des fines particules et protéger les crépines.



Figure III- 24:Gravier additionnel utilisé

2.4.5 Cimentation :

Suite à la descente du tubage réalisée dans de bonnes conditions, le chef de chantier a ordonné l'installation de la tête de cimentation et la mise en circulation de la boue afin de nettoyer et homogénéiser l'espace annulaire situé entre le tube guide et les parois du forage.

L'objectif principal de la cimentation dans le forage Billot 2 est d'assurer la stabilisation du tubage et d'empêcher toute remontée des eaux superficielles susceptibles de provoquer une pollution de la nappe.

L'opération a été réalisée par malaxage de ciment avec de l'eau de gâchage, permettant l'obtention d'un laitier de ciment destiné au remplissage de l'espace annulaire du tube guide installé entre 0 et 10 m.

Le volume de laitier de ciment nécessaire a été déterminé de manière conventionnelle afin d'assurer un remplissage correct de l'annulaire.

La mise en place du ciment laitier a été effectuée par injection à l'aide de la pompe à boue sous forte pression, suivie d'un volume de boue de chasse permettant d'assurer la continuité de l'opération et l'expulsion complète du ciment jusqu'à son apparition en surface.

L'injection n'a été interrompue qu'après confirmation de la bonne mise en place du ciment et le respect du volume prévu.

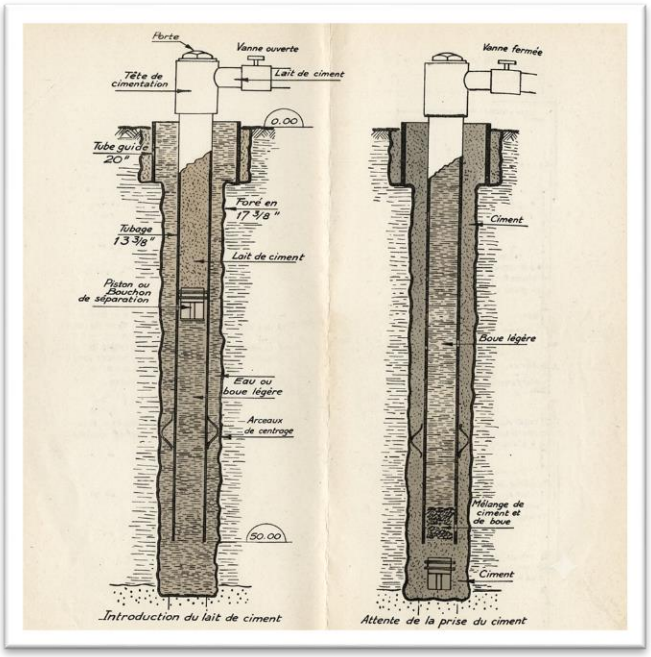


Figure III- 25:Opération de cimentation

2.4.6 Développement du forage :

Le développement du forage constitue une étape essentielle après la mise en place du massif filtrant. Il permet d'éliminer les particules fines issues de la formation géologique et du gravier filtrant, afin d'améliorer la perméabilité de la zone captant et la qualité de l'eau produite.

Dans le forage Billot 2, le développement a été réalisé par la méthode air-lift, basée sur l'alternance de flux et de reflux dans la zone de captage. Cette technique permet le nettoyage progressif des abords de la crépine et l'amélioration des conditions hydrauliques du forage.

L'opération a été poursuivie jusqu'à l'obtention d'une eau claire et sans sable, confirmant ainsi la bonne efficacité du développement et la stabilité de l'ouvrage. Le débit de développement maximal obtenu Q = 25 L/s.

Conclusion :

Ce chapitre a permis de présenter les différentes étapes de réalisation du forage Billot 2, depuis la phase de forage jusqu'à la mise en place de l'équipement du puits. Les opérations de tubage, de cimentation, de gravillonnage et de développement ont été réalisées conformément aux normes techniques et aux prescriptions du cahier des charges.

L'équipement du forage, constitué d'une colonne mixte en acier inoxydable avec tubes pleins et crépines, ainsi que la mise en place du massif filtrant, a permis d'assurer la stabilité de l'ouvrage et d'optimiser les conditions de captage de la nappe.

Enfin, le développement du forage a permis d'améliorer les performances hydrauliques du puits en garantissant une eau claire et une bonne productivité, confirmant ainsi la réussite des travaux réalisés.

Chapitre IV :Analyse et interprétation des résultats

Introduction :

Ce quatrième chapitre est consacré à la présentation, à l'interprétation et à la discussion des résultats obtenus dans le cadre de cette étude. Il s'organise autour de trois axes principaux : les résultats du forage (coupe technique et caractéristiques hydrogéologiques), les résultats de l'essai de pompage permettant de déterminer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère, et les analyses hydrochimiques des eaux (paramètres physico-chimiques, ions dissous et faciès hydro chimique via les diagrammes de Piper et de Schoeler).

1 Résultats du forage :

1.1 Coupe technique du forage

La coupe technique du forage (figue IV-1) décrit l'ensemble des aménagements réalisés au cours de sa construction, notamment les diamètres de forage, la disposition des tubages pleins et crépinés, ainsi que la mise en place du massif filtrant et de la cimentation. Cette coupe est établie en cohérence avec la coupe lithologique, de manière à positionner les crépines au niveau des formations aquifères et à assurer l'isolation des horizons non productifs ou contaminés.

1.2 Diagraphies de forage – Billot 2 :

Une campagne de diagraphies a été réalisée au niveau du forage Billot 2 afin d'améliorer l'interprétation géologique et hydrogéologique des formations traversées durant le forage.
Les outils utilisés sont :

- PS (Potentiel Spontané),
- GN (Gamma Naturel),
- PN (Porosité Neutron 64" et 16"),
- Clapier et Gamina
- R (densité).

L'interprétation de ces logs a permis de distinguer les différents horizons perméables et imperméables ainsi que d'identifier les principaux niveaux aquifères.

Selon les profondeurs ,on distingue:

1. Horizons imperméables superficiels :

0 – 14 m : Argiles plastiques de couleur marron, constituent un niveau superficiel imperméable jouant le rôle de couverture.

14 – 40 m : Argiles marneuses représentent une formation compacte à faible perméabilité, constituant une barrière hydraulique.

2. Horizons de transition (faible perméabilité) :

40 – 46 m : Argiles sableuses constituent le début d'augmentation progressive de la perméabilité.

58 – 62 m : Argiles graveleuses.

62 – 71 m : Argiles avec passage faible de gravier.

81 – 89 m : Argiles avec faible pourcentage de gravier.

89 – 95 m : Argiles graveleuses (gravier millimétrique).

95 – 100 m : Argiles avec quelques éléments de gravier.

100 – 109 m : Argiles avec présence de gravier.

110 – 120 m : Argiles pâteuses grisâtres.

Ces niveaux correspondent à des formations semi-perméables à faible potentiel hydrodynamique.

3. Horizons perméables (aquifères) :

46 – 52 m : Gravier à forte proportion de gravier millimétrique

52 – 58 m : Gravier millimétrique à centimétrique

71 – 77 m : Gravier millimétrique

77 – 81 m : Gravier avec passages argileux

Ces niveaux correspondent aux formations les plus perméables du forage Billot 2. Ils constituent les principaux horizons aquifères permettant la circulation et le stockage de l'eau souterraine.

L'analyse des diagraphies du forage Billot 2 met en évidence une alternance de couches argileuses imperméables et de niveaux graveleux perméables (figure IV-1).

Les couches argileuses assurent la fonction de confinement hydraulique, tandis que les niveaux graveleux constituent les réservoirs principaux.

Le niveau le plus productif est localisé entre 46 m et 81 m, correspondant aux horizons graveleux à forte perméabilité, qui assurent l'essentiel du débit exploitable du forage.

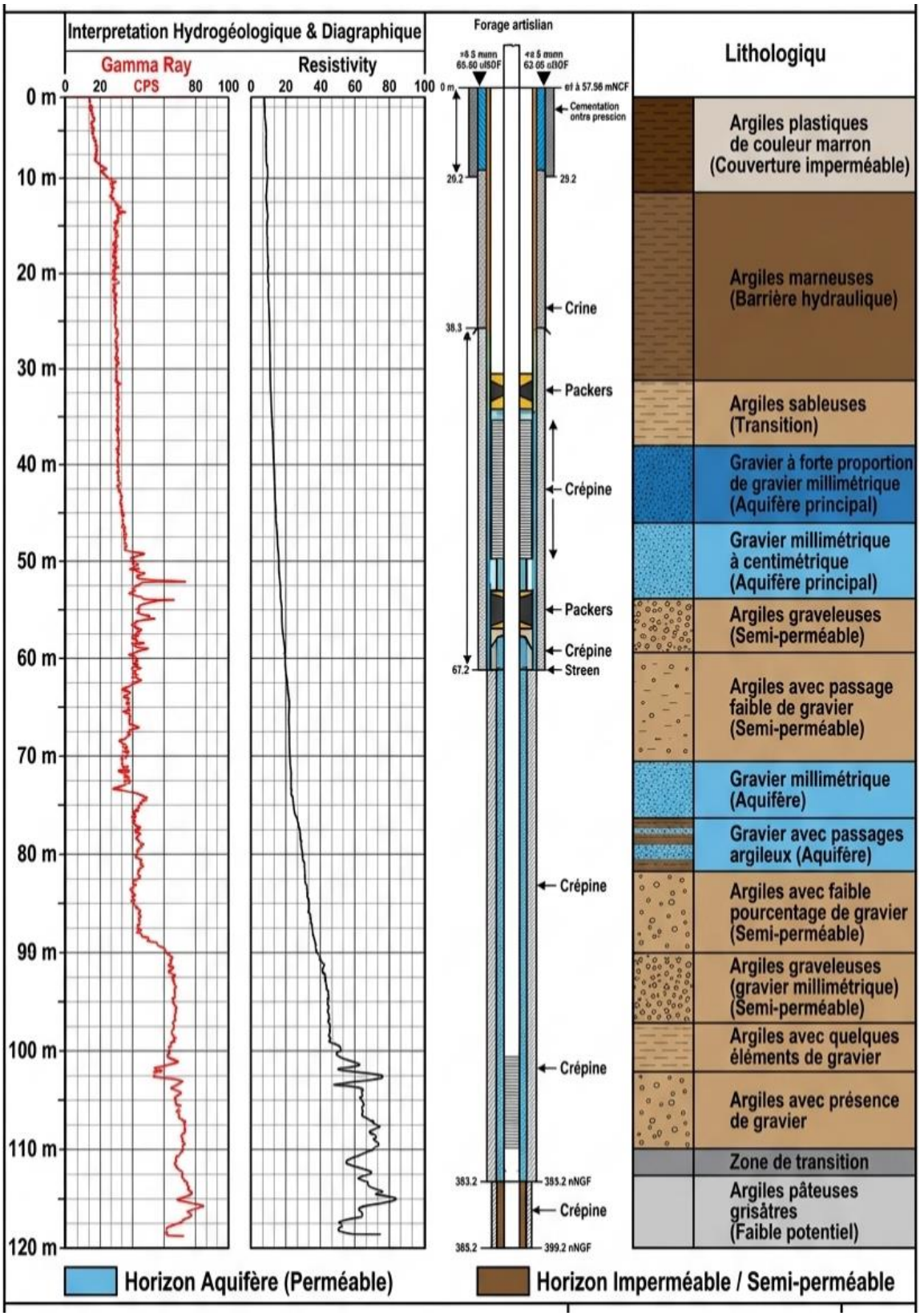


Figure IV- 1:Log technique et diagraphique du forage Billot 2

1.3 Essai de pompage :

C'est l'opération qui vient après la phase de développement du forage, elle consiste à installer une pompe dans la chambre de pompage (tube plein) au-dessous de niveau Dynamique. La pompe a été callée à 65 m (7") .

- Le niveau statique NS mesuré égale à 14.30 m.
- Le niveau dynamique ND mesuré égale à 18.70 m
- Le Débit d'exploitation stabilisé est de 18 l/s à 20 l/s

2 Analyses hydrochimiques :

2.1 Paramètres physico-chimiques :

Les paramètres physico-chimiques constituent des indicateurs essentiels pour l'évaluation de la qualité des eaux souterraines. Leur analyse permet d'apprécier le degré de minéralisation de l'eau ainsi que son aptitude à différents usages, notamment la consommation humaine.

Tableau IV- 1:Paramètres physico-chimiques de l'eau du forage analysé

Paramètre	Température (°C)	pH	Conductivité électrique CE (µS/cm)	Turbidité (NTU)	Taux de salinité TDS (mg/l)
Résultat	27.5	7.82	2019	1.2	1019

Température :

La température de l'eau analysée est de 27,5 °Cette valeur est légèrement supérieure à la température de référence de 25 °C utilisée pour les analyses physico-chimiques, ce qui peut influencer certains paramètres tels que la conductivité électrique et la solubilité des sels minéraux.

pH :

Le pH mesuré est de 7,82, indiquant une eau légèrement alcaline. Cette valeur se situe dans l'intervalle recommandé pour les eaux destinées à la consommation humaine (6,5 à 9).

Conductivité électrique (CE) :

La conductivité électrique est de 2019 µS/cm, traduisant une minéralisation relativement élevée de l'eau. Cette valeur demeure toutefois inférieure à la limite réglementaire de 2800 µS/cm .

Résidu sec (TDS) :

La valeur du résidu sec total dissous est de 1019 mg/L ,cette concentration traduit une charge minérale importante résultant de la dissolution des formations géologiques traversées par l'eau souterraine.

Turbidité :

La turbidité enregistrée est de 1,2 NTU, indiquant une faible teneur en matières en suspension et une bonne transparence de l'eau.

2.2 Principaux ions dissous :

Le tableau suivant présente les concentrations des principaux cations (tableau IV-2) et anions (tableau IV-3) dissous mesurés dans l'échantillon étudié. Ces résultats constituent la base de l'interprétation hydrochimique et de la détermination du faciès chimique de l'eau.

2.2.1 Les cations :

Tableau IV- 2:Résultats des analyses des cations majeurs

Cations	**Calcium Ca^{2+}**	**Magnésium Mg^{2+}**	**Sodium Na^{+}**	**Potassium K^{+}**
Résultat en mg/l	128.0	36.5	84.0	3.9

Calcium (Ca^{2+}) :

La concentration en calcium est de 128,0 mg/L. Ce cation constitue l'élément dominant parmi les cations analysés et contribue fortement à la dureté de l'eau.

Magnésium (Mg^{2+}) :

La teneur en magnésium est de 36,5 mg/L. Associé au calcium, il participe à la minéralisation et à la dureté totale de l'eau.

Sodium (Na^{+}) :

La concentration en sodium atteint 84,0 mg/L. Cette valeur reste modérée et traduit probablement l'influence des processus d'échange ionique entre l'eau et les formations géologiques.

Potassium (K^{+}) :

Le potassium présente une faible concentration de 3,9 mg/L, valeur couramment observée dans les eaux souterraines.

2.2.2 Les anions :

Tableau IV- 3:Résultats des analyses des Anions majeurs

Anions	Chlorures Cl^{-}	Sulfates SO_4^{2-}	Bicarbonates HCO_3^{-}	Nitrates NO_3^{-}
Résultat en mg/l	205.9	125.0	305.0	2.3

Chlorures (Cl^{-}) :

La concentration en chlorures est de 205,9 mg/L, inférieure aux limites réglementaires. Leur présence peut être liée à la dissolution de minéraux évaporitiques ou à des influences anthropiques.

Sulfates (SO_4^{2-}) :

Les sulfates atteignent 125,0 mg/L, valeur relativement élevée mais conforme aux normes de qualité des eaux.

Bicarbonates (HCO_3^-) :

Les bicarbonates représentent 305,0 mg/L, constituant l'anion dominant de l'eau étudiée. Cette concentration témoigne de l'altération des roches carbonatées et du phénomène de dissolution du CO_2 dans l'aquifère.

Nitrates (NO_3^-) :

La teneur en nitrates est de 2,3 mg/L, largement inférieure à la limite de 50 mg/L. Cette faible concentration indique l'absence de contamination significative par les activités agricoles ou domestiques.

2.3 Interprétation hydrochimique :

L'interprétation hydrochimique permet de déterminer le faciès chimique de l'eau. À cet effet, les données analytiques ont été exploitées à l'aide des diagrammes de Piper et de Schoeler, largement utilisés dans les études hydrogéologiques.

2.3.1 Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper constitue un outil graphique permettant de classifier les eaux en fonction de leur composition ionique dominante. Il facilite l'identification du faciès hydro chimique et met en évidence les relations entre les principaux cations et anions dissous.

La représentation graphique (figure IV-2) indique :

- Au niveau du triangle des cations, l'échantillon se situe dans la zone caractérisée par l'absence de cation dominant. Les proportions relatives montrent une répartition équilibrée entre les ions calcium (Ca^{2+}), sodium et potassium ($Na^+ + K^+$), avec une contribution notable du magnésium (Mg^{2+}). Cette distribution traduit l'absence d'un enrichissement cationique spécifique.
- Dans le triangle des anions, l'échantillon se projette également dans le domaine sans anion dominant, à l'intersection des pôles chloruré (Cl^-), sulfaté (SO_4^{2-}) et bicarbonaté (HCO_3^-). Cette répartition témoigne d'une composition chimique relativement équilibrée entre les principaux anions dissous.
- La combinaison de ces résultats dans le losange central du diagramme classe l'eau du forage de l'Ouled Sidi Mihoub dans le faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien.

Ce faciès reflète une minéralisation relativement élevée des eaux souterraines, confirmée par une conductivité électrique de 2019 µS/cm, indiquant une charge minérale globale importante.

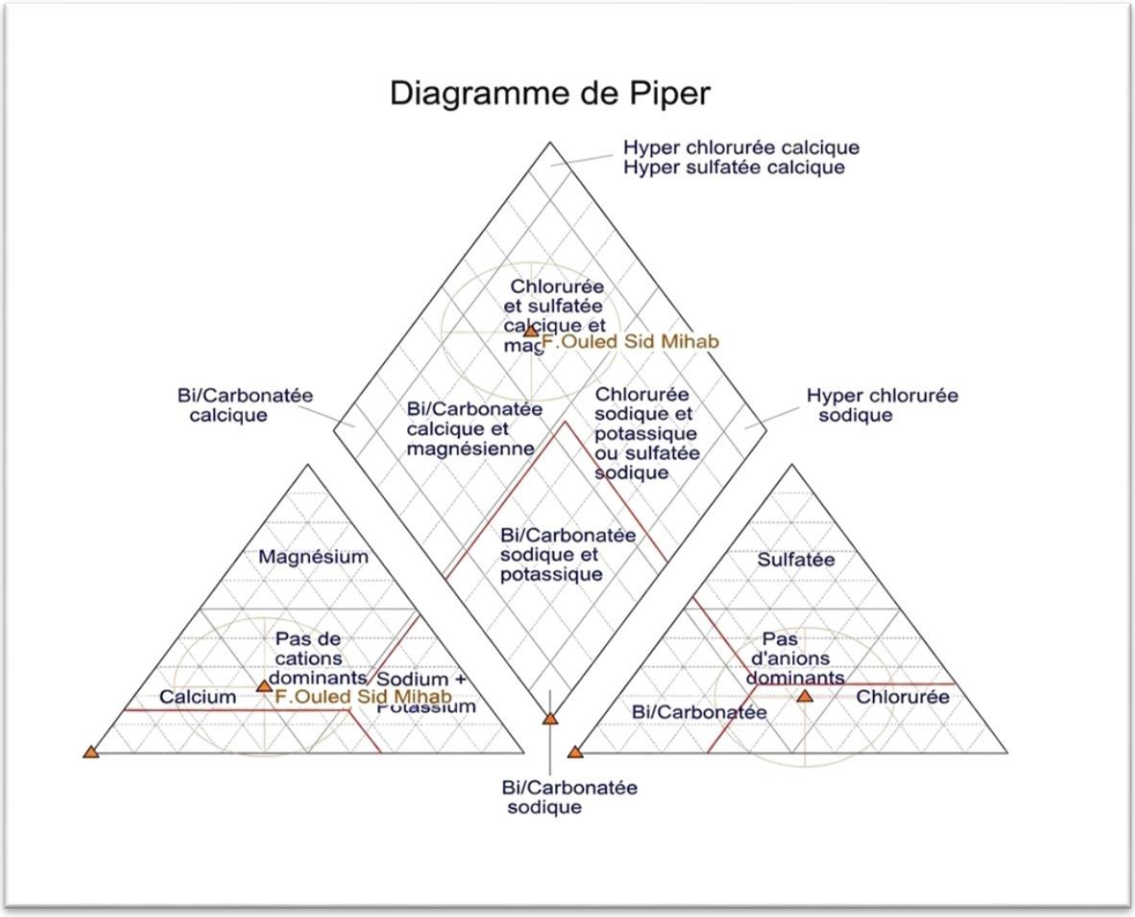


Figure IV- 2:Diagramme de Piper des eaux du forage étudié

2.3.2 Diagramme de Schoeler-Berkaloff :

Le diagramme de Schoeler-Berkaloff permet de comparer les concentrations des principaux ions dissous et de déterminer leur ordre de dominance. Il constitue un outil efficace pour caractériser la signature hydrochimique des eaux souterraines.

L'analyse du profil obtenu (Figure IV-3) montre des concentrations relativement élevées pour les principaux cations et anions. Les ions calcium (Ca^{2+}) présentent les teneurs les plus importantes parmi les cations, suivis des ions sodium et potassium (Na^{+} + K^{+}), puis du magnésium (Mg^{2+}).

L'ordre d'abondance des cations est donc :

$$Ca^{2+} > (Na^{+} + K^{+}) > Mg^{2+}$$

Concernant les anions, les chlorures (Cl^{-}) dominent, suivis des bicarbonates (HCO_3^{-}) puis des sulfates (SO_4^{2-}). Les nitrates (NO_3^{-}) présentent les concentrations les plus faibles. L'ordre d'abondance des anions est :

$$Cl^{-} > HCO_3^{-} > SO_4^{2-} >> NO_3^{-}$$

La faible concentration en nitrates constitue un indicateur favorable de la qualité de l'eau et traduit une faible influence des activités anthropiques sur la nappe exploitée.

Les résultats obtenus confirment ainsi le faciès hydrochimique mis en évidence par le diagramme de Piper, à savoir un faciès chloruré calcique caractéristique d'une eau relativement minéralisée.

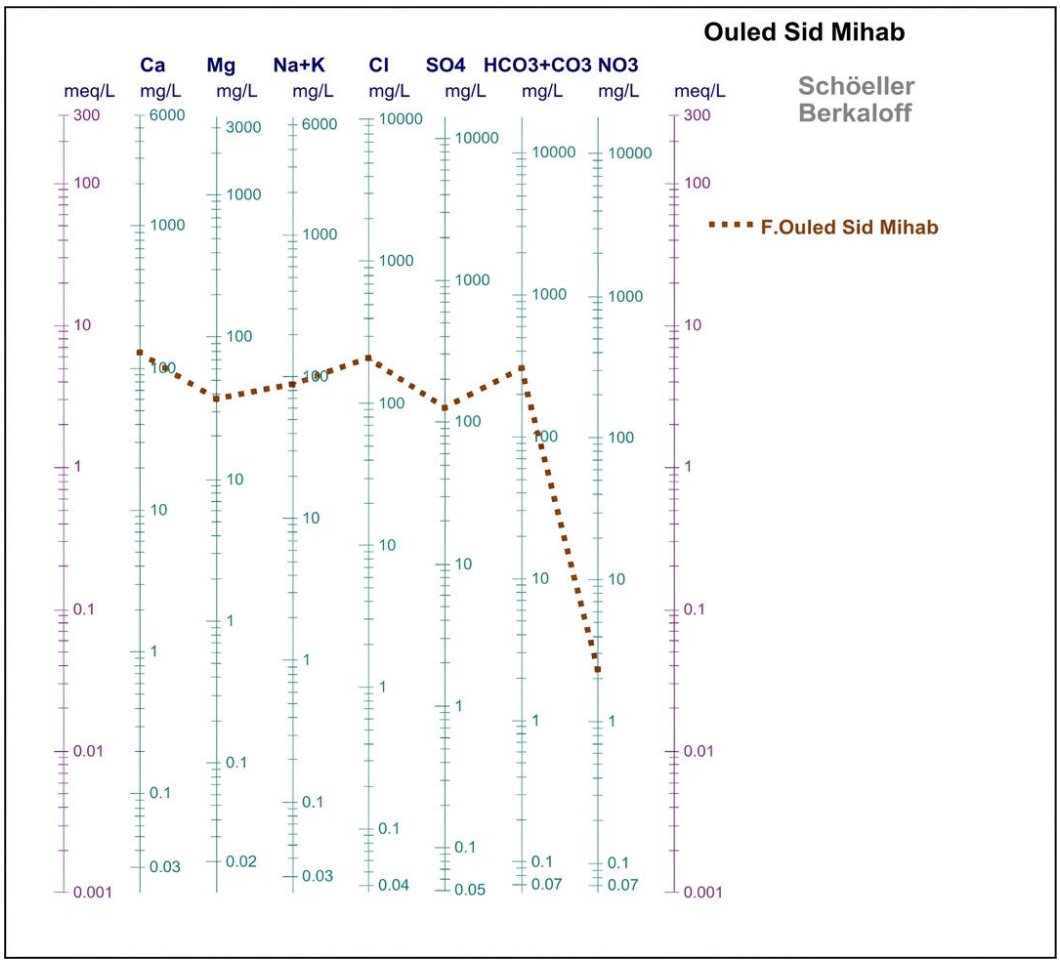


Figure IV- 3:Diagramme de Schoeler-Berkaloff des eaux du forage étudié

3 Analyse bactériologique :

Une analyse bactériologique a été réalisée sur l'eau du forage. Les résultats obtenus se sont révélés négatifs, traduisant l'absence de contamination par les coliformes, Escherichia coli et les entérocoques.

Conclusion :

L'eau du Forage Billot 2 est déclarée chimiquement et sanitairement propre à la consommation humaine. Ses concentrations ioniques respectent l'ensemble des limites réglementaires algériennes. Pour pallier les légers inconvénients organoleptiques liés à sa forte dureté calcique et sa minéralisation naturelle chlorurée-sulfatée, il est recommandé, dans la mesure du possible, de procéder à une interconnexion (mélange) avec des ressources en eau de surface ou des sources plus douces avant la distribution finale dans le réseau d'Alimentation en Eau Potable.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Le présent travail a porté sur le suivi des travaux de réalisation du forage Bellot 2 situé dans la région d'Ouled Sidi Mihoub, wilaya de Relizane, dans le but d'évaluer son potentiel hydrique et son aptitude à répondre aux besoins en eau potable de la région.

L'étude a débuté par une présentation générale de la zone d'étude, mettant en évidence ses caractéristiques géographiques, climatiques et hydrographiques. Cette analyse a permis de mieux comprendre le contexte naturel de la région ainsi que les facteurs influençant la disponibilité des ressources en eau.

Par ailleurs, l'étude géologique, hydrogéologique et hydrochimique a permis d'identifier les principales formations géologiques rencontrées et de caractériser les conditions de circulation et de stockage des eaux souterraines. Ces éléments constituent une base essentielle pour l'implantation et l'exploitation des ouvrages de captage.

Le suivi des travaux de forage a montré que les différentes opérations de réalisation, notamment le forage, le tubage, la cimentation, le gravillonnage et le développement, ont été exécutées conformément aux exigences techniques. Ces opérations ont permis d'assurer la stabilité de l'ouvrage et d'optimiser les conditions de captage de la nappe exploitée.

Les résultats des essais de pompage ont mis en évidence des caractéristiques hydrodynamiques satisfaisantes et une bonne productivité du forage. De plus, l'analyse hydrochimique a révélé que les eaux du forage présentent un faciès chloruré calcique. Les paramètres physico-chimiques mesurés indiquent une qualité d'eau globalement acceptable pour l'alimentation en eau potable, sous réserve d'un contrôle régulier de certains paramètres.

Au terme de cette étude, il apparaît que le forage Bellot 2 constitue une ressource hydrique importante pour l'alimentation en eau potable de la région d'Ouled Sidi Mihoub. Toutefois, afin de garantir la pérennité de cette ressource, il est recommandé d'assurer un suivi régulier de la qualité des eaux, de contrôler les conditions d'exploitation du forage et de mettre en place une gestion rationnelle des eaux souterraines.

Cette étude met ainsi en évidence l'importance des investigations géologiques et hydrogéologiques ainsi que du suivi rigoureux des travaux de forage dans la valorisation durable des ressources en eau souterraine.

Recommandations

Recommandations :

Afin d'assurer une exploitation rationnelle et durable de la ressource en eau souterraine captée par le forage Billot 2 d'Ouled Sidi Mihoub, et de prémunir l'ouvrage contre toute dégradation quantitative et qualitative, plusieurs recommandations d'ordre technique sont préconisées :

1.Suivi périodique de la qualité des eaux : Compte tenu de la minéralisation naturelle relativement élevée de la nappe (CE = 2019 S/cm et TDS = 1019 mg/L), il est impératif de :

- Mettre en œuvre un protocole de suivi physico-chimique saisonnier (trimestriel) afin de surveiller l'évolution temporelle des teneurs en ions majeurs, en particulier les sulfates et les chlorures qui régissent la dureté et la sapidité (goût saumâtre) de l'eau.
- Réaliser des analyses microbiologiques régulières au niveau de la tête du forage et du réservoir de stockage pour garantir l'absence totale de contamination bactérienne avant la distribution aux populations.

2.Contrôle des performances hydrauliques du forage : Pour pérenniser l'efficience technique de l'ouvrage et prévenir le vieillissement prématuré de sa structure hydrodynamique, il est recommandé de :

- Procéder à des mesures systématiques et fréquentes du niveau statique (NS) et du niveau dynamique (ND) à l'aide d'une sonde piézométrique, et les confronter aux valeurs initiales de référence (NS = 14,30 m ; ND = 18,70 m pour un débit de 18 L/s).
- Suivre l'évolution du rabattement spécifique (s/Q) au cours du temps afin de détecter précocement tout phénomène de colmatage des crépines ou de dégradation du massif filtrant.

3.Protection contre les sources de pollution: Bien que l'aquifère profond d'Ouled Sidi Mihoub présente actuellement une excellente protection vis-à-vis des polluants de surface (teneur en nitrates très faible de 2,3 mg/L), des mesures conservatoires doivent être instaurées:

- Délimiter réglementairement des périmètres de protection : un périmètre immédiat (clôturé et strictement réservé aux installations du forage) et un périmètre rapproché (où l'usage d'intrants chimiques azotés et de pesticides doit être sévèrement restreint).

- Assurer l'étanchéité absolue de la tête de puits par une dalle de cimentation rigoureuse afin d'empêcher l'infiltration directe des eaux de ruissellement superficielles le long de l'espace annulaire du tubage.

4.Gestion durable de l'exploitation : Pour éviter l'apparition d'un déstockage continu ou d'un rabattement irréversible induit par l'effet de barrière hydrogéologique de la matrice argilo-marneuse encaissante, il convient de :

- Respecter le débit d'exploitation nominal de sécurité préconisé (18 L/s à 20 L/s maximum) et proscrire tout pompage au-delà de ces seuils sous peine de désaturer les horizons captés.
- Optimiser le temps de pompage journalier en instaurant des phases de repos quotidien suffisantes pour permettre la remontée du plan d'eau et la restauration de la pression hydrostatique de l'aquifère.
- Équiper l'ouvrage d'un compteur volumétrique afin de quantifier précisément les volumes exhaussés et de s'aligner sur les directives de gestion intégrée des ressources en eau.

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

ADE (2020): Algérienne des Eaux de la Wilaya de Relizane.

ADE (2026) : Algérienne des Eaux de la commune de Djdiouia

Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H.).

Bourzak A et Lassal A. (2021) : Érosion hydrique et risque d'envasement des barrages :

étude de cas barrages de Gargar (wilaya de Relizane) , Université d'Oran

Boursali T. (2008) : Hydrogéologie de la région de Bel Hacel. Mémoire

de Magister, Université d'Oran.

Boudehedje A. et Khellouf A. (2008) : Étude hydrogéologique de la plaine de La Mina (Wilaya de Relizane). Mémoire de fin d'études, Université d'Oran.

Bousbai A et Djellal N (2017) : Réalisation des forages d'eau (wilaya de Relizane) Rapport de stage , Université de Chlef.

Compagnie Générale de Géophysique C.G.G :(1972) :Études géophysiques.

DHW : Direction de l'Hydraulique de la Wilaya de Relizane.

DRE :Direction des Ressources en Eau de Wilaya de Relizane.

Moulay O.Y et Seddiki Y (2017) : Suivi d'un forage d'eau dans la région de Bouhraoua (Wilaya de Ghardaïa), Université Kasdi Merbah Ouargla)

Mehidi A et Ben Yahia I (2020) : Gestion intégrée des ressources en eau dans la région de Relizane. Mémoire de fin d'études, Université de Tiaret.

Mohamed Bey F et Yebbou Kh (2013) : Caractérisation hydrogéologiques et hydrochimiques des eaux de la région de Relizane. Mémoire d'Ingénieur d'État , Université d'Oran.

Do Rosário C.E.A (2015) : Estimation de l'infiltration efficace dans la plaine alluviale du Bas Chéliff par analyse multicritères (entre Chlef et Relizane). Mémoire de fin d'études, Université de Khemis-Miliana

Annexes

Annexe 1 : les niveaux piézométriques mesurés dans les forages (mars 2007)

Forages	**N.P (m)**
F1 Départ M	97
F2 Départ SL1	92.50
F3 SK2/SK3	93
F4 Secondaire B	75
F5 Propriété Tulha	103
F6 Messionéne	78
F7 Maisonnette	168
F8 Canal S.E2	78
F9 Canal Principal	161.5
F 10 Canal S.E.1	81.7
F11 SOUALMIA 02	62.41
F12 SOUALMIA 04	124.29
F13 Beni Ketir	34.17
F14 Doundin 2	149.65
F15 Cheikh Ben Ali	60.56
F16 Hdjaiejia	69.14
F17 Aouamrin	68.1
F18 Merdja	73.21
F19 Delailin	36.66
F20 Pépinière N° 03	52.28

(DHW)

Annexe 02 : Forages recensés dans la région de Relizane

Nom de forage	X	Y
F1 Départ M Extrémité	317700	279600
F2 Départ du SL 1	315150	277200
F3 SK2/SK3	313950	276400
F4 Secondaire B	303200	274250
F5 propriété Taïba	310100	274900
F6 Messiouéne	300100	270200
F7 Maisonnette	297900	273500
F8 Canal SE2	304000	271800
F9 Canal principal	301000	271200
F10 Canal SE1	303200	271700
F11 Soualmia 2	281500	273900
F12 Soualmia 4	284900	274000
F13 Beni Ketir	282400	274700
F14 Douadia 2	339500	299000
F15 Cheikh Ben Ali	286650	271750
F16 Hdjaiejia	289000	271200
F17 Aouamria	289100	270500
F18 Merdja	295100	273850
F19 Delailia	316350	280800
F20 Pépinière N°03	298400	271850
Forage de Bas-Chellif	332300	312650
Forage WIAM	339400	296700
Forage d'Ammi Moussa III	343900	299500
Forage de Mazouna	337450	302750

(DHW)