

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche
Scientifique



Université de Ghardaïa

Faculté des Sciences et Technologie
Département des Sciences et Technologie

N° d'ordre :

N° de série:

Projet de fin d'étude présenté en vue de l'obtention du diplôme de

LICENCE

Domaine : Science et Technologie

Filière : Hydraulique

Spécialité : Sciences de l'eau et de l'environnement

THEME:

***Forages et alimentation en eau potable ; cas des forages de
Bonoura wilaya de Ghardaïa***

PAR:

**khemgani Sara
Ben khelifa Hadjer**

Jury:

M^F: Boubelli Salim

Maitre Assistant A

Univ. Ghardaïa

Encadreur

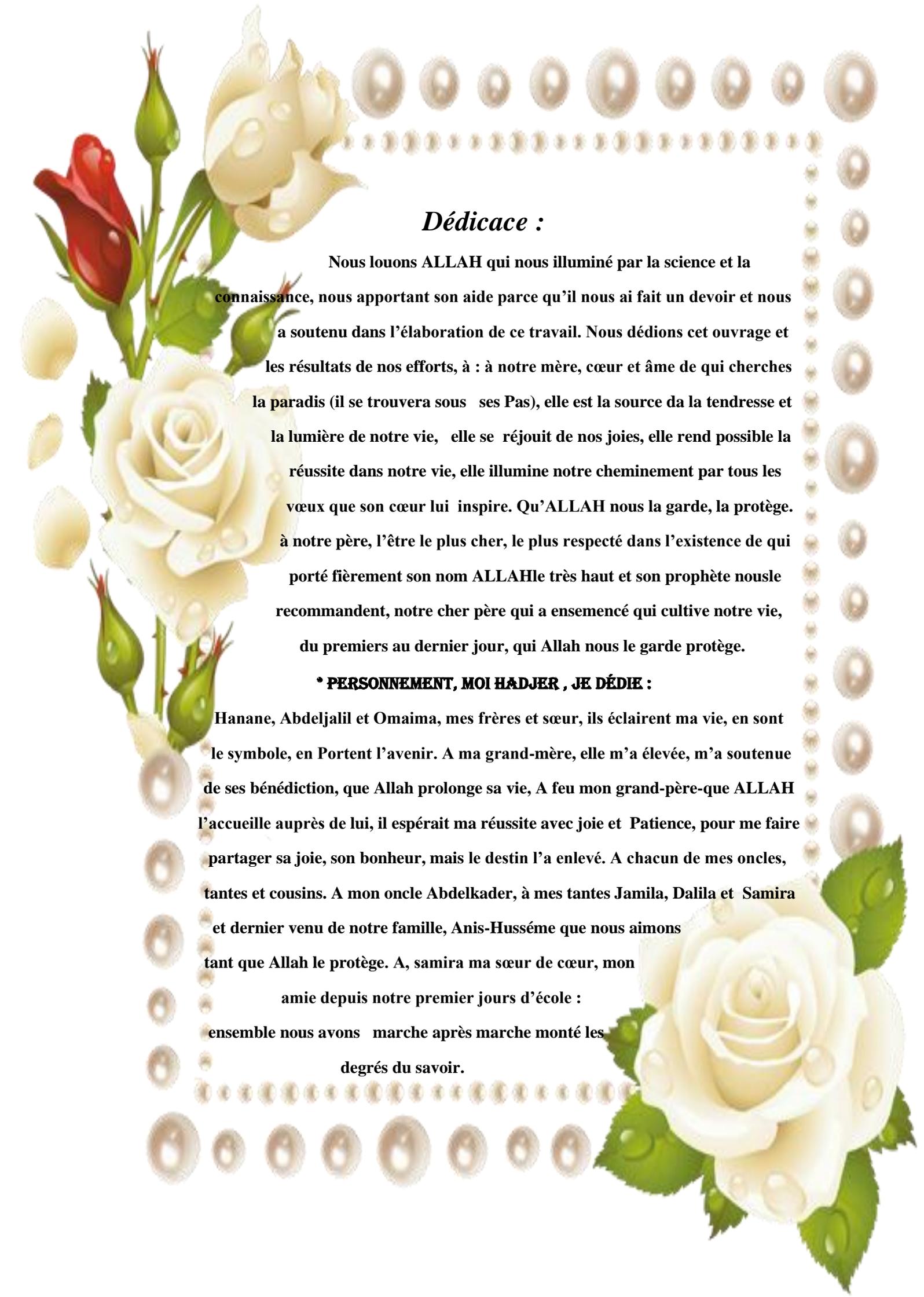
M^F: Mechri Bachir

Maitre Assistant A Univ. Ghardaïa

Examineur

ANNEE UNIVERSITAIRE: 2013/2014



A decorative border of pearls and roses surrounds the text. The border consists of a top row of large pearls, a middle row of smaller pearls, and a bottom row of large pearls. On the left side, there are several roses, including a red one and several white ones with green leaves. On the right side, there are more white roses with green leaves.

Dédicace :

Nous louons ALLAH qui nous illuminé par la science et la connaissance, nous apportant son aide parce qu'il nous ai fait un devoir et nous a soutenu dans l'élaboration de ce travail. Nous dédions cet ouvrage et les résultats de nos efforts, à : à notre mère, cœur et âme de qui cherches la paradis (il se trouvera sous ses Pas), elle est la source da la tendresse et la lumière de notre vie, elle se réjouit de nos joies, elle rend possible la réussite dans notre vie, elle illumine notre cheminement par tous les vœux que son cœur lui inspire. Qu'ALLAH nous la garde, la protège. à notre père, l'être le plus cher, le plus respecté dans l'existence de qui porté fièrement son nom ALLAHle très haut et son prophète nousle recommandent, notre cher père qui a ensemencé qui cultive notre vie, du premiers au dernier jour, qui Allah nous le garde protège.

*** PERSONNEMENT, MOI HADJER , JE DÉDIE :**

Hanane, Abdeljalil et Omaima, mes frères et sœur, ils éclairent ma vie, en sont le symbole, en Portent l'avenir. A ma grand-mère, elle m'a élevée, m'a soutenue de ses bénédiction, que Allah prolonge sa vie, A feu mon grand-père-que ALLAH l'accueille auprès de lui, il espérait ma réussite avec joie et Patience, pour me faire partager sa joie, son bonheur, mais le destin l'a enlevé. A chacun de mes oncles, tantes et cousins. A mon oncle Abdelkader, à mes tantes Jamila, Dalila et Samira et dernier venu de notre famille, Anis-Husséme que nous aimons tant que Allah le protège. A, samira ma sœur de cœur, mon amie depuis notre premier jours d'école : ensemble nous avons marche après marche monté les degrés du savoir.



A, Sara, ma compagne dans l'accomplissement de cet ouvrage qu'elle a rendu possible grâce à la puissance de sa volonté, la constance de son travail, la force de sa pensée et grâce à chacun de ses innombrables encouragements. Sans oublier ma fidèle Manel.

*** QUANT À MOI SARA ; JE DÉDIE À MES PROCHES :**

A mes grands-parents : mon grand-père Bellaouar Ameur, ma grand-Mère Abdehakim Mbarka. Ils Ont tant désiré le succès et le bonheur Deleur leur petite fille. Ils se sont tant inquiétés de mes inquiétudes et réjouis de mes joies .

A mes frères Mohamed et AbdeElbasset, compagnons de ma vie qui , sans eux me paraîtrait vide. Mes sœurs, Amina, Zineb et Hana , pour votre amour, votre générosité, votre gentillesse, votre dévouement.

A mon oncle sourire Massoud qui aidez-moi,

A mes amis au grand cours amies de bonne volonté, ces autres sœurs qui pas à pas avec moi ont avancé dans la vie et maintenant encore m'accompagnent ; Hadjer, Manel, Ikram, Amina, *nous tenons enfin, mentionner une personne qui nous est proche, Sylvie, pour Son aide et ses conseils.

- *Ben khelifahadjer*
 - *Khemganisarra*
- 



REMERCIEMENTS :

Nous adressons nos plus profonds remerciements, et notre Plus grande gratitude à ceux qui nous ont apporte leur aide, De près on de loin, à l'accomplissement de ce travail et qui Nous ont permis d'ensurmonter le difficultés.

Notre pensée va tout particulièrement vers le professeur quinous a encadré :

Monsieur **BOUBELLI SALIM** qui n'a épargné ni ses précieux conseils ni ses indica Utiles qui nous ont beaucoup pour l'élaboration de ce mémoire.

Nous n'oublions pas chacun employés des différents services concernés par nos

Travaux : chef départment : hadjesaid abdealkader,

Monsieur Chouireb Mustapha, madame Bouamer Khira, monsieur

Boutarouk Samir, monsieur Boutarouk Ahmed, monsieur lakhedari

abdeALHAKIM, monsieur Kanzo et monsieur Ben khelifa.

Merci en coure pour leur présence et leur soutien à nos prochess et amies : Amal H, Amina M, Amani A, Hadjer B, Hanane M, Iman N,

Karima L Maroua D, Manel R, Nada B, RababB , Samira ,

Somia B, Wafae Bell, Walae A, ZohraCh

Résumé :

L'eau potable est primordiale pour la survie des êtres vivants et garantit la continuité de leur existence dans l'univers. C'est à cause de son importance que nous avons entrepris notre étude des eaux souterraines, de leur forage et des caractéristiques de ces eaux au niveau d'un point précis de la wilaya de Ghardaïa – qui est un site unique en fonction de son retentissement tant au niveau du Nord Sahara que du pays tout entier.

Nous étudions la nature géologique et le climat car ils influencent profondément la qualité des eaux souterraines de la région et sur l'alimentation en eau potable. Nous étudions également en détail les opérations de forage d'un puits et ses principales techniques, incluant les équipements employés. Nous étudions enfin la chimie de l'eau en fonction de sa nature puis ses qualités de sorte qu'elle ne nuise pas à la santé humaine.

Mots clé : L'eau potable, forage, alimentation et qualité.

Abstract :

Drinking water is highly important for survival of life since it is a warrant life will keep on and on in the universe. Pure water being so special, we had to study underground water, well drilling and water characteristics by of a precise site of high historical and cultural importance for north Sahara and Algeria.

We first studied geology and climate by Ghardaia which deeply influence the quality of its underground waters. Then, we studied precisely well drilling operations and their equipment. Last but not least, we studied its water chemistry linked with its nature and characteristics so that it won't harm human health.

Keywords: drinking water, drilling, supply and quality.

ملخص:

يعتبر الماء الصالح للشرب من أولويات الكائنات الحية في الحفاظ على حياتها و ضمان استمرارها في الكون. و من خلال هذا العمل المتواضع نقوم بدراسة حول المياه الجوفية و الآبار و نوعية المياه على مستوى المنطقة المختارة من ولاية غارداية التي تتميز بموقع هام زيادة على ذلك تاريخها الذي يصنفها من أهم المناطق الصحراوية في الجزائر .

تناولنا في هذه الدراسة الطبيعة الجيولوجية وكذا طبيعة المناخ, الذي يؤثر بشكل كبير على منسوب المياه الجوفية في المنطقة, كما قمنا بدراسة شاملة حول عملية حفر الآبار و أهم تقنياتها من أدوات و طرق الحفر, و في الأخير قمنا بالدراسة الكيميائية لمعرفة نوعية و جودة المياه و مدى سلامتها على صحة المستهلك.

الكلمات المفتاحية : الماء الصالح للشرب ، الآبار الجوفية، التموين و النوعية.



SOMMAIRE

Titre	Page
Dédicace	
Remerciments.....	
Ressemé.....	I
Sommaire.....	XI
Liste des Figure.....	XIV
Liste des tableaux.....	XVI
Introduction.....	1

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

1.1-Description de la ville.....	4
1.1.1- Coordonnées géographiques	4
1.2-Position géographique	6
1.2.1- Situation géographique	7
1.2.2- Limites géographiques.....	7
1.3- Historique de la ville.....	9
1.3.1- Préhistoire	9
1.3.2- Période préislamique	9
1.3.3- période islamique	10
1.3.3.1- Sédentarisation urbaine	10
1.3.3.2- Les nomades Chaamba	10
1.3.4- Colonisation française	11
1.3.5-Indépendance	11

1.4- la Géologie de Ghardaïa	11
1.4.1- Géologie générale.....	11
1.4.2- le pays de chebka	12
1.4.1.1- Réseaux hydrograue	12
1.4.1.3-Affleurement des formations	12
1.4.1.4- Âges des formations	13
1.4.2- Cadre géologique	13
1.4.3-Cadre structural.....	14
1.4.4- Géologie du site.....	15
1.4.4.1- Lithologie	15
1.4.4.2-Tectonique	16
1.4.4.3- Altération	17
1.4.4.4 Karstification	17
1.4.4.5-Géologie de la cuvette	17
1.4.4.6- Stabilité	17
1.4.4.7-Etanchéité	17
1.4.4.8- Hydrogéologie	18
1.5- Relief.....	18
1.6-Climat.....	19
1.6.1- Pluviométrie	20
1.6.2- Température	20
1.6.3-Les vents	20
1.7- Vallée du M'Zab.....	21
1.8- conclusion	24

CHAPITRE 2 : HYDROCLIMATOLOGIE

2.1	Introduction.....	27
2.2-	Les paramètres météorologiques déterminants.....	27
2.2.1-	Les précipitations.....	27
2.2-	précipitation moyenne mensuelles.....	27
2.2.3-	La température de l'aire	28
2.2.4-	Synthèse climatique	29
2.2.5-	Diagramme pluviothermique	29
2.2.6-	Le vent	30
2.2.7-	L'humidité relative de l'air.....	31
2.3-	Courbe ombro-thermique.....	31
2.3.1-	courbe ombro-thermique station de Ghardaïa (P=2T)	31
2.4-	L'évapotranspiration	32
2.5-	Bilan hydrique	33
2.6-	L'évapotranspiration réelle (ETR)	33
2.7-	L'évapotranspiration potentielle (ETP).....	34
2.8-	Ruissellement.....	35
2.9-	Infiltration.....	36
2.10-	Conclusion.....	36

CHAPITRE 3 : TECHNIQUES DE FORAGES

3.1- Introduction.....	37
3.2- Données nécessaires à l'élaboration d'un puits	37
3.3- La proposition de forage	37
3.4- Le rapport d'implantation.....	38
3.5- Le programme de forage et de tubage	39
3.5.1- Généralité	39
3.6- Le principe du forage rotary	40
3.7- Les principales opérations	42
3.7.1- Le forage	42
3.7.2- L'ajout de tige.....	44
3.7.3- La manœuvre	45
3.7.4- Tubage	46
3.7.5- Montage de la tête de puits.....	47
3.7.6- Complétion.....	47
3.8- Identification du Forage étudié	47
3.8.1- Situation géographique du forage	47
3.8.2- localisation du forage	48
3.8.3- Déroulement des travaux, complétion du puits	48
3.8.4- But du forage	48
3.8.5- Description lithologique / stratigraphie	48
3.8.6- Le Turonien	48

3.8.7- Le Cénomanién.....	48
3.8.8-L'Albién	49
3.9-Les phases de foration.....	50
3.9.1-Phase de forage Ø18^{5/8}.....	50
3.9.2-Colonne de production.....	50
3.9.3- Colonne de captage	50
3.9.4-Massif additionnel (gravier).....	50
3.9.5-Développement du puits.....	52
3.9.6-Difficulté d'exécution.....	52
3.9.7-Essai de puits	52
3.10- Conclusion	52

CHAPITRE 4 : ALIMENTATIONS EN EAUX POTABLES

4.1- Introduction.....	55
4.2- Consommations spécifiques d'eau.....	55
4.2.1- La consommation domestique	55
4.2.2- La consommation industrielle.....	55
4.2.3- La consommation touristique	55
4.2.4- La consommation collective	55
4.3. Facteurs affectant la consommation	56
4.4- Evaluation des besoins en eau	56
4.4.1. Introduction.....	56
4.4.1.1- Consommation unitaire et globale (l/j/hab)	56

4.4.1.2- Consommation moyenne annuelle (m ³ /an)	56
4.4.1.3- Consommation moyenne journalière (l/j).....	57
4.4.2. Evaluation des besoins unitaires actuels par catégorie de consommation	57
4.4.2.1. Besoins domestiques	57
4.4.2.2- Besoins industriel	58
4.4.2.3- Besoins collectifs	58
4.4.2.4- Besoins touristiques	58
4.4.3- Evaluation des besoins globaux	59
4.4.4- Prédiction de la consommation en eau	60
4.4.4.1- Introduction	60
4.4.4.2- Etude de l'évolution de la population	60
4.4.4.3- Etude de l'évolution des dotations	61
4.5- Alimentation en eau	61
4.5.1- Ressources en eau	61
4.5.2- Exploitation	62

CHAPITRE 5 : HYDROCHIMIE ET QUALITE DES EAUX

5.1- Introduction.....	65
5.2 Etude de la chimie des eaux	65
5.3- Echantillonnage, méthodes d'analyse	65
5.4- Interprétation des résultats	67
5.4.1- Température (T°)	67
5.4.2- Le pH	68

5.4.3- La conductivité électrique.....	69
5.4.4- Magnésium Mg^{++}	70
5.4.5- Calcium (Ca^+)	70
5.4.6- Chlorures (Cl^-)	71
5.4.7- Sodium (Na^+).....	72
5.4.8- Potassium (K^+)	73
5.4.9- Les nitrates (NO_2^-)	74
5.4.10- L'ammonium (NH_4^+)	75
5.4.11- Titre alcalimétrique complet (TAC)	76
5.4.12- Titre hydrotimétrique (TH)	76
5.5- Représentation graphique des résultats	77
5.5.1- Diagramme de Piper	77
5.5.2-Diagramme de Schoeller-Berkaloff.....	79
5.6- Classification des eaux d'irrigation	81
5.7- Diagramme de Stiff	82
5.8- Conclusion	83
Conclusion générale.....	85
Bibliographique	87



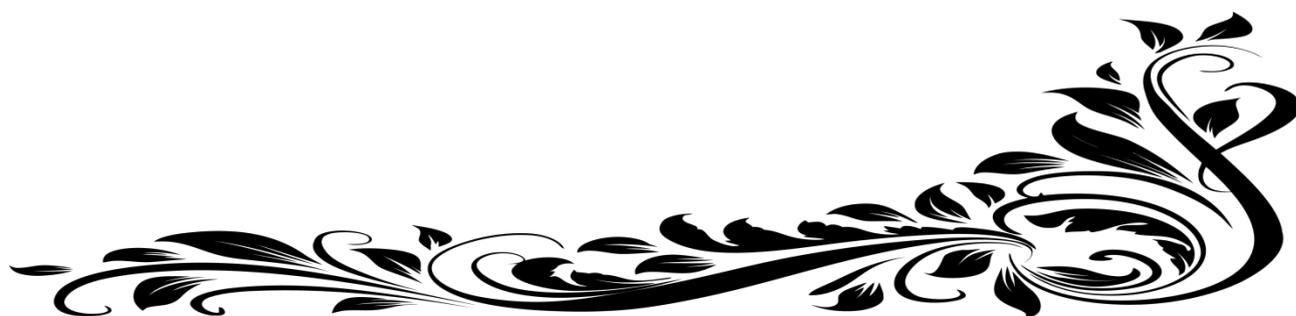


Liste des figures

Figure N° 1.01 : Wilaya de Ghardaïa	4
Figure N° 1.02 : Schéma de localisation de la wilaya de Ghardaïa	6
Figure N° 1.03 : Schéma de la wilaya de Ghardaïa	7
Figure N° 1.04 – coupe géologique et schématique de vallée de Mزاب	14
Figure N° 1.05 : plateau roches hamada	18
Figure N° 1.06 : la forme des relief en Ghardaïa	19
Figure N° 1.07 : carte de monde de la classification de Koopen-Geiger	20
Figure N° 1.08 : l'situation de oued M'زاب	22
Figure N° 1.09 : la vallée de M'زاب	24
Figure N° 2.01 : Variation des précipitations moyennes mensuelles aux stations météo de Ghardaïa (période : 2004-2013)	28
Figure N° 2.02 : Variation de La température de l'air aux stations météo de Ghardaïa (période : 2004-2013)	29
Figure N° 2.03 : Variation de le vent aux stations météo de Ghardaïa (en 2013)	30
Figure N° 2.04 :Variation de L'humidité relatives de l'air moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa (2009-2013)	31
Figure N° 2.05 : courbe ombo-thermique station de météo de Ghardaïa	32
Figure N° 2.06 : le ruissellement à la vallée du M'زاب	35

Figure N° 3.01 : la sonde de forage Rotary	41
Figure N° 3.02 : les composantes d'une sonde de forage Rotary	42
Figure N° 3.03 : le début de forage	43
Figure N° 3.04 : Chambre de commande	43
Figure N° 3.05 : l'Agout de tige	44
Figure N° 3.06 : fonction des manoeuvres	46
Figure N° 3.07 : les tubes de forages	46
Figure N° 3.08 : localisation de forages exploités à l'alimentation AEP	48
Figure N° 3.09 : Coupe technique et lithologique des forages	49
Figure N° 3.10 : Les phases de forage	51
Figure N° 5.01 : Variation spatiale des valeurs de T° des forages des Bonoura (2014)	67
Figure N° 5.02 : Variation spatiale des valeurs de pH des forages des Bonoura (2014)	68
Figure N° 5.03 : Variation spatiale des valeurs conductivités des forages de Bonoura(2014)	69
Figure N° 5-04 : Variation spatiale des valeurs Mg⁺⁺ des forages de Bonoura (2014)	70
Figure N° 5-05 : Variation spatiale des valeurs Ca⁺⁺ des forages de Bonoura (2014)	71
Figure N° 5-06 : Variation spatiale des valeurs Cl⁻ des forages de Bonoura (2014)	72
Figure N° 5-07 : Variation spatiale des valeurs Na⁺ des forages de Bonoura (2014)	73
Figure N° 5-08 : Variation spatiale des valeurs K⁺ des forages de Bonoura (2014)	74
Figure N° 5-09 : Variation spatiale des valeurs NO₂ des forages de Bonoura (2014)	74
Figure N° 5-10 : Variation spatiale des valeurs NH₄ des forages de Bonoura (2014)	75
Figure N° 5-11 : Variation spatiale des valeurs TAC des forages de Bonoura (2014)	76
Figure N° 5-12 : Variation spatiale des valeurs TH des forages de Bonoura (2014)	77

FigureN° 5-13 : Diagramme de Piper des eaux souterraines	78
FigureN° 5-14 : Diagramme Schoeller–Berkaloff des eaux souterraines	80
FigureN° 5-15 : Diagramme de Wilcox des eaux souterraines	81
FigureN° 5-16 : Diagramme de Stiff de l'analyse chimique des eaux souterraines	82

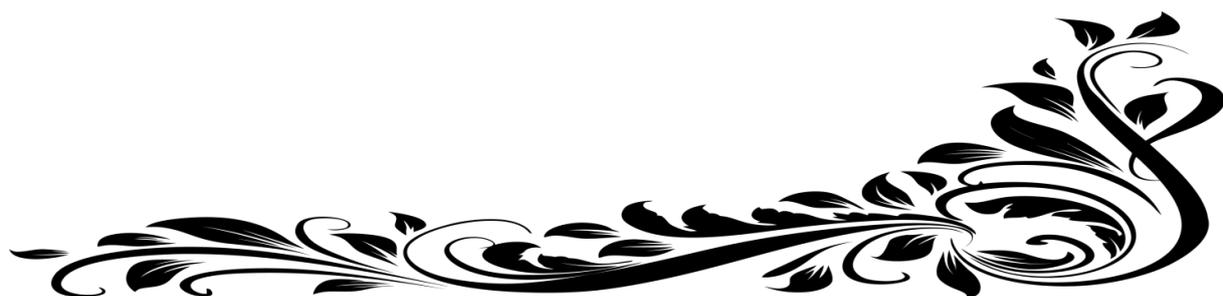




Liste des tableaux

Tableau N° 1-01 : Les superficies des communes de la Wilaya de Ghardaïa en 2013	8
Tableau N° 2-01 : précipitations moyennes mensuelles en (mm) (2004 – 2013)	27
Tableau N° 2-02 : la température de l'air aux stations météo de Ghardaïa (2003-2013)	28
Tableau N° 2-03 : le vent aux stations météo de Ghardaïa (en 2013)	30
Tableau N° 2-04 : L'humidité relatives de l'air moyennes mensuelles à la station de Ghardaia (2009-2013)	31
Tableau N° 2-05 : précipitations moyennes mensuelles (mm) (2004 – 2013) et température de l'air aux stations météorologiques de Ghardaïa (période : 2004-2013)	32
Tableau N° 4-01 - Prélèvements prévus et réels en l/s dans la nappe albienne	63
Tableau N° 5-01 -Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable, mises en place à Genève en1993 sont la référence en ce qui concerne la sécurité en matière d'eau potable	66
Tableau N° 5-02- NormesAlgériennes des rejets	66
Tableau N° 5-03 - les valeurs de T° des forages de Bonoura (2014)	67
Tableau N° 5-04 - les valeurs de pH des forages de Bonoura (2014)	68
Tableau N° 5-05 - les valeurs des conductivités des forages de Bonoura (2014)	69
Tableau N° 5-06 - les valeurs des Mg⁺⁺ des forages de Bonoura (2014)	70
TableauN° 5-07 - les valeurs des Ca⁺⁺ des forages de Bonoura (2014)	71
Tableau N° 5-08 -les valeurs des Cl⁻ des forages de Bonoura (2014)	71
Tableau N° 5-09 -les valeurs des Na⁺ des forages de Bonoura (2014)	72

Tableau N° 5-10 -les valeurs des K^+ des forages de Bonoura (2014)	73
Tableau N° 5-11 -les valeurs des NO_2 des forages de Bonoura (2014)	74
Tableau N° 5-12 -les valeurs des NH_4^+ des forages de Bonoura (2014)	75
Tableau N° 5-13 -les valeurs des TAC des forages de Bonoura (2014)	76
Tableau N° 5-14 -les valeurs des TH des forages de Bonoura (2014)	77
Tableau N° 5-15 - Représentation de Piper des eaux souterraines	78





INTRODUCTION GENERALE



Introduction:

Nous savons que le manque d'eau potable est un problème majeur qui frappe pratiquement tous les peuples et toutes les régions du monde surtout les pays en voie de développement ou peu développés. Les eaux souterraines subissent la pression démographique et l'accélération du développement économique, les eaux de surface et la nappe phréatique souffrent alors sur consommation, les réserves diminuent dangereusement.

Au niveau du Sahara, ces réserves sont extrêmement faibles et très rarement renouvelées à cause de la géomorphologie des sols et du climat qui sont les principaux responsables des apports en eaux souterraines, le principal étant la pluie. Sachant que la caractéristique du climat Saharien est la quantité et l'irrégularité des précipitations, ce qui réduit considérablement la présence des eaux souterraines.

La région de Ghardaïa est située au nord du Sahara Algérien son chef-lieu jouit de caractéristiques exceptionnelles puisque d'un côté elle possède une tradition culturelle et un héritage tant artisanal qu'architectural admirables et de l'autre possède un ensemble remarquable de puits qui en font un centre agricole important au niveau national.

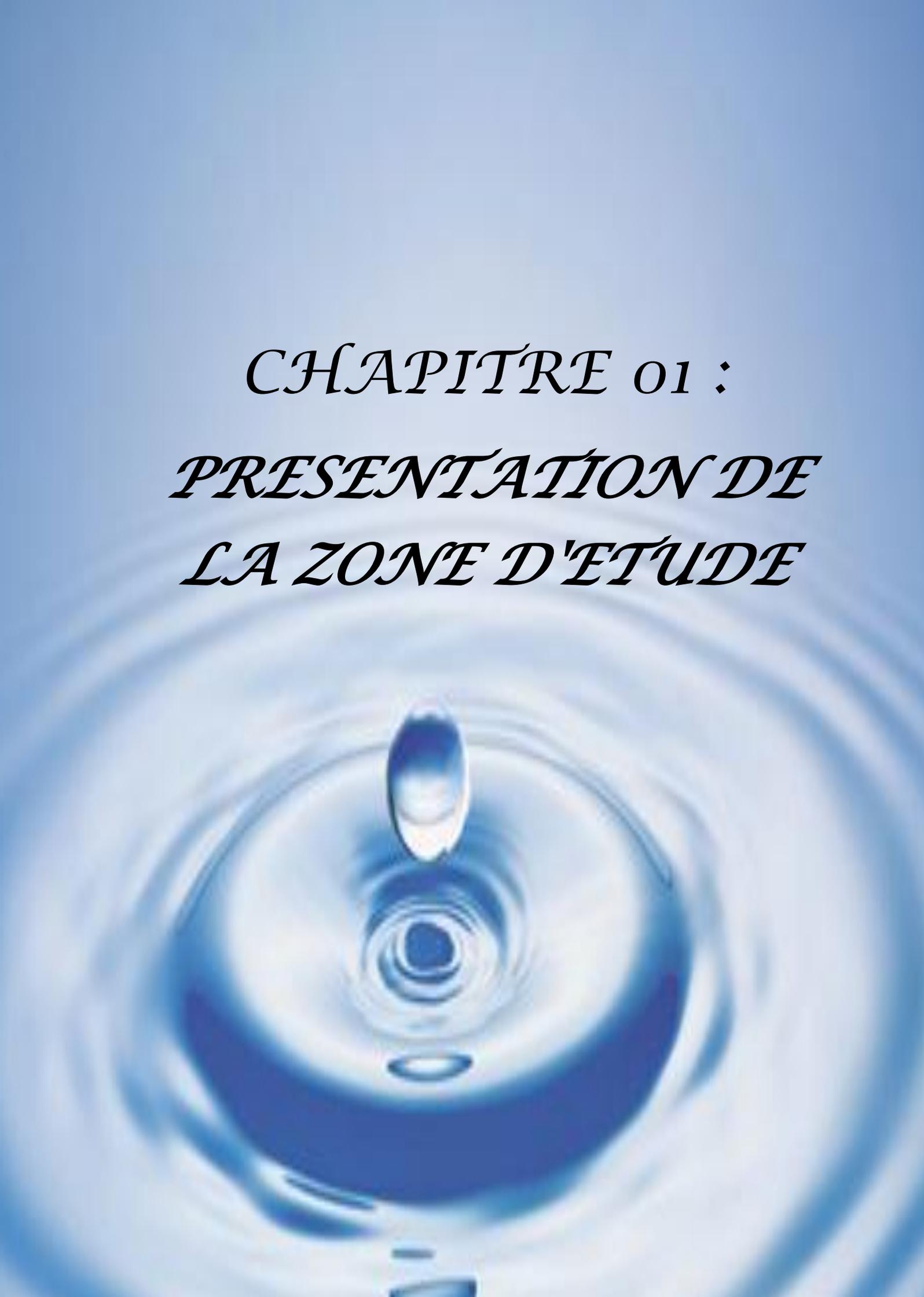
Dans la présente étude, nous tenterons une approche de l'état des eaux souterraines, de leurs caractéristiques et des techniques de forage en un point précis de la région.

De manière générale, les réserves en eau souterraine se trouvent emprisonnées dans une poche composée de roches perméables entre deux couches imperméables. Localement, ces bassins souterrains se rencontrent à une profondeur importante par rapport à la surface. Pour arriver à cette couche riche en eau, on est contraint d'employer des techniques de forage avancées.

Les puits que creusaient les habitants du M'Zab, employant la pioche, la corde et le « dellou » dans le lit de l'oued (5 à 10 m de profondeur) ou sur le plateau (30, jusqu'à 60 m) pour la nappe phréatique, ne permettent pas d'atteindre la couche albienne (300 à 500 m). Pour celle-ci, les techniques et équipements doivent être d'une grande sophistication.

Pour que l'eau souterraine soit consommable, elle doit être rendue potable grâce aux diverses techniques d'épuration. Puis qu'il faut débarrasser des bactéries dangereuses et des pollutions extérieures causées par les écoulements et les inondations qui contaminent les forages en y transportant des déchets, ce qui est souvent le cas dans la région de Ghardaïa.

CHAPITRE 01 :
PRESENTATION DE
LA ZONE D'ETUDE



1.1- Description de la ville :

Description de l'agglomération de Ghardaïa : Même si Ghardaïa est un centre administratif (wilaya), elle reste avant tout un pôle commerçant et touristique.



Figure 1-01 : wilaya de Ghardaïa

1.1.1- Coordonnées géographiques :

32°28'60" N, 3°40'00" E, 500m d'altitude.

Des 5 cités originelles de la penta-pôle, Beni Isguen, Bou Noura, Melika et Ghardaïa sont très proches (à vue) les unes des autres, Ghardaïa la plus Melika, rive gauche, Beni Isguen, rive droite, Bou Noura sur une hauteur au centre.

Elles sont toutes (comme El Ateuf) à flanc de colline, dominant l'oued, invisibles depuis le plateau, construites à l'intérieur de leurs remparts, ayant la dimension de gros villages. La mosquée s'y dresse au point le plus élevé, servant de centre religieux, culturel et social. Les ruelles descendent en lignes tortueuses (juste assez larges pour le passage d'un âne bâté).

Le quartier des commerçants est près des remparts pour que les étrangers n'entrent pas en zone résidentielle.

Le style de l'architecture mozabite est d'abord une architecture saharienne (la forme des minarets est par exemple proche de celles de Tombouctou au Mali).

Les matériaux sont immédiatement locaux : moellons, argile, chaux, troncs, stripées de palmiers, planes tout est minimaliste à taille humaine avec une recherche de la perfection absolue et de protection face au soleil, en l'harmonie qui en ressent en a fait le modèle de base des plus grands architectes du XX^e. (Le Corbusier, Niemeyer).

À partir d'Indépendance, la construction de maisons hors les murs a lentement grignoté l'espace utilisé autrefois dans la vallée pour les palmeraies et les passages.

Le parpaing, puis la brique et le ciment ont remplacé les matériaux traditionnels même si les maisons d'architectes sont relativement nombreuses. Les artères principales, maintenant bordées d'arcades, sont parallèles à l'oued (ou descendent du plateau). Dans les rues secondaires, deux véhicules peuvent difficilement se croiser.

Depuis quelque années ,on vont des bâtiments à plusieurs étages ,mais l'espace étant limité dans la vallée ,alors que les maisons monte à l'assaut de tous les versants du plateau ,des quartiers périphériques sont créés (Ben Mghanem , Bouhrawa,) et s'étendent sur 40 km de long le nouveau quartier résidentiel du Belvédère aux atésinspirées de l'architecture traditionnelle dilatement au bord de la route nationale n°1 (transsaharienne), sur une arête de la gaada dominant l'oued Mzab en direction d'El Ateuf et la Chaaba de Beni Isgune ,à la sortie sud de la ville, en direction de la zone industrielle, des complexes sportif et universitaire puis de l'aéroport .

1.2- Position géographique :

La wilaya couvre une superficie de 84660.12 km², et la surface agricole totale 13709.11 km² et , La population totale de la Wilaya est estimée à la fin de l’année 2011 à 413560 habitants contre 405015 en 2010, soit une augmentation absolue de 8545 et un taux d’accroissement démographique dégressif de l’ordre de 2,11 % en 2011, soit une densité de peuplement de 4,88 habitants/ km², est répartie sur 13 communes.

Cette densité moyenne de peuplement de la Wilaya est très faible. L’analyse des densités par commune montre le caractère inégal de la répartition de la population à travers le territoire de la Wilaya.

Elle est située à l’ouest du bassin secondaire du bas-Sahara, sur un plateau sub-horizontale , composé de calcaire dolomitique ; appelé couramment "dorsale du M’zab ". Il est jalonné par un réseau ramifié d’oueds de direction générale Ouest-Est., telles que l’Oued M’zab, Metlili, Sebseb, Mansourah, Nsaa (Berriane) et Oued Zegrir (Guerrara).

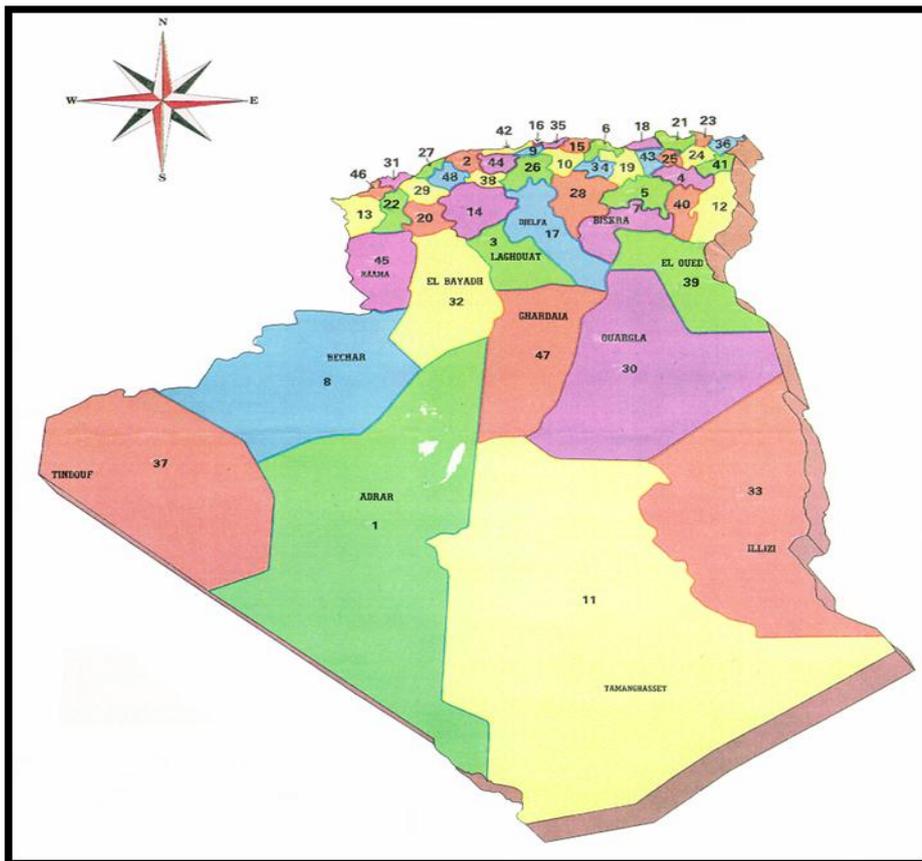


Figure 1- 02 : Schéma de localisation de la wilaya de Ghardaïa

1.2.1- Situation géographique:

La wilaya est située au centre de la partie Nord du Sahara algérien.

1.2.2- Limites géographiques:

La wilaya de Ghardaïa s’étale sur une superficie de 84660.12 km², elle est distante de la capitale de 520 km, composée de 9 Daïras et 13 communes.

Elle est limitée :

1. Au Nord par la Wilaya de Laghouat (200 Km).
2. Au Nord Est par la Wilaya de Djelfa (300 Km).
3. A l’Est par la Wilaya d’Ouargla (200 Km).
4. Au Sud par la Wilaya de Tamanrasset (1470 Km).
5. Au Sud-Ouest par la Wilaya d’Adrar (400 Km).
6. A l’Ouest par la Wilaya d’El-Bayadh(350 Km) .

Les régions naturelles, représentées sur le schéma, sont :

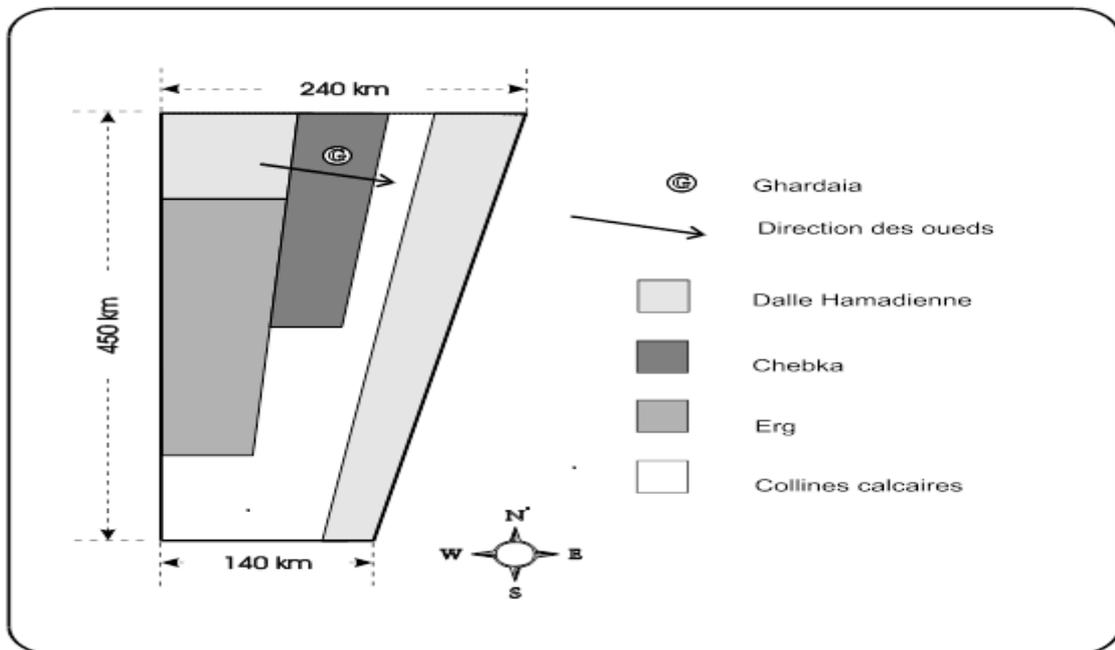


Figure 1-03 : schéma de la wilaya de Ghardaïa

CHPITRE 01 – PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

- les plaines de la dalle hamadienne, cuirasse calcaire avec, en surface, un cailloutis anguleux
- les régions ensablées, partie du Grand Erg Occidental avec des cordons dunaires particulièrement denses et élevés; cette zone Est consacrée exclusivement au pastoralisme saharien;
- la chebka, dorsale centrale à dominance calcaire en corniches continues de direction Nord - Sud.

Du point de vue de la géologie, les terrains affleurant dans la chebka correspondent à l'aboutissement d'une série de transgressions et de régressions marines : les périodes marines ont généré les terrains calcaires tandis que les périodes continentales ont laissé des sables et des grès qui constituent des réservoirs potentiels d'eaux souterraines, le réservoir le plus connu étant le Continental Intercalaire dont l'étage albien constitue la partie supérieure. Les périodes intermédiaires (flux ou reflux de la mer) ont donné des dépôts lagunaires : argiles à gypse.

Tableau 1 - 01 : Les superficies des communes de la Wilaya de Ghardaïa :

Communes	Superficies (km ²)
Ghardaïa	306,47
El-Ménéa	23920,68
Daya	2234,94
Berriane	2609,80
Metlili	5010,12
Guerrara	3382,27
El-Atteuf	717,01
Zelfana	1946,23
Sebseb	4366,82
Bounoura	778,92
Hassi-El-F'hel	6875,39
Hassi-El-Gara	27698,92
Mansoura	4812,55
Total	84660,12

1.3- Historique de la ville :

1.3.1- Préhistoire :

Dans la région de Ghardaïa des sites archéologiques, des vestiges-témoins ainsi que des outils et matériaux datant des paléolithiques sont toujours préservés.

Quelques écrits décrivent la présence de communautés primaires Troglodytes dont l'habitat est creusé à même la roche calcaire des collines environnantes sans en préciser la datation.

Les premières découvertes archéologiques dans la région du M'Zab eurent lieu dans les environs de Melika, de Ghardaïa (Sud/Est) et la région de Guerrara-Ghardaïa. Le trait caractéristique de ces gisements est qu'ils sont de surface. Les industries rencontrées sont très peu ancienne. Dans la vallée de Sebseb, on découvre des restes de fabrication de milliers d'outils de silex témoignant d'une vraie industrie locale extrêmement organisée quoique peu raffinée. On doit remarquer que ces emplacements sont proches d'un oued, là où la végétation est encore assez riche et l'eau à peu de profondeur. Les plus vieilles remontent au paléolithique et la plupart sont d'âge épipaléolithique ou néolithique. Contrairement au nord de l'Algérie, le climat étant devenu réellement saharien à partir de 8000, l'industrie dans capsienne du néolithique (poterie) ne s'est pas répandue dans la région qui par contre témoigne de l'utilisation d'œufs d'autruche pour porter et entreposer les denrées. Si l'art rupestre dans la région de Metlili est très limité et les rares gravures qu'on trouve n'ont pas de valeur particulière comparée aux gravures de l'Atlas Saharien, partout dans la chebka, on trouve d'anciens ksour, villages fortifiés en bord de gaada(hamada), dominant une vallée, pouvant contrôler leur chaambaet utiliser le lit de leur vallée pour l'économie vivrière. Les chercheurs parlent de civilisation de Touiel (de l'oued Touiel – commune de Mansoura Nouvelle) répandue dans tout le nord du Sahara.

1.3.2- Période préislamique:

Abu Zakaria un chroniqueur du 11^{ème} siècle, rapporte l'existence des Beni Mocab (lire également Beni-Mozab), tribus berbères Zénètes dont le mode de vie semi-nomade s'articulait autour d'une activité agricole assez rudimentaire et autour du pacage.

Le sociologue historien Ibn Khaldoun précise que les Beni-Mozab seraient les descendants de Moçab IBN Badine que l'on retrouve dans une généalogie remontant jusqu'à Ibn Jana, le père fondateur de la communauté Zénète qui est l'un des trois groupes ethniques berbères dont les Sanhadja et les Koutama. Les Beni-Mozab ont construit de nombreux « Agherm » dont l'aspect architectural est encore préservé dans les vicissitudes du temps (Aolaou ,Oukhira, Boukiaou , Tirichine ,Ikhlane , Tilezdit , Tafilalet,...) qui permettent de reconstituer l'organisation sociale de

ces tribus et ainsi de mieux comprendre les facteurs et mécanismes de leur assimilation aux Ibadites.

1.3.3- Periode islamique:

1.3.3.1- Sédentarisation urbaine :

Nous savons que la première installation dans la Chenka des Mozabites (venus de Sedrata– Ourgla après leur émigration suite à la défaite de leur cité-Etat de Tahart face au Fatimides) date à El Attef de 1014. Ils rencontrèrent, comme en témoigne la légende de la Grotte de Daïa, des Berbères semi-nomades ou nomade. Les Mkhedma et les Saïd(bien connus à Ouargla)sont de ceux-ci.

Dans la Chebka, les puits pouvaient être peu profonds, dans le lit d'un oued, mais s'épuisant en quelques années, obligeant à recommencer les travaux pour atteindre la nappe d'eau. Si on désirait attendre la nappe phréatique pérenne, on devait creuser des années durant jusqu' 40 ou 60 m.

Après leur première installation stable, les nouveaux habitants de la vallée du M'Zab ont créé Beni Isgen, Melika, Bou Nora et Ghardaïa elle-même, toujours à flanc de colline pour une position défensive et comme ailleurs au Sahara pour éviter d'occuper inutilement les espaces agricoles, tout en choisissant un site proche d'une source ou de la nappe d'eau.

1.3.3.2- Les nomades Chaamba :

Bientôt, à la fin du XI^e s, un petit groupe d'arabes Hilaliens se sont réfugié à 40 km de Ghardaia, dans un recoin –difficile à atteindre et facile à défendre- de l'oued Metlili, faisant de leur ksar le berceau des diverses tribus chaamba, basant leur économie sur le nomadisme, l'élevage de moutons, l'organisation a de caravanes et les razzias. Leur mode de vie était complémentaire à celui de leurs voisins mozabites (commerçants et agriculteurs sédentaires).

En 1317, suite à un conflit entre Melika et Beni Isgen–où l'empoisonnement de puits fut employé comme arme de guerre-, une alliance se scella entre Melika et Metlili Chaamba qui conduit à un échange d' »otage s » et à l'installation de quelques familles arabes à Melika et mozabites à Metlili.

Avec le temps la cité de Ghardaïa a réussi à attirer une partie du commerce transsaharien que Tahart dominait précédemment lors de sa toute puissance. Pendant cette période les Chaamba passèrent des accords de pâturage avec diverses tribus du nord saharien (Ouled Naïl – Beni Amour) nomadisant ensemble sur les Hauts Plateaux en été , dans la région de la Chebka en hiver.

1.3.4- Colonisation française :

Alors que le Mzab avait passé un accord de non-ingérence avec l'armée colonisatrice, au début de XX^e, celle-ci fit appel à des Chaamba pour la guider vers les territoires des Touaregs du Hoggar et Tassili (concurrents traditionnels des nomades chaamba vers le sud).

Statistiquement, dès leur installation dans le Sahara, les militaires française ont damé de bonnes piste nord –sud fait creuser des puits tous les 20-30 km tout au long et construit des postes relais tous les 40 km (ex :Hassi El Fhal)

Si la colonisation ne touchait donc pas beaucoup le mode de vie sédentaire mozabite, par contre le découpage territorial, les demandes d'autorisation administrative pour le moindre déplacement, la concurrence des véhicules automobile sont anéanti l'économie Chaamba.

1.3.5-Indépendance:

Le premier combat des moudjahidine Chaamba dans la région en 1957 contre l'armée du colonisateur a eu lieu à France (oued Touiel, comme une de Mansoura). Alors que la recherche pétrolière continuait en 1958, la route goudronnée jusqu'à El Ménée a pu disposer du forage des 3 premiers puits à près de 400m (Ain Lossig) commune de Mansoura, Hassi El Fhal, Gouiret Moussa.

Si l'indépendance algérienne a été officielle en 1962, dans le sahara, France a gardé des bastions militaires (pour ses bombes atomiques, entre autres) jusqu'un en 1964 et resta propriétaire du pétrole jusqu'à la nationalisation par le président Boumédinene. Au début de l'indépendance les habitants Ghardaia ont pu reprendre les emplois des commerçants juifs et des Français, les **Chaamba** durent abandonner pour sur vive.

1.4- La Géologie de Ghardaïa :

1.4.1- Géologie générale :

La région de Ghardaïa est une partie intégrante de la Chebka du M'zab : domaine encore plus large, limitée à peu près entre 31° et 33° de latitude boréale et 3° et 4° de longitude orientale elle correspond à un ensemble orographique globalement homogène qui occupe une grande partie du territoire de la wilaya de Ghardaïa.

Les terrains sédimentaires qui affleurent dans le centre du Sahara septentrional algérien sont des terrains secondaires et tertiaires .Le massif du M'zab figure une sorte de promontoire créacé émergeant, autour duquel les atterrissements mio-pliocènes et quaternaires couvrent de vaste surfaces.

1.4.1.1-Le pays de Chebka :

C'est un vaste et épais plateau, composé de terrains essentiellement carbonatés, massifs élevé du côté Nord-Ouest de plusieurs centaines de mètres au dessus de la mer, aride et dénudé de toute végétation. Il est littéralement découpé par d'innombrables ravins plus ou moins profonds, lesquels se joignent et s'enchevêtrent en dessinant des réseaux réticulés qui ont valu à ce pays le nom arabe de « Chebka », par analogie à un filet. Cette appellation géomorphologique tient compte, dans le sens strict, de trois conditions : un plateau calcaire, un réseau de ravins enchevêtrés, et une certaine profondeur de ces ravins.

1.4.1.2- Réseaux hydrographiques :

La Chebka du M'zab telle qu'elle se présente actuellement, est le vestige d'un réseau hydrographique acquis au cours du Villafranchien supérieur ; 1.7 Million d'année, période interglaciaire, sous un climat de type méditerranéen (pluvial Villafranchien).

Sous le climat aride actuel, les oueds du plateau du M'zab sont secs, les cours d'eau sont rares et périodiques ; vu leur longueur. Ces oueds ne coulent que partiellement (les eaux n'ont pas assez de puissance pour continuer, elles se perdent et s'évaporent avant d'atteindre la dépression de Oued Mya). Cependant, au sein de la Chebka, les crues des petits affluents, après le passage d'un orage, peuvent être brutales et très violentes. Les versants étant abrupts et imperméables favorisent le ruissellement.

1.4.1.3-Affleurement des formations :

Le relief monoclinale du M'zab est composé de deux plateaux carbonatés étagés couronnant deux séries d'escarpements marneux. Du coup, se trouvent définies quatre principales formations lithologiques, deux constituant un premier étage (talus + corniche), et deux autres le second.

Ci-dessous, est donnée une brève description de ces quatre formations visibles dans le M'zab, notées : F1, F2, F3 et F4.

- ❖ **F1-les marnes inférieures :** d'une épaisseur oscillant autour de 100 m dans la majeure partie du M'zab, cette formation renferme essentiellement des marnes et des argiles verdâtres, grisâtres ou jaunâtres, comprenant des intercalations d'argiles rougeâtres et de sables à la base; de gypse et d'anhydrite au milieu et de calcaires et dolomies au sommet. Cet ensemble lithologique correspond, au moins en partie, aux « Argiles d'El Goléa » dont il forme la continuité latérale.

- ❖ **F2-la barre carbonatée inférieure** : la formation est entièrement carbonatée, calcaire dans la partie inférieure et dolomitique au sommet, ou totalement dolomitique, admettant de fréquents horizons silicifiés surtout dans la partie supérieure, et quelques lentilles de tuf gypseux tout à fait en surface, de rares passées argileuses ou même gréseuses. Les valeurs de l'épaisseur varient entre 50 et 110 m.
- ❖ **F3-les marnes supérieures** : au sein de cette formation qui constitue le talus du deuxième escarpement, on peut reconnaître deux unités lithologiques, de bas en haut on a :
 - **Unité U1** : Plusieurs mètres d'argiles versicolores gypseuses renfermant parfois des lentilles de gypse massif.
 - **Unité U2** : Plus d'une dizaine de mètres de dolomies et de calcaire blancs tendres, et de marnes jaunâtres, cet intervalle induré compte au milieu quelques petites dolomitiques à silex.
- ❖ **F4-la barre dite carbonatée terminale** : Avec sa double corniche : elle couronne le deuxième escarpement, la formation a plus de 10 m d'épaisseur, et incomplète au sommet. Elle est constituée essentiellement de bancs dolomitiques à fréquentes silicifications, et renfermant au milieu, entre deux barres brun foncé, un niveau clair marneux à silex, de couleur jaune vif, perceptible de loin

1.4.1.4- Âges des formations :

D'après la carte géologique de Busson (1967), les âges actuellement attribués dans le M'zab aux affleurements compris entre les terrains d'atterrissement de l'Ouest et ceux de l'Est sont :

(C1-Ci) : « Crétacé inférieur puis Cénomaniens argileux » pour la formation F1.

(C2-T) : « Cénomaniens supérieurs calcaires et Turoniens » pour la formation F2.

Pour les trois ensembles définis par Busson (1967), (compris les formations F3 et F4), la carte géologique indique :

(SA) : « Sénonien argilo-gypseux (y compris du Maestrichtien) » formant un premier niveau, reconnu dans le secteur compris entre Ghardaïa et le Tadmaït septentrional, et surmonté de

(ce) : « Sénonien et Eocène indistinguable » forment la grande hamada du plateau supérieur.

1.4.2- Cadre géologique :

Du point de vue géologique, la wilaya de Ghardaïa est située aux bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Sahara, sur un grand plateau subhorizontal de massifs calcaires d'âge

Turonien appelé couramment "la dorsale du M'Zab". L'épaisseur de ces massifs calcaires recoupés par les sondages est de l'ordre de 110 mètres. Sous les calcaires turoniens on recoupe une couche imperméable de 220 mètres formée d'argile verte et de marne riche en gypse et en anhydrite; elle est attribuée au Cénomaniens. L'étage de l'Albien est représenté par une masse importante de sables fins à grès et d'argiles vertes. Elle abrite des ressources hydrauliques considérables, l'épaisseur est de l'ordre de 300 mètres.

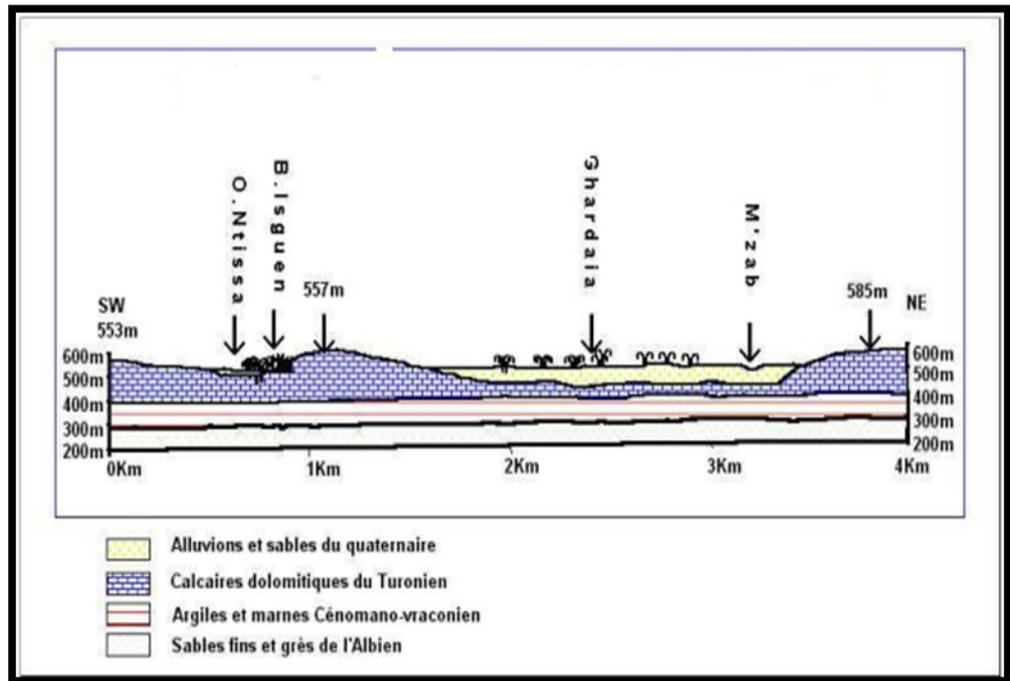


Figure 1-04 : coupe géologique et schématique de vallée de M'zab

Les alluvions quaternaires formées de sables, galets et argiles tapissent le fond des vallées des oueds de la dorsale, d'une épaisseur de 20 à 35 mètres. Ces alluvions abritent des nappes superficielles d'Infero-flux (nappes phréatiques)

1.4.3-Cadre structural :

Le promontoire crétacé du M'zab ou « Dorsale du M'zab » est orienté NW-SE. Il forme un anticlinal de grand rayon de courbure, situé dans le prolongement septentrional de la mole du FomBerrem, édifié sur l'accident sub-méridien traversant le bouclier Touareg.

Seul le versant oriental de cet axe haut est visible ; lequel plonge en monoclin régional à faible pendage, sous l'atterrissement, dans la direction de l'ESE, perpendiculairement à l'axe NNE d'Oued Mya.

- A l'Est, la dorsale du M'zab passe progressivement à la région des Guentra. Elle est recouverte d'un manteau mio-pliocène et quaternaire d'une épaisseur plus ou moins importante.
- Au Nord-est, la dorsale du M'zab est séparée des affleurements sénoniens et éocènes d'El Djourf par un petit détroit en forme d'arc ; appartenant à la région des Daya. Ce détroit, comblé de dépôts mio-pliocènes et quaternaires, fait communiquer les bassins d'atterrissement d'Oued Righ à l'Est, et de Gourara à l'Ouest.
- Au Nord et au Nord-Ouest, la région des Dayas occidentale sépare le plateau du M'zab de l'accident Sud-atlasique, et de la chaîne de l'Atlas Saharien, dans laquelle le créacé affleure de nouveau.
- A l'Ouest du M'zab, la falaise d'El Louha avec son prolongement jusqu'au Sud d'El Goléa, figure un accident N-S qui sépare net les formations créacées de la dorsale à l'Est. Des dépôts tertiaires et quaternaires comblant le bassin de Gourara à l'Ouest.
- Au Sud, la dorsale du M'zab est liée aux vastes plateaux créacés du Tademaït, sur lesquels le Mio-Pliocène est discordant.

1.4.4- Géologie du site :

1.4.4.1- Lithologie :

Les faciès rencontrés sur les trois sites sont les mêmes. Il s'agit des formations suivantes :

- Les argiles du Cénomanién
- Les calcaires du Turonien
- Les alluvions grossières fortement cimentées conglomératiques
- Les alluvions grossières

Les Argiles du Cénomanién :

Ces argiles qui sont à la base des formations calcaires sont bariolées de couleurs jaune verdâtre parfois rougeâtres gypseuses. Elles comportent parfois des petits niveaux marno-calcaires compactes. Elles ont partout été recoupées par les sondages à la base des alluvions en fond de vallée et sous les calcaires sur les rives.

Les calcaires du Turonien :

Ces calcaires recouvrent l'ensemble de la région avec une morphologie tabulaire tout à fait monotone.

Ils sont à structure subhorizontale de direction N 100° et de pendage 5° à 15° vers le nord.

Ils sont tantôt bruns, tantôt clairs à l'affleurement, mais toujours blancs à la cassure.

Massifs et très résistants, ils sont souvent silicifiés, avec parfois des nodules de silex pouvant atteindre des dimensions appréciables (10-20 cm)

L'épaisseur des blancs est généralement de l'ordre du mètre avec parfois des bancs plus épais (2 à 2.5 m).

L'épaisseur totale du Turonien non érodé est d'environ 120 m.

Les alluvions:

Les alluvions du lit des trois oueds se subdivisent en deux horizons bien différenciés:

L'horizon inférieur constitué d'alluvions grossières à éléments calcaires fortement cimentées à aspect conglomératiques. Il est de couleur blanchâtre parfois rosâtre. Au carottage il est souvent massif très résistant. L'épaisseur de cet horizon varie de 10 à 20 m L'horizon supérieur est constitué d'alluvions grossières avec une proportion d'éléments de dimension supérieure à 200 mm parfois importante. Elles sont composées d'éléments de calcaire souvent roulés, parfois à angles légèrement émoussés. Le relevé des puits agricoles montre parfois des lits franchement sableux ou sablo – limoneux.

1.4.4.2- Tectonique :

Les formations calcaires à structure tabulaires, au droit des sites, ne sont affectées par aucun phénomène tectonique notable d'importance régionale. Les mêmes directions et pendages sont mesurés aussi bien en rive droite qu'en rive gauche. Aucune faille d'importance n'est relevée aux environs immédiats des sites.

La fracturation est cependant intense. Elle est liée d'une part aux phénomènes tectoniques à petites échelles et d'autres part aux phénomènes de géodynamique externe, notamment les variations de température : les fissures qui résultent de ces effets géodynamiques sont superficiels et d'orientation aléatoire.

Les fissures profondes d'origine tectonique forment un réseau subverti cale de direction N35° et de pendage 90° et N°100° pendage 90°.

Elles sont légèrement ouvertes en surface, avec un remplissage sableux. Elles referment probablement en profondeur.

1.4.4.3- Altération :

Du fait de la fissuration intense des calcaires, l'altération s'est développée jusqu'à environ 2 à 4 mètres de profondeur.

1.4.4.4- Karstification :

Les phénomènes de Karstification dans ces calcaires sont relativement peu développés. Quelques lapiazs, ainsi que quelques vacuoles sont observés. Aucune manifestation importante du phénomène de Karstification n'est relevée en surface.

La cuvette de ce barrage qui est extrêmement vaste se développe dans les mêmes termes et avec les mêmes faciès que ceux du site.

Les calcaires du Turonien, surmontés des alluvions grossières puis parfois les alluvions sablo - limoneuses se retrouvent sur toute l'étendue de la cuvette avec la même morphologie et la même structure. Ces formations sont parfois localement recouvertes par des sables dunaires sous de faibles épaisseurs 2-3 m

1.4.4.5- Géologie de la cuvette :

Les puits agricoles de la région, circulaires, avec un diamètre moyen de 3 mètres, tiennent souvent sans étayage sur toute leur hauteur, excepté la partie superficielle (sable limoneux).

Ces alluvions sont baignées par une nappe importante.

1.4.4.6- Stabilité :

Aucune instabilité majeure n'est relevée aussi bien sur le site que dans la cuvette. Ceci trouve son explication dans la morphologie, la structure géologique ainsi que dans la nature des formations rencontrées.

1.4.4.7- Etanchéité :

Les infiltrations seront importantes du fait de l'importance de la surface des calcaires en contact avec l'eau de la retenue et de la perméabilité attendue de l'épaisse couche alluviale. Le but de cet ouvrage n'est toutefois pas de constituer un réservoir étanche et ces eaux, de toute façon, reviendront dans le bassin, du fait de l'absence de vallée limitrophe susceptible de les drainer.

1.4.4.8-Hydrogéologie :

Les alluvions grossières renferment une nappe phréatique importante. Une dizaine de puits ont été foncés à l'aval et à l'amont des axes. Lors de la campagne de reconnaissance les niveaux piézométriques suivant ont été relevés.

1.5- Relief :

Tout terrain qui s'inscrit dans la gouttière de la vallée est un plateau rocheux " Hamada " , et est caractérisé par une zone de paysage rocheux est composé d'un vaste rocher nu de brun et de noir.Ce plateau a été affectée par des facteurs d'érosion et de corrosion dans le début du Quaternaire ont été divisés dans les collines avec des sommets plats ce problème de récifs et Ludhiana . Le réseau dit total en raison de la formation de vallées et de complexité. Et couper la gouttière de la vallée ce réseau du nord-ouest au sud-est dans une zone d'environ 38 000 kilomètres carrés.



Figure 1-05 : plateau rocheux Hamada.

État de Ghardaïa nature de désert en vedette , dans le cadre du désert du Sahara , contient également des dépressions , de Alhamadat et Ctoot et quelques collines intermittentes rocheuses constituées de couches Collège entrecoupé , complexes et interdépendantes des vallées profondes , et l'exemple le plus frappant c'est facile et de la vallée de gouttière , qui est situé au-dessus de la couche de roche intermittente est constitué de couches de calcaire , ainsi nommé d'après le nord du réseau , et les plus importantes de ces vallées et noue , vallée n h , Kadeer Wade , Wade planche Mtlili Wade , Wade Blanc , Arydln Wade , Wade Ontesh.



Figure 1-06 : la forme des reliefs en Ghardaïa

1.6 Le climat :

Le caractère fondamental du climat Saharien est la sécheresse de l'air mais les micros - climats jouent un rôle considérable au désert. Le relief, la présence d'une végétation abondante peuvent modifier localement les conditions climatiques. Au sein d'une palmeraie on peut relever un degré hygrométrique élevé, le degré hygrométrie modifie les effets de la température pour l'homme. Les éléments qui viennent modifier considérablement les effets de la température par les êtres humains et sur la végétation :

- L'Humidité
- Le Rayonnement
- La composition des sols
- Le relief

Il faut tenir compte également du fait que les moyennes de températures sont relevées à l'ombre .et celle-ci est rare au Sahara où la température au sol peut dépasser 60 °C .Le climat Saharien se caractérise par des étés aux chaleurs torrides et des hivers doux, surtout pendant la journée.

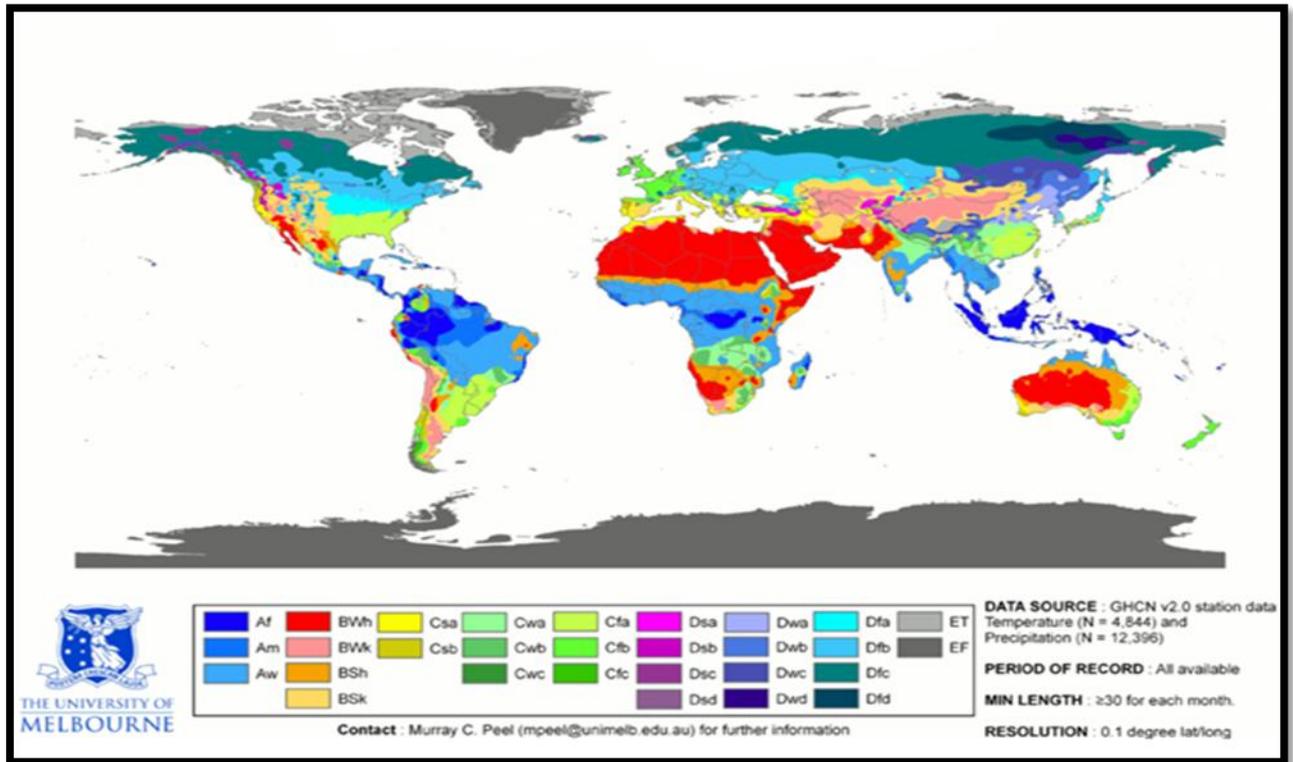


Figure 1-07 : carte du monde de la classification de Köppen-Geiger.

1.6.1-Pluviométrie :

Les précipitations sont très faibles et irrégulières. A Ghardaïa, elles varient entre 13 et 68 mm sur une durée moyenne de quinze (15) jours par an. A El-Ménéa, elles varient entre 0,4 mm et 147,5 mm avec une moyenne annuelle de 41,5 mm ; le nombre de jours de pluie ne dépasse pas onze (11) jours (entre les mois de Janvier et Mars). Les pluies sont en général torrentielles et durent peu de temps sauf cas exceptionnels.

1.6.2-Température :

Elle est marquée par une grande amplitude entre les températures de jour et de nuit, d'été et d'hiver. La période chaude commence au mois de Mai et dure jusqu'au mois de Septembre. La température moyenne enregistrée au mois de Juillet est de 36,3 °C, le maxima absolu de cette période a atteint 47 °C. Pour la période hivernale, la température moyenne enregistrée au mois de Janvier ne dépasse pas 9,2 °C, le minima absolu de cette période a atteint -1 °C.

1.6.3-Les vents :

Il n'y a pas de désert sans vents. Le vent est le facteur principal de la topographie désertique. Pendant certaines périodes de l'année, en général en Mars et Avril, on assiste au Sahara à de véritables tempêtes de sable. Des trompes de sable se déplacent avec violence atteignant plusieurs

centaines de mètres de haut. L'obscurité règne et toute activité cesse. Ces phénomènes peuvent durer de un à trois jours et plus, avec cependant une accalmie durant la nuit. Des masses de sable peuvent être transportées à des distances considérables. Pour éviter les effets dévastateurs du vent sur les cultures, il est nécessaire de protéger celles-ci par des écrans suffisants.

En région désertique, le vent et les particules de sable qui l'accompagnent imposent des contraintes à tous les niveaux de la vie sociale et économique. Si l'homme ne peut pas changer les lois de la nature, il est cependant capable d'en prévoir les effets, de réduire ses conséquences néfastes et parfois aussi de les utiliser à des fins économiques. Les éoliennes peuvent dans certaines conditions apporter un complément non négligeable d'énergie. Les vents qui ne trouvent plus d'obstacles à leur progression sur les régions dénudées apportant la sécheresse. L'érosion éolienne prend la relève de l'érosion hydrique. Les vents dominants d'été sont forts et chauds tandis que ceux d'hiver sont froids et humides. Les vents de sable sont très fréquents dans la région d'El-Ménéa surtout pendant le printemps, les mois d'Avril, Mai et Juin. Pour ce qui est du Sirocco, dans la zone de GHARDAIA on note une moyenne annuelle de 11 jours/an pendant la période qui va du mois de Mai à Septembre.

1.7- Vallée du M'Zab :

L'oued M'Zab prend naissance à 7 km au Nord-Ouest de Ghardaia, au point où se rejoignent trois oueds en provenance du secteur Ouest / Nord-Ouest; les oueds El Abiod et Lahdhira sont les plus importants (longueurs de 50 à 60 km), l'oued Arédienne est plus local. (Voir Figure 1-08).

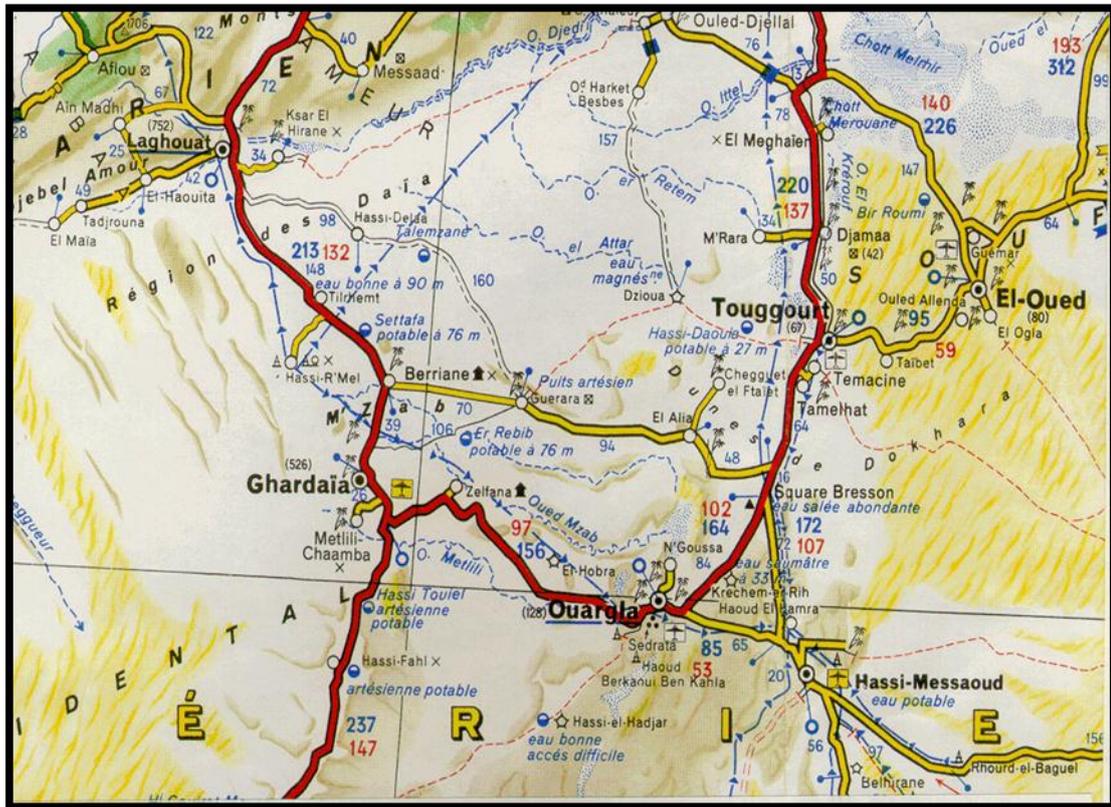


Figure 1-08: La situation de oued M'zab.

A partir de Ghardaïa, l'oued M'Zab prend la direction générale Ouest - Est sur 160 km et va se perdre dans la Sebkr et Safroun, à la cote 110, à 30 km au Nord de Ouargla.

La zone de l'étude s'étend sur 30 km environ le long de l'oued, 10 km à l'amont et 20 km à l'aval du point origine. Elle occupe une bande variant en largeur de 2 à 5 km représentant en tout une surface maximale de l'ordre de 70 à 80 km². Tour à l'amont, les importants oueds Lahdhira et El Abiod n'en forment plus qu'un qui est rejoint, moins de deux kilomètres plus bas, en rive droite, par l'oued Argdeine plus modeste et par le chaab et Inireze en rive gauche. C'est ce point que l'on a pris comme origine de l'oued M'Zab. Deux kilomètres en aval, l'oued Touzouz, long de 6 km environ, rejoint l'oued principal en rive droite. Dans toute cette région, les lits des oueds sont relativement larges, de l'ordre du kilomètre. Dans cette quasi - plaine, entre les oueds Lahdhira et Argdeine, l'agglomération de Dhayet Ben Dhahoua et sa palmeraie ont été érigées à partir du 19^{ème} siècle par des nomades se sédentarisant et constituent ainsi la seule implantation non mozabite de la région. La ville s'est récemment notablement développée dans le cadre des activités liées aux champs pétrolifères et de la zone de Hassi Messaoud en particulier. Le confluent des oueds M'Zab et Touzouz marque le début de la palmeraie de Ghardaia, plaine semi -naturelle où subsistent les vestiges des digues historiques qui alimentent encore partiellement un réseau d'irrigation ingénieux

dont il sera à nouveau question plus loin. La palmeraie abrite les maisons d'été des gens de Ghardaïa entre lesquelles s'est glissée une urbanisation éparse qui la ronge. La semi-plaine qui suit la palmeraie est, elle totalement urbanisée de façon dense sur une largeur de l'ordre du kilomètre. Vient alors, en rive droite, Ghardaïa ksar, la vieille ville sur sa colline. La vallée se resserre ensuite avec, la digue de Melika qui barre l'oued, Melika ksar en rive gauche et Béni Isguen précédée de ses quartiers urbains neufs en rive droite. La palmeraie de Béni Isguen se situe sur l'oued N'Tissa, affluent de rive droite de l'oued M'Zab et barré de deux digues traditionnelles. Presque en face du confluent, on trouve Bounoura ksar avec ses quartiers neufs en contrebas et sa modeste palmeraie. Les dix kilomètres qui suivent sont occupés par la palmeraie d'ElAtteuf tout en longueur, parsemée d'habitations sur les deux rives. El Atteuf ksar se présente à mi-parcours de sa palmeraie.

Tout à l'aval, la digue historique d'El Atteuf est suivie d'une vaste zone humide où stagnent les eaux de l'oued qui, en période sèche, sont constituées avant tout par les rejets de l'amont. La zone habitée le long de l'oued affecte ainsi l'aspect d'une longue bande orientée Nord-Ouest Sud - Est. Elle est traversée en son centre par la route nationale N°1 qui vient du Nord, traverse l'oued au pont de Bounoura et se poursuit en s'infléchissant vers le Sud-Est. A environ 20 km, au Sud, un embranchement sur la RN 1 conduit à l'aérodrome tout proche de Ghardaïa-Noumerat. C'est le long des dix premiers kilomètres de ce tronçon de la route que se situe la zone industrielle principale de Ghardaïa.

Comme le montre la figure 2.1, la zone de l'étude se trouve au cœur de la chebka, région à dominance calcaire qui est décrite en 2.1 plus en détail sous ses aspects physiques et géologiques généraux. D'une extrémité de la zone d'étude à l'autre, les cotes du lit passent de l'amont à l'aval de 530 à 440 environ; la pente moyenne est ainsi quelque peu supérieure à 3⁰/100. La vallée, large en amont se resserre en aval et, comme toutes les vallées adjacentes, elle est découpée dans un "plateau" supérieur à la cote maximale de 600 environ à l'amont et 550 à l'aval. Ses flancs sont partout relativement escarpés (30 à 50 %) sur une hauteur variant de 50 à 70 m à l'amont à 100 à 110 à l'aval. Dans toute la zone décrite ci-dessus, la végétation spontanée est très rare et ne se rencontre qu'en bordure des oueds. Les espèces qui reverdissent après chaque pluie sont des herbacées et des arbustes appartenant à la flore saharienne.

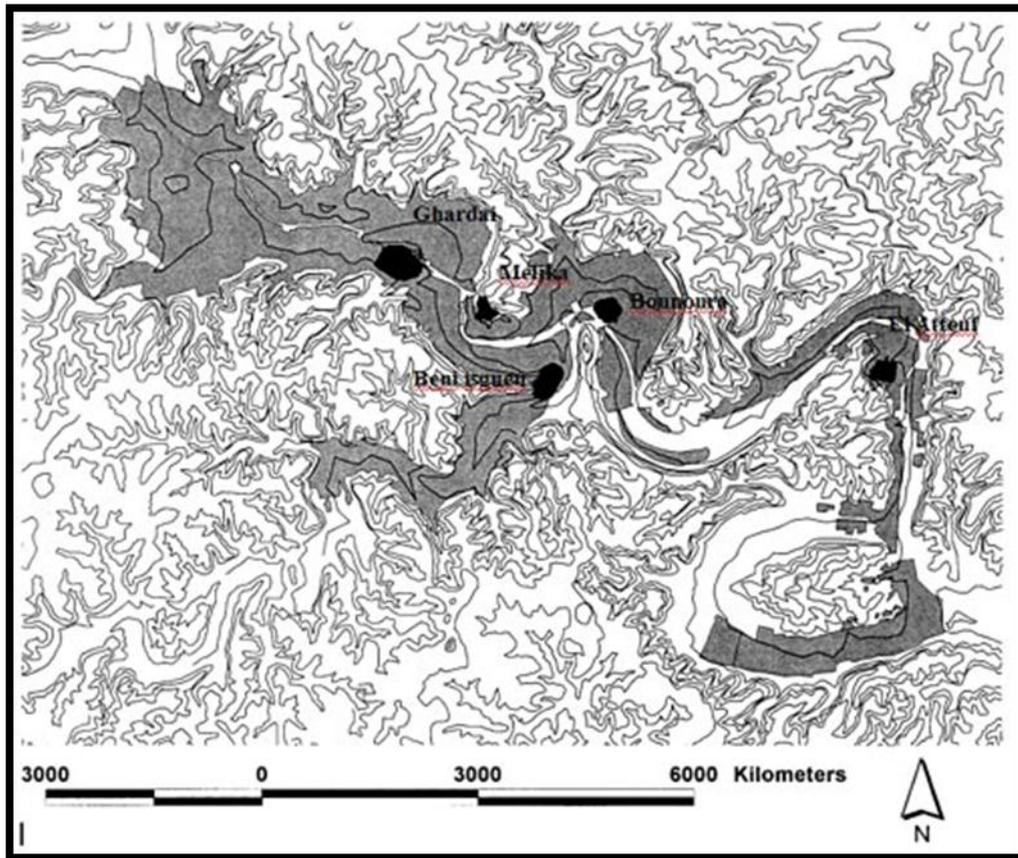


Figure 1-09 : la vallée de M'zab

1-8 : Conclusion :

La wilaya de Ghardaïa présente comme principal atout, sa position géographique (centre de la partie nord du Sahara), privilégiant les transactions commerciales, les échanges socio-culturels, malgré son climat désertique, la population locale a élaboré un système performant et ingénieux pour la gestion des ressources hydrologique par le captage et la distribution équitable de l'eau.

A côté du secteur tertiaire (commerce et tourisme).la région dispose d'une activité industrielle très variée notamment dans le domaine du textile et les matériaux de construction. La transformation agroalimentaire est en perpétuel développement (industrie laitière) alors que la transformation dattier est quasiment inexistante.

CHAPITRE 02 :
HYDROCLIMATOLOGIE



2.1- Introduction :

La climatologie constitue un facteur important pour la connaissance de devenir des précipitations. Elle repose sur l'interprétation des données des paramètres climatiques mesurés durant une période bien définie permettant ainsi d'estimer les différentes composantes du bilan hydrique. Toute étude hydrogéologique passe principalement par un traitement détaillé des mesures hydroclimatiques permettant d'établir le bilan hydrique et par conséquent de comprendre les mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux de surface et souterraines.

L'établissement d'un bilan hydrique nécessaire pour le fonctionnement d'un système hydraulique de surface, implique la connaissance des paramètres suivants : la précipitation, l'évaporation, l'infiltration et le ruissellement qui conditionnent ce bilan. Cette étude climatique débouchera sur un calcul du bilan en exploitant les données météorologiques disponibles et en utilisant la méthode

Adaptée à la région.

2.2- Les paramètres météorologiques déterminants :

2.2.1- Précipitations :

Apports d'eau parvenant au sol sous forme liquide (pluie ou rosée) ou solide (neige ou grêle) en provenance directe ou indirecte de la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique. Les précipitations (pluie ou neige) sont mesurées à la surface de la terre en millimètres. Le terme lame d'eau tombée est également employé pour quantifier les précipitations.

2.2.2- précipitations moyennes mensuelles (mm) aux stations météo de Ghardaïa Période: (2004-2013) :

Tableau 2-01 : précipitations moyennes mensuelles (mm) (2004 – 2013)

Mois	Jan	fév	Mars	avr	mai	juin	Jui	aout	Sep	Oct	nov	déc
PP (mm)	15.87	1.47	8.84	9.12	1.91	3.56	2.97	4.12	22.45	11.30	7.52	6.15

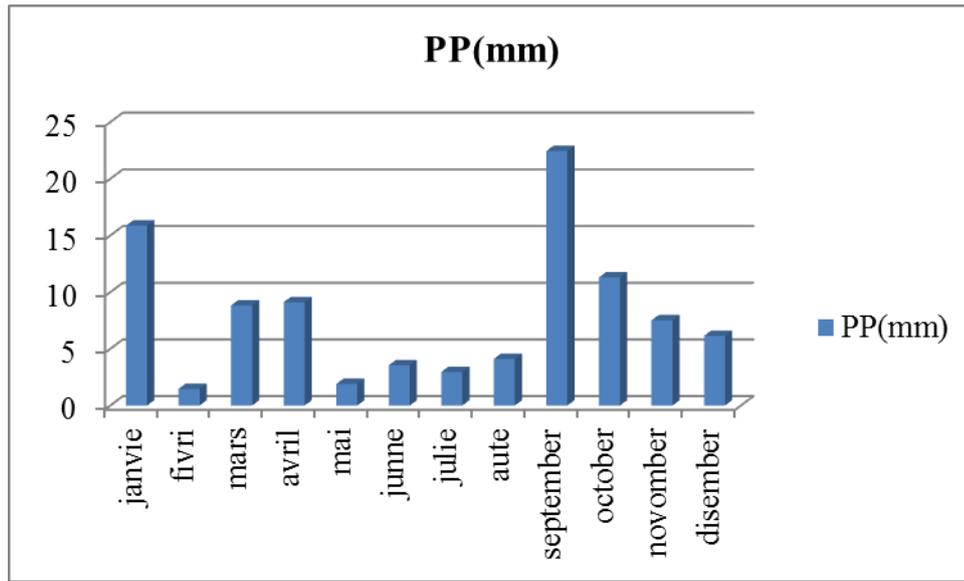


Figure 2-01 : Variation des précipitations moyennes mensuelles aux stations météorologiques de Ghardaïa (période : 2004-2013).

D’après le tableau n 1 ; la valeur la plus grande des précipitations est enregistrée au mois de Septembre avec une valeur de l’ordre de 22.45 mm. La précipitation moyenne enregistrée au mois d’Octobre, est aboutir à 11.30 mm, et la précipitation minimale est enregistrée au moi de Février avec une valeur de 1.47 mm.

2.2.3-La température de l'air :

La température de l’air est un facteur qui a une grande influence sur le bilan hydrologique du fait de son impact sur le déficit d’écoulement (évapotranspiration). Le tableau 2 résume, les données concernant ce paramètre, mesurées uniquement à la station de météo du Ghardaïa.

Tableau 2-02 : la température de l’air aux stations météo de Ghardaïa (période : 2004-2013)

Mois	Jan	Fév	mar	avr	mai	juin	Julie	aout	sept	oct	Nov	déc
T° de l’air	11.54	12.99	17.30	21.29	25.64	31.07	34.93	34.00	28.81	23.72	16.98	12.19

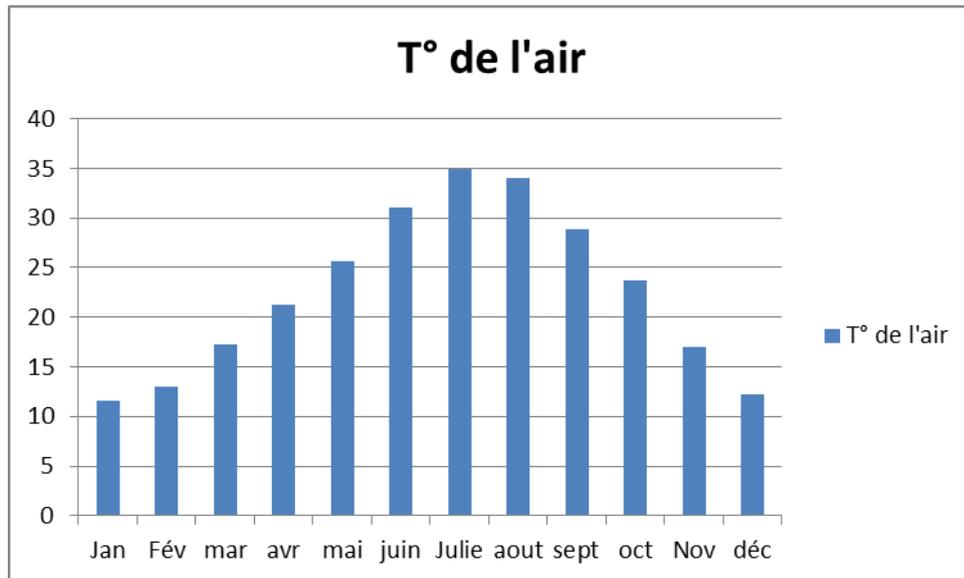


Figure 2-02: Variation de La température de l'air aux stations météo de Ghardaïa (période : 2004-2013).

La période qui s'étale du mois de Janvier au mois d'Avril et du mois de Novembre jusqu'au mois de Décembre correspond à la période relativement froide avec un minimum au mois de Janvier qui est marqué par une température de 11.45 C°, alors que la période chaude commence à partir du mois Mai jusqu'au mois d'Octobre avec un maximum au mois de Juillet qui est le mois le plus chaud.

2.2.4- Synthèse climatique :

La combinaison des données des précipitations et celles des températures permet de mettre en évidence :

- Les périodes sèches et humides au cours de l'année grâce au diagramme pluviométrique de Gaussen.
- Le domaine climatique ou le type de climat suivant la méthode d'Emberger (climogramme d'Emberger) et/ou le calcul de l'indice d'aridité.

2.2.5- Diagramme pluviométrique :

En se basant sur les données des précipitations et des températures mensuelles sur la même période d'observation, on peut établir le diagramme pluviométrique dont le but est de déterminer la saison sèche et celle humide.

- Un mois sec est celui ou le total des précipitations (mm) est inférieur ou égale au double de la température moyenne (°C) du même mois. Cette relation permet d'établir un diagramme pluviométrique sur lequel les températures sont portées à une échelle double des précipitations.
- Lorsque les températures passent au dessus de la courbe des précipitations, la saison correspondante est déficitaire en eau ; et lorsque la courbe des précipitations passe au dessus de celle des températures, la saison correspondante est humide.

2.2.6- le vent :

C'est un agent climatique influent directement sur le climat d'une région, en raison des dégâts qu'il cause, notamment en agriculture.

Tableau 2-03 : Le vent aux stations météo de Ghardaïa (en 2013)

Mois	Jan	fév	mars	avril	mai	juin	juillet	Aoute	sep	oct	Nov	déc
Le vent	24	22	28	24	29	20	26	29	23	20	17	20

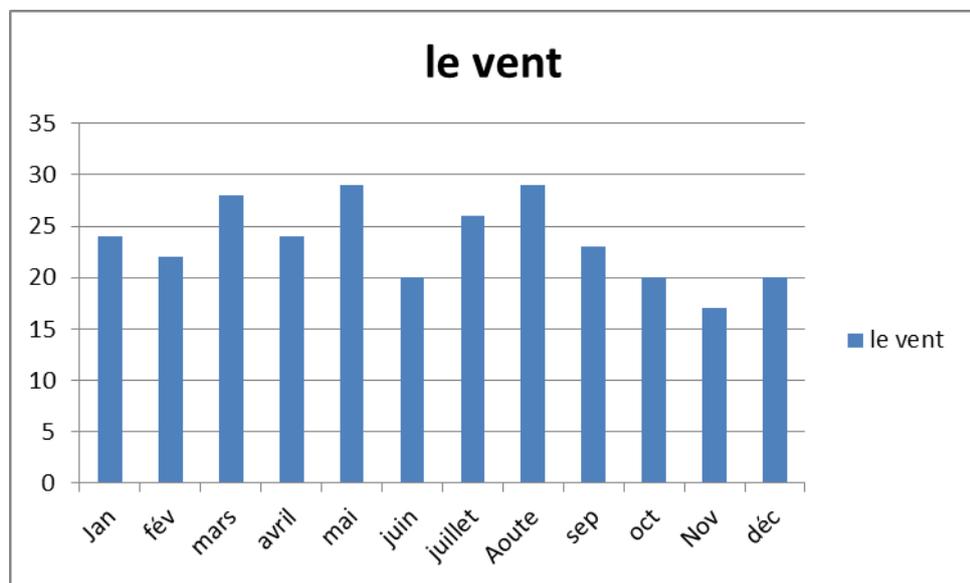


Figure 2-03: Variation de vent aux stations météorologique de Ghardaïa (en 2013)

2.2.7- L'humidité relative de l'air :

L'humidité relative de l'air est un facteur très important qui influe à l'évaporation. Les valeurs moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air sont présentées au tableau suivant :

Tableau 2-04 : L'humidité relatives de l'air moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa (2009 – 2013)

les mois	janvier	fév	mar	avr	mai	jui	juil	aout	sept	oct	nov	déc
Humidité relative en %	45.6	40.4	38.6	34	29	25	21.6	26.2	38.6	43.4	49.2	49.4

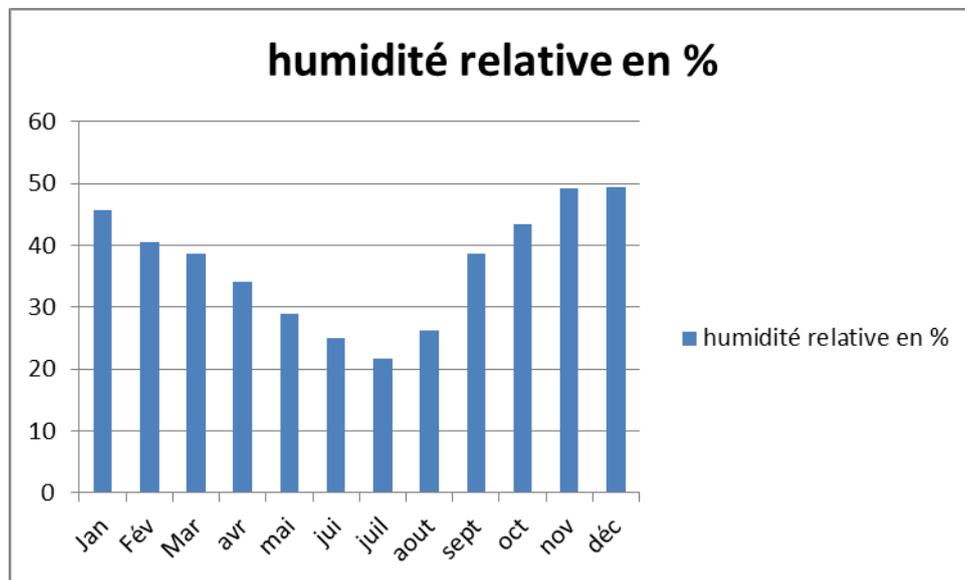


Figure 2-04 : Variation de L'humidité relatives de l'air moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa (2009 – 2013)

2.3- Courbe ombro-thermique :

2.3.1- courbe ombro-thermique station de Ghardaïa (P=2T) :

Le **diagramme ombrothermique** est une représentation graphique des températures et quantités de précipitations moyennes mensuelles. Il comporte un axe horizontal où sont placés les 12 mois de l'année et deux axes verticaux, un à gauche pour les précipitations et l'autre à droite pour les températures. Les précipitations mensuelles sont représentées par un histogramme bleu et les températures mensuelles par une courbe rouge.

Tableau 2-05 : précipitations moyennes mensuelles (mm) (2004 – 2013) et la température de l’air aux stations météorologiques de Ghardaïa (période : 2004-2013).

Mois	Jan	Fév	Mar	avr	mai	Juin	Julie	aou	sept	Oct	nov	déc
Pp	15.87	1.47	8.84	9.11	1.9	3.56	2.97	4.11	22.46	11.3	7.52	6.15
2T	23.08	25.98	34.6	42.58	51.28	62.1	69.86	68	57.62	47.44	33.96	24.4

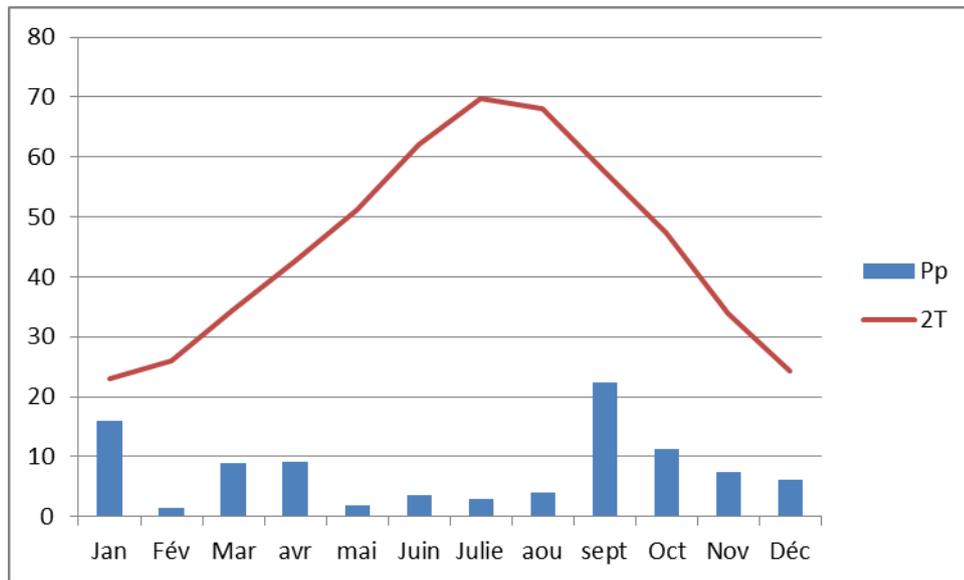


Figure 2-05 : courbe ombro-thermique station de météo de Ghardaïa

2.4- L'évapotranspiration :

L'évapotranspiration (ET) est la quantité d'eau transférée vers l'atmosphère, par l'évaporation au niveau du sol et par la transpiration des plantes. L'évaporation se définit par les transferts vers l'atmosphère de l'eau du sol, de l'eau interceptée par la canopée et des étendues d'eau. La transpiration se définit par les transferts d'eau dans la plante et les pertes de vapeur d'eau au niveau des stomates de ses feuilles.

Le concept d'évapotranspiration et ses mesures sont apparus dans les années 1950. Ce concept est très important pour expliquer et quantifier les transferts d'eau dans les écosystèmes, pour calculer les besoins en eau des cultures agricoles et plus globalement pour la gestion de l'eau des espaces naturels.

2.5- Bilan hydrique :

Les bilans hydriques est compliquée par le fait que les deux variables de commandement ne sont pas indépendantes. La quantité évaporée dépend évidemment de la quantité d'eau disponible : elle cesse lorsque le volume d'eau apporté par les précipitations est épuisé. Ceci a conduit à introduire la notion d'évapotranspiration potentielle : la quantité d'eau qui peut passer dans l'atmosphère en fonction du seul état de celle-ci, en supposant que la quantité d'eau disponible ne soit pas un facteur limitant. (La quantité d'eau que l'on ajoute dans un vase de fleurs de façon à maintenir le niveau constant est une mesure de l'évapotranspiration potentielle en fonction de l'état de l'atmosphère dans le lieu où se trouve ce vase). Il est courant, dans l'étude des bilans hydriques de comparer les précipitations P et l'évapotranspiration potentielle ETP, ce qui permet de distinguer des situations différentes en fonction de seuils qui sont directement significatifs pour un lieu ou une période donnée :

- Si $P < ETP$, l'évaporation réelle sera égale à P ; il y aura prélèvement sur les réserves, absence d'écoulement ; la période sera dite déficitaire.
- Si $P > ETP$, l'évaporation réelle sera égale à l'ETP, il y aura écoulement et constitution de réserves ; la période sera dite excédentaire.

Le bilan hydrique est estimé par la formule générale suivante :

$$P = ETR + R + I$$

- Où :
- P: Précipitation moyenne annuelle en (mm).
 - ETR: Evapotranspiration réelle en (mm).
 - R: Ruissellement moyen annuelle en (mm).
 - I: Infiltration moyenne annuelle en (mm).

2.6- L'évapotranspiration réelle (ETR) :

L'évapotranspiration potentielle est la quantité d'eau susceptible d'être évaporée par une surface d'eau libre ou par un couvert végétal dont l'alimentation en eau n'est pas le facteur limitant. La valeur limite de l'ETP est fonction de l'énergie disponible. (J. Margat, 1997).

L'évapotranspiration est un phénomène complexe qui non seulement résulte de processus physiques tels que le potentiel efficace du sol, les changements d'état de l'eau, la diffusion moléculaire ou turbulente de la vapeur d'eau, elle peut aussi être soumise à la régulation stomatique, la surface foliaire ou le développement radical. La mesure de l'évapotranspiration aura de réelle signification

que si les systèmes mis en œuvre, d'une part reflètent fidèlement les aspects de l'environnement : sol, végétation, atmosphère et d'autre part éliminent les effets restrictifs des contraintes biologiques. Le dispositif utilisé devra donc reconstituer le profil pédologique local, utiliser un couvert végétal dense ; uniforme et toujours en pleine croissance et enfin contenir en permanence une réserve hydrique voisine de la capacité au champ de l'échantillon de sol. (P. BROCHET et al, 1974).

On estime l'ETR à partir de la formule de « TURC ».

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}} \quad (\text{en mm / an})$$

Avec : $L = 300 + 25 T + 0,05 T^3$

ETR: Evapotranspiration réelle en (mm).

P: Précipitation moyenne annuelle en (mm).

T: Température moyenne annuelle en (°C).

2.7-L'évapotranspiration potentielle (ETP) :

L'évapotranspiration potentielle (ETP) est la quantité d'eau pouvant être restituée à l'atmosphère par transpiration des êtres vivants et évaporation du sol et des surfaces d'eaux libres, si celui-ci contient en permanence la quantité d'eau suffisante, alors que l'évapotranspiration réelle (ETR) correspond à la quantité d'eau effectivement transpirée et évaporée.

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

- Avec :
- ETP : évapotranspiration potentielle annuelle en mm,
 - T : température moyenne mensuelle en °C,
 - I : somme des indices thermiques mensuels
 - K : facteur de correction mensuel, fonction de la durée de la journée,
 - a : exposant climatique

2.8- le ruissellement :

Le ruissellement est donc presque à 100%. Chaque goutte qui tombe sera ruisselée. C'est une des raisons qui a amplifié la puissance des crues de l'oued M'zab.

Le coefficient de ruissellement est calculé pour tous les terrains par la formule de TIXERONT- BERKALOFF, qui s'écrit :

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2}$$

Avec :

R : ruissellement (mm).

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm / an). (Selon Thornthwaite)

P : Hauteur annuelle de pluies (mm).



Figure 2-06 : Le ruissellement a la vallée du M'Zab.

2.9- infiltrations :

L'infiltration désigne en hydrologie, le processus par lequel l'eau sur la surface du sol pénètre dans le sol. Le taux d'infiltration en science du sol est une mesure de la vitesse à laquelle le sol est capable d'absorber la pluie ou l'irrigation. Elle est mesurée en millimètres par heure ou en pouces par heure. Le taux diminue à mesure que le sol devient saturé. Si le taux de précipitation dépasse le taux d'infiltration, le ruissellement se produit habituellement, à moins qu'il n'existe une barrière physique. Elle est liée à la conductivité hydraulique à saturation du sol près de la surface. Le taux d'infiltration peut être mesuré à l'aide d'un infiltromètre.

L'infiltration est calculée à partir de la formule générale du bilan hydrique

$$I = P - (ETR + R)$$

Remarque: On ne peut pas estimer le bilan hydrique de la ville de Ghardaïa à cause de la rareté des précipitations au cours de l'année, ce qui nous empêche d'évaluer la réserve facilement utilisable RFU et les autres paramètres du bilan tel que : ETR, DA et ETP.

2.10- Conclusion:

Les ressources naturelles (sol, végétation spontanée, eau), dans les zones à déficit hydrique, sont très limitées. Elles sont soumises depuis fort longtemps, à une forte et persistante dégradation (action climatique, anthropiques, etc.). Les conséquences sur les ressources naturelles et particulièrement sur le couvert végétal et le sol sont nombreuses. En effet dans la zone à déficit hydrique, l'état de la flore est très pauvre, souvent clairsemée. Ceci correspond sensiblement au climat et les conditions édaphiques (gypse, calcaire, sable, salinité) qui interviennent dans le développement de la végétation.

CHAPITRE 03 :
LES TECHNIQUE DE
FORAGES



3.1-Introduction :

Un puits d'eau est un trou foré dans le sous-sol afin de donner accès à un gisement d'eau; l'objectif primaire pouvant être de l'exploration (recherche du gisement) ou de développement (mise en production du gisement).

Les rôles essentiels d'un puits sont donc :

- Permettre l'accès au gisement souterrain
- Assurer la liaison entre les formations productrices et le puits,
- Permettre de remonter l'effluent en toute sécurité et efficacement vers la surface,
- Etre équipé dans sa partie supérieure, en surface, d'équipement permettant le contrôle de la production et la maintenance du puits (opération de Wire-line, Work-over).

3.2- Données nécessaires à l'élaboration d'un puits :

L'élaboration du profil et des méthodes pour atteindre l'objectif, sont les résultats du travail de plusieurs personnes de différents services ou départements. La conception de l'architecture d'un forage est effectué ensuite sous la responsabilité du départementforage, en plusieurs étapes, synthétisés par la préparation de documents généralement composés de :

- La proposition de forage,
- Le rapport d'implantation,
- Le programme de forage et de tubage.

3.3-La proposition de forage :

C'est le document de base établi des qu'il y a possibilité de forer un puits. Il définit:

- L'emplacement du forage, sa localisation (coordonnées, altitude ou profondeur d'eau).
- Le ou les objectifs du forage (nature, importance relative, profondeur(s) estimée(s)).

Il comprend les données de base sur:

- Géologie, géophysique
- Renseignements sur les puits voisins s'il y a lieu,
- Contraintes et échéances à respecter.

Cette proposition de forage est un document de travail qui varie suivant le Bondage, lequel peut être d'exploration ou de développement.

Ce document doit mettre en évidence les décisions à prendre en temps voulu compte tenu des délais relativement longs qui existent, comme ceux de la préparation du site et du choix de l'appareil. Ce document initie également des études pour confirmer la faisabilité du projet et amener une décision technico-économique positive ou négative quant à l'exécution de ce forage.

3.4- Le rapport d'implantation :

Ce nouveau document est établi lorsque la décision de forer est prise. C'est un document type «cahier des charges », qui couvre l'ensemble des opérations à mener et permettra de déterminer le budget de l'opération.

Il est le résultat, comme au moment de l'établissement du profil, de la collaboration des différents départements concernés, lesquels sont:

- L'exploration.
- Le gisement.
- Le forage.
- La production.

Les principaux chapitres de ce rapport d'implantation sont:

- Situation géographique.
- Le but du forage et les objectifs pétroliers (il s'agit du rappel des données de base, du ou des objectifs définis dans la proposition de forage et qui ont été modifiés ou complétés depuis lors par les études et les travaux accomplis).
- Le cadre géologique.
- Le cadre géophysique.
- Le programme de forage et de tubage.

- Le programme de diagraphies.
- Le programme de carottage et de tests.
- Le programme d'échantillonnage et l'étude des échantillons prélevés.

Le rapport d'implantation permet ainsi de définir les besoins en :

- Personnel.
- Matériel (appareil de forage, etc.).
- Services,
- Consommables.

3.5-Le programme de forage et de tubage :

3.5.1- Généralité :

L'établissement du programme de forage et de tubage constitue une opération primordiale pour la préparation d'un sondage.

Il s'agit, en effet, de choisir les caractéristiques de construction du puits, afin que ce dernier puisse atteindre son objectif dans les meilleures conditions économiques, tout en respectant un certain nombre de données.

Les caractéristiques à choisir sont les suivantes :

Diamètres respectifs des trépan et des colonnes de tubes,

- Nombre de colonnes et profondeur de pose.
- Hauteurs à cimenter derrière les colonnes.

Il est utile de souligner la très grande importance d'un bon programme de forage et de tubage sur le succès d'un sondage, sur la sécurité des opérations et sur le prix de revient final du puits. Un programme insuffisamment développé peut entraîner l'impossibilité d'atteindre les objectifs proposés, d'où échec complet des travaux. Par contre, un programme trop lourd charge de façon injustifiée le prix de revient de l'exploration et diminue le nombre de puits pouvant être fait avec un budget déterminé, et cela réduit les possibilités de découvertes.

Un programme de forage et de tubage s'effectue en général de la manière suivante :

- Détermination du diamètre du dernier tube.

- Choix des cotes des sabots et des diamètres des différentes colonnes et phases de forage, en déduisant les différents diamètres, à partir de la dernière phase au niveau de l'objectif et en remontant vers la surface.

3.6- Le principe du forage rotary :

La méthode Rotary consiste à utiliser des trépan à dents type tricône ou des trépan monoblocs comme les outils diamant ou PDC, sur lesquels on applique une force procurée par un poids tout en les entraînant en rotation. L'avantage de cette technique est de pouvoir injecter en continu un fluide au niveau de l'outil destructif de la formation pour emporter les débris hors du trou grâce au courant ascensionnel de ce fluide vers la surface.

La sonde de forage Rotary est l'appareillage nécessaire à la réalisation des trois fonctions suivantes :

- Poids sur l'outil.
- Rotation de l'outil.
- Injection d'un fluide.

Ce sont les masses-tiges qui, vissées au-dessus de l'outil, appuient sur celui-ci; ces masses-tiges, prolongées jusqu'en surface par des tiges, constituent la garniture de forage. Bile est mise en rotation dans son ensemble grâce à la table de rotation et par l'intermédiaire de la tige d'entraînement (ou kelly). La totalité de la garniture de forage est percée en son centre afin de canaliser le fluide de forage vers l'outil. Un joint rotatif étanche (tête d'injection) doit couronner la tige d'entraînement et permettre la liaison entre la conduite de refoulement des pompes de forage et l'intérieur de la garniture. Un appareil de levage est nécessaire pour soutenir le poids de la garniture et manœuvrer celle-ci: c'est le rôle du derrick, du crochet de forage et du treuil.

L'appareil de forage est complété d'une installation nécessaire aux traitements du fluide de retour en surface, d'un stockage de tubulaires et des abris de chantier et bureaux.

En outre, il faut préciser qu'au cours de son forage, le puits est régulièrement tubé. Il est garni de tubes d'acier (casing) qui sont descendus sous leur propre poids et dont le diamètre décroît avec la profondeur. Un premier tube est pose des que l'outil a foré les

terrains de surface et il est scelle dans le trou par du ciment. Un élément de base est fixe" sur l'extrémité affleurant. Tous les tubes suivants sont également scellés à leur base par du ciment et leur extrémité supérieure suspendue sur l'élément de base.

Après tubage de la première phase de forage, le forage sera poursuivi avec un outil dont le diamètre est inférieur au diamètre intérieur de la colonne de tube descendue. Au fur et à mesure de l'approfondissement et de la mise en place de casings dans le trou, on est conduit à utiliser des outils de diamètre de plus en plus petit.

L'élément de base sert également à réinstallation des organes de sécurité tels les obturateurs de puits.

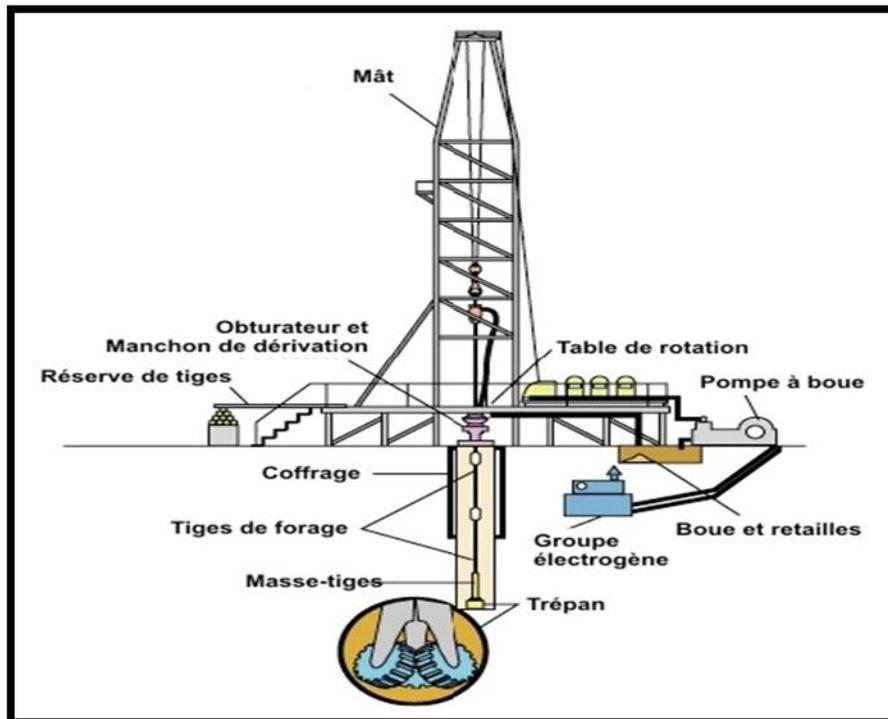


Figure 3-01 : La sonde de forage Rotary.

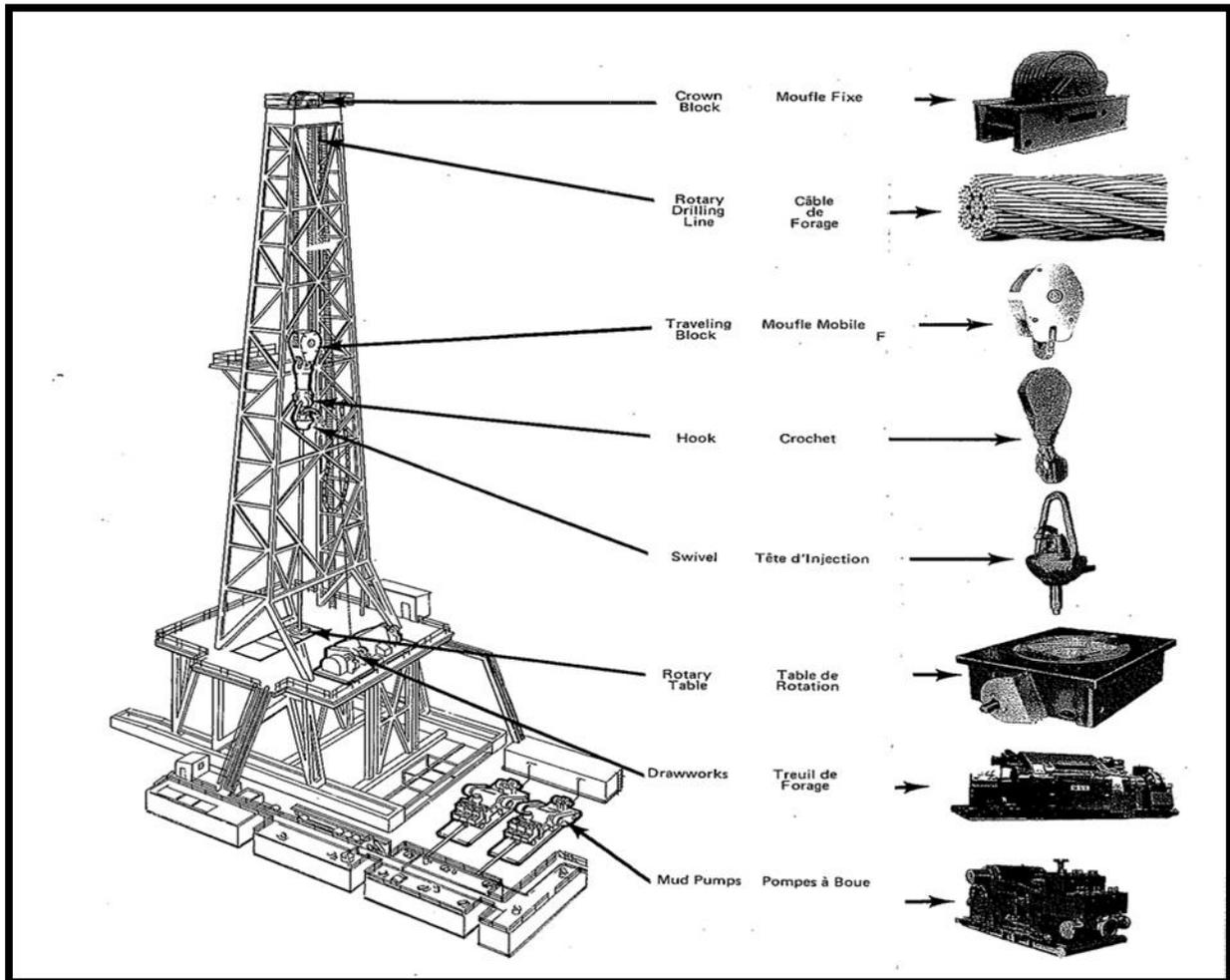


Figure 3-02 : Les composantes d'une sonde de forage Rotary.

3.7- Les principales opérations :

3.7.1- Le forage :

Bien que ce soit l'opération de base, c'est elle qui occupe le moins de personnel. Seul le chef de poste œuvre aux commandes du treuil. La table de rotation tourne et entraîne l'outil de forage par l'intermédiaire de l'ensemble de la garniture de forage et de la tige d'entraînement. La commande principale est le levier de frein : Le chef de poste contrôle et régule la descente du crochet de forage par action sur ce frein. Comme nous l'avons vu plus haut, les trépan sont utilisés à poids constant. Le poids de tout ce qui est pendu au crochet est constant et connu du foreur par la lecture du poids suspendu au crochet avant de toucher le fond (off bottom).



Figure 3-03 : Le début de forage.

Le poids appliqué sur l'outil est la différence entre le poids au crochet outil suspendu et outil posé.

C'est cette différence que le foreur lit sur l'indicateur de poids (communément appelé Martin Decker) et qu'il doit maintenir constante en laissant descendre la tige d'entraînement à la même vitesse que l'avancement de l'outil de forage. Les deux autres paramètres : rotation et débit de boue sont en général fixes, le foreur contrôle et ajuste les valeurs suivant le programme et surtout vérifie que la pression de refoulement aux pompes est et reste conforme.



Figure 3-04 : Chambre de commande.

3.7.2- L'ajout de tige :

Lorsque l'outil a foré une longueur de tige (30 ft), il faut rallonger la garniture de forage d'autant en vissant sous la tige d'entraînement une tige de forage. Les différences séquences sont décrites figure 3.10.

- Pendant le forage les ouvriers de plancher out place une tige dans un fourreau appelé mouse-hole situé à proximité de la table de rotation.

-Le chef de poste embraye le treuil pour soulever la garniture jusqu'a la première tige de forage sous la tige d'entrainement. Les sondeurs mettent les cales, la tige d'entrainement peut-être dévissée car la garniture est alors suspendue sur la table de rotation. Naturellement, la circulation de boue est alors arrêtée. Sur la figure les sondeurs présentent la tige d'entrainement sur le filetage femelle de la tige mise en place dans le mouse-hole. Les vissages et blocage sont effectués sur le mouse-hole.

- En actionnant le treuil, le chef de poste soulevé l'ensemble tige d'entrainement et tige de forage. Le vissage et le blocage de la nouvelle tige sur la garniture étant faits, le chef de poste remet la circulation du fluide de forage.

-Le foreur positionne la carre d'entrainement de la kelly dans la table de rotation et le forage peut reprendre.

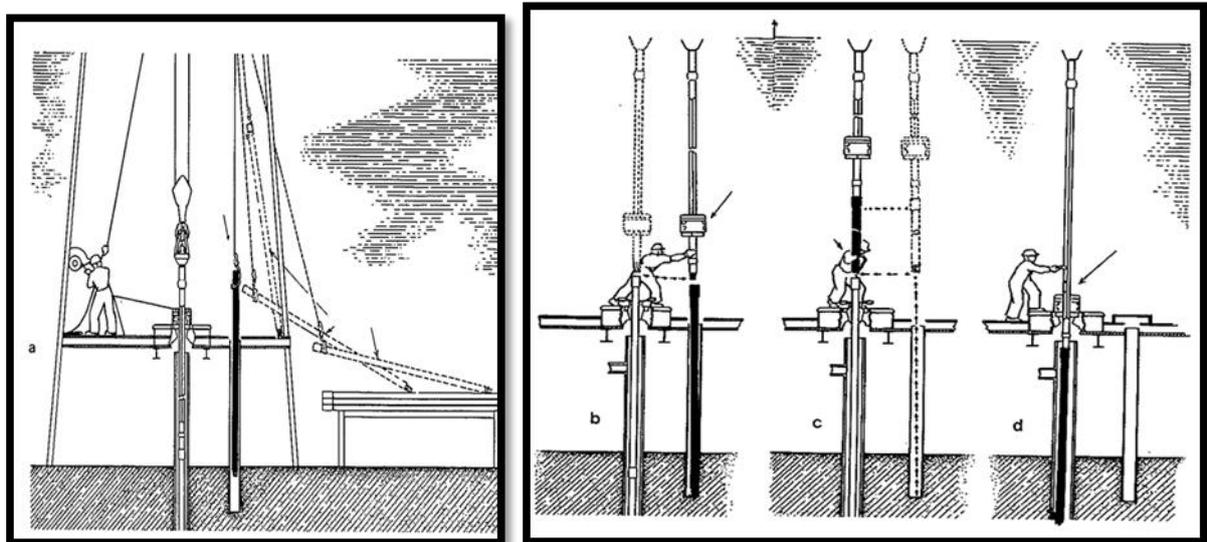


Figure 3-05 : L'ajout de tige

3.7.3-manœuvre :

Lorsque l'outil est usé ou lorsque Ton a atteint la profondeur souhaitée, il faut remonter la totalité de la garniture soit pour changer l'outil soit pour descendre les tubes casing.

La première opération est de décrocher la tête d'injection du crochet de forage et de ranger dans un fourreau appelé rat-hole l'ensemble tige d'entraînement, tête d'injection toujours reliées aux pompes par le flexible.

Les sondeurs de plancher ferment l'élévateur sous le tool-joint de la première tige et le chef de poste manœuvre le treuil pour soulever la garniture sur une hauteur correspondant à trois tiges.

La quatrième tige est coincée dans la table par les cales et on dévisse cette connexion avec des clés. Un ensemble de trois tiges est alors suspendu à l'élévateur. Les sondeurs de plancher repoussent l'extrémité inférieure de cette longueur (stand) pour l'appuyer sur un sommier de gerbage (set back), dès que cela est fait l'accrocheur qui se trouve sur une passerelle dans la tour, ouvre l'élévateur, maintient la longueur puis range l'extrémité supérieure de cette même longueur dans des râteliers.

On continue ainsi jusqu'aux masses-tiges que l'on stocke également verticalement par trois.

La longueur de gerbage est fonction de la hauteur de la tour. Les plus gros appareils manœuvrent en triple, les appareils légers en double et pour les plus petits en simple. La manœuvre de descente (tripping in) se fait identiquement.

Il faut remarquer que pendant cette opération, on ne peut ni tourner la garniture ni circuler. Pour ce faire, si besoin était, il faut reprendre la tige d'entraînement hors du rathole et revisser l'ensemble sur les tiges.

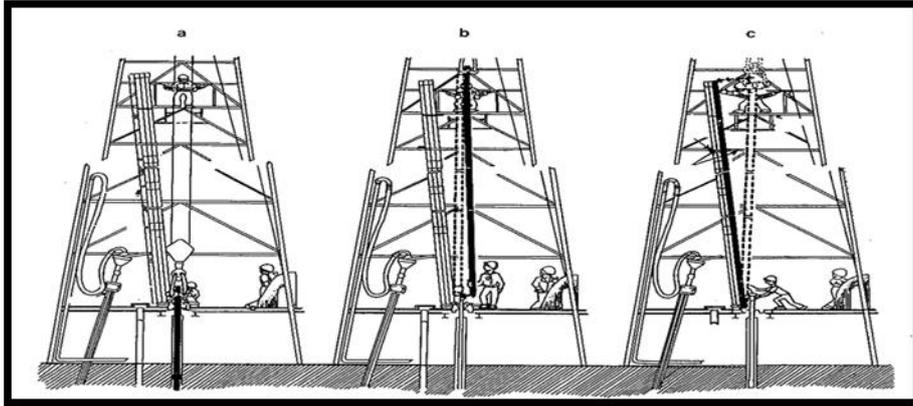


Figure 3-06 : Fonction des manœuvres.

3.7.4- Tubage :

Le forage ayant été accompli à la profondeur prévue pour cette phase, il s'agit maintenant de descendre les tubes casing dans le puits. Cette opération, périlleuse du fait du faible jeu entre casing et trou et de la quasi impossibilité de mettre en rotation la colonne, consiste en une manœuvre de descente mais par ajout unitaire de tube casing. A la fin de la descente, c'est par circulation directe (c'est-à-dire injection du fluide par l'intérieur du tube et retour par l'annulaire) que l'on mettra en place le ciment dans l'annulaire.



Figure 3-7 : Les tubes de forages.

3.7.5- Montage de la tête de puits :

Lorsqu'un tubage est en place dans le puits et est cimenté, il est nécessaire de monter divers équipements de suspension, d'étanchéité sur son extrémité supérieure. Ces opérations sont manuelles en têtes de puits aériennes.

Ces équipements de têtes de puits permettent également la mise en place des obturateurs équipés de conduites haute pression appelées kill line et choke line. Une série de test en pression du casing, des suspensions, des BOP clôture ce montage. Si tout est conforme aux exigences de la sécurité, la phase de forage suivante peut alors commencer.

3.7.6- Complétion :

Cette opération finale qui succède à la mise en place de la dernière colonne de casing (casing de production) consiste à descendre dans le puits l'équipement de production : packer, tubing, vanne de sécurité, etc. Il faut souvent parachever la liaison couche/trou par forage, perforation, acidification, fracturation, etc.

Bien que ces opérations soient souvent faites par les foreurs, leurs techniques rentrent dans le domaine de la production fond qui est l'objet d'un autre ouvrage.

3.8- Identification du Forage étudié :

3.8.1-Situation géographique du forage :

Le forage est situé sur le monticule des collines de la vallée du M'zab, versant sud-ouest, près de la RN1. Dans le territoire de la commune de Bounoura, Daïra de Bounoura. Les coordonnées géographiques du forage sont la suite : Longitude : 32° 27' 45'', latitude : 03° 42' 30'' et altitude : 559m.

3.8.2-localisation du forage :



Figure 3-8 : Localisation de forage exploité à l'alimentation AEP.

3.8.3-Déroulement des travaux, complétion du puits :

Le forage a été exécuté par l'entreprise Chinoise SARL SHAOLIN avec un appareil au rotary type HONG XING (60-1000) KN, à boue de base bentonitique.

3.8.4-But du forage :

Le forage est destiné pour l'alimentation en eau potable du futur ksar El Mandar El Djamil, Bounoura et les environs.

3.8.5-Description lithologique / stratigraphie :

L'analyse des cuttings du sondage à chaque mètre, a permis de mettre en évidence le profil stratigraphique suivant ;

3.8.6-Le Turonien : de 0 à 110 mètres. Calcaire dur riche en dolomie, grisâtre à blanc massif, karstiques, Marneux jaunâtre à calcaire à la base.

3.8.7-Le Cénomaniens : de 110 à 360 mètres. Il s'agit d'argiles verdâtres grises, brunes. Argiles bariolée marrons et verdâtres à gypses fibreux, argiles grisâtres claires sableuses à la base.

3.8.8-L'Albien : A partir de 360 mètres. Sables bruns moyen à fin argileux, sables jaunes, gris, , sables fins bruns et roses, sables, sables fins brun, grès rose et brun à ciment argileux, sables à argiles rouge, sables fins roses gréseux, grès rouge, argile rouge plastique à la base.

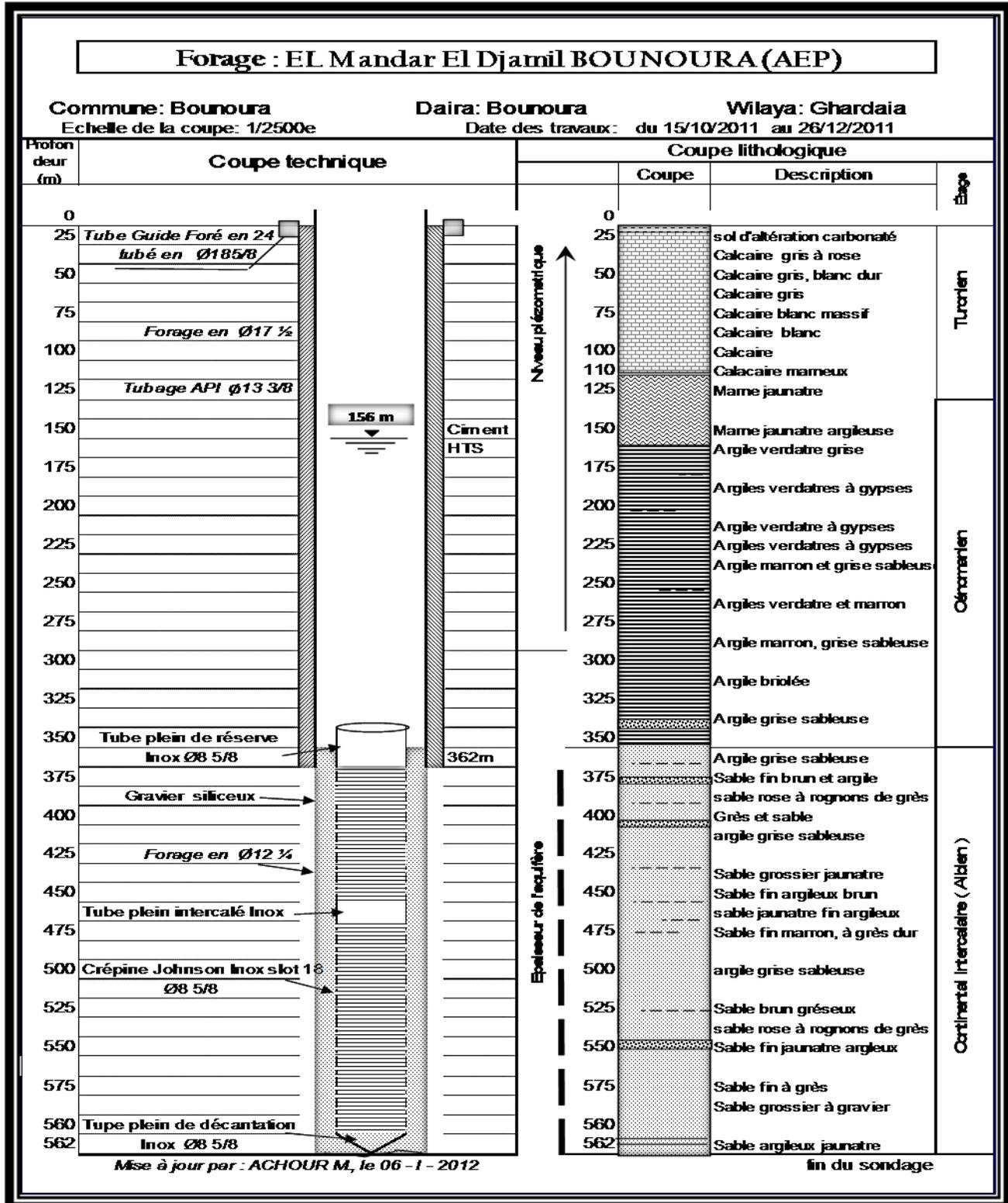


Figure 3-9 : Coupe Technique et lithologique du forage.

3.9-Les phases de foration :

3.9.1-Phase de forage Ø18^{5/8}'' :

- Forage de l'avant puits en outil Ø20'' à 10 mètres
- Alésage à 10 mètres
- Pose et cimentation du tube guide Ø18^{5/8}'' de 0 à 10 mètres

3.9.2-Colonne de production :

- Forage de reconnaissance en outil Ø12^{1/4}'' de 10 à 352 mètres
- Alésage en outil Ø171/2'' de 10 à 352 mètres
- Pose d'une colonne de tubage API Ø13^{3/8}'' de 0 à 362 mètres
- Cimentation de l' l'espace annulaire
- volume du laitier de ciment HTS injecté 23m³ soit 30 tonnes
- densité du laitier de ciment 1,67
- Attente prise de ciment 24 heures

3.9.3-Colonne de captage :

* Forage en outil Ø12^{1/4}'' de 362 à 552 mètres

* Pose d'une colonne de captage Inox en Ø8^{5/8}'' composée de ;

- Raccord
- tube plein de réserve / extension de 23,4m
- crépine type Johnson slot 18 de 87,75m
- tune plein inox intercalé de 5,85m
- crépine type Johnson slot 18 de 93,6m
- tube plein inox de décantation de 5,85 mètres

3.9.4-Massif additionnel (gravier) :

Sous une circulation lente avec une boue très allégée, il a été mis par graviter du gravier siliceux, après tamisage et calibration (3mm) le long de l'espace annulaire de l'aquifère.

- Le volume mis en place est de 10m³.

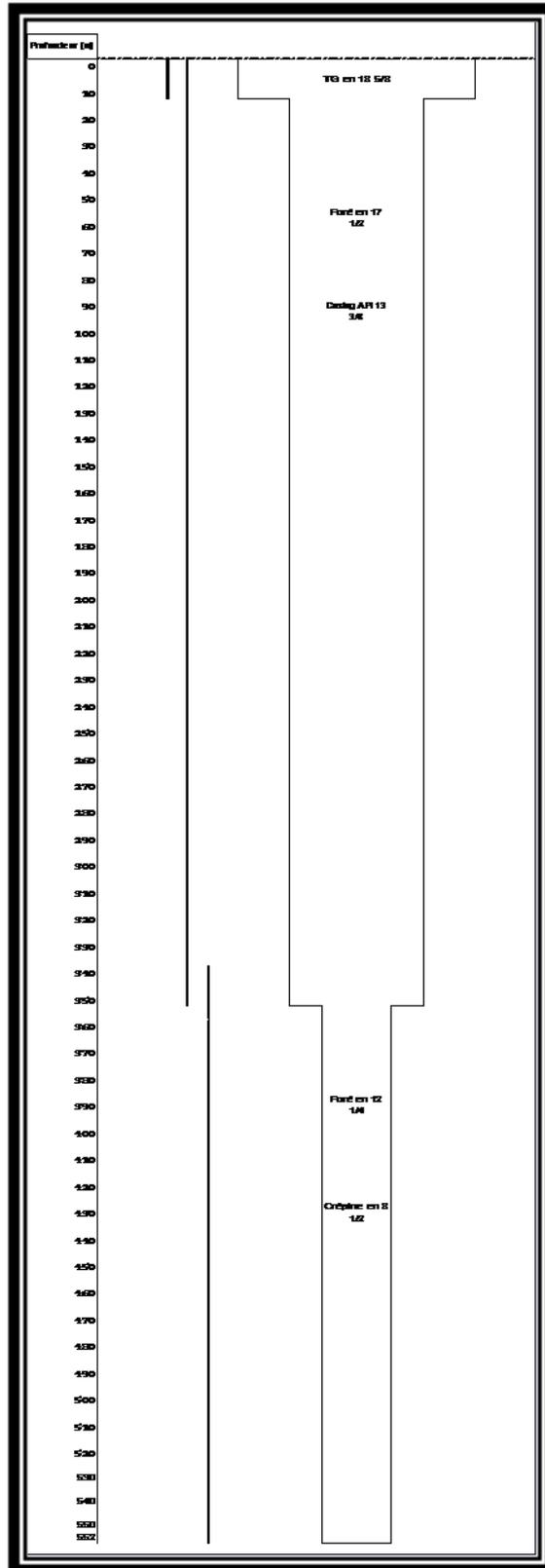


Figure 3-10 : Les phases de forage.

3.9.5-Développement du puits :

- Par la méthode air lift (injection de l'air comprimé)
- Résultat eau claire sans éléments en suspension

3.9.6-Difficulté d'exécution :

Les calcaires quelque fois présentent des niveaux très durs

3.9.7-Essai de puits :

- Cote calage pompe = 180 m
- Niveau dynamique (ND) = 161 m
- Niveau statique (NS) = 156 m
- Rabatement (s) = 5 m
- Débit de pompage (Q) = 27 litres par seconde
- Débit spécifique (q) = 5,4 l/s/m

3.10- Conclusion :

Grâce à notre étude de la région et en particulier la zone de Bonnoura (forage d'eau elvédère), on peu noter que les techniques les plus utilisées à Ghardaïa sont les techniques de forages par rotary.

CHAPITRE 04 :
ALIMENTATIONS EN
EAU POTABLE



4.1- Introduction :

Eau potable qu'elle soit souterraine ou qu'elle provienne du fleuve, d'un lac ou d'une rivière, l'eau qui sert à l'approvisionnement en eau potable est essentielle, cette eau doit répondre à des critères de qualité qui sont fixés par la loi et définit selon des critères du code de la santé publique, puis l'acheminer au robinet du consommateur, tout un encadrement existe pour faire en sorte que cette eau provienne d'une source de la meilleure qualité.

4.2- Consommations spécifiques d'eau :

Les consommations d'eau sont classées en fonction des besoins spécifiques de chaque groupe de consommateur. On distingue généralement 4 catégories de consommation de l'eau :

4.2.1- La consommation domestique :

C'est la consommation en eau de la population branchée au réseau ou non branchée mais qui profite des bornes fontaines pour s'alimenter en eau. Il s'agit donc de l'eau utilisée pour les besoins personnels d'alimentation et d'hygiène et autres utilisations moins essentielles comme le lavage de biens et l'arrosage.

4.2.2- La consommation industrielle :

Elle correspond aux besoins en eau des établissements industriels implantés dans la ville. Elle est difficile à évaluer, car il existe une grande variation de consommation selon le type d'entreprise.

4.2.3- La consommation touristique :

La consommation touristique englobe la consommation de toutes les infrastructures touristiques telles que les hôtels classés, les complexes touristiques et les villages de vacances.

4.2.4- La consommation collective :

C'est la consommation des locaux administratifs et commerciaux, installations militaires, établissements scolaires et médicaux appareils publics et installations municipales.

4.3- Facteurs affectant la consommation :

Ils ya 10 facteurs quiaffectant la consommation :

1. Pertes dans le réseau et gaspillage.
2. Installation de compteurs d'eau.
3. Pression disponible.
4. Types d'industries installées sur le territoire de la localité.
5. Qualité de l'eau.
6. Coût.
7. Importance de la ville.
8. Richesse de la population (niveau de vie).
9. Climat.
10. Branché ou non banché.

4.4- Evaluation des besoins en eau :

4.4.1. Introduction :

Au fil de l'histoire, l'homme a développé de nombreux usages de l'eau : pour ses besoins quotidiens, pour ses activités économiques, pour ses loisirs... Chacun de ces usages nécessite ses propres contraintes en matière de quantité et de qualité des eaux utilisées et rejetées.

4.4.1.1- Consommation unitaire et globale (l/hab/j) :

Rapport de la production moyenne journalière et de la population totale desservie.

$$\text{CUG} = \frac{\text{Volume annuel} / \text{Nombre d'habitants}}{365 \text{ Jours}} \quad \text{La CUG est exprimée en litres/habitant/jour.}$$

4.4.1.2- Consommation moyenne annuelle (m³/an) :

Par année, une personne consomme en moyenne 35 à 40 m³ d'eau dont la plus grande partie est destinée aux appareils sanitaires, équivalent le volume d'eau consommé pendant 1 an.

4.4.1.3- Consommation moyenne journalière (l/j) :

Volume d'eau consommé pendant un an divisé par 365 jours.

L'évaluation des quantités d'eau nécessaires à une agglomération urbaine ou rurale n'est jamais faite avec certitude, car chaque catégorie de besoins en eau dépend de nombreux paramètres dont l'évolution dans le temps est très difficile à cerner. En général, la quantification rigoureuse des demandes en eau potable à satisfaire repose sur des données statistiques. Ces besoins sont évalués en deux étapes :

L'étape I :

Appréciation des besoins unitaires actuels relatifs à chaque catégorie de consommation.
Evaluation des besoins globaux actuels du périmètre d'aménagement.

Etape II :

Prévision des besoins en eau pour le futur et ce pour différents horizons. Notons que (étude des prévisions doit tenir compte d'une double augmentation (besoins unitaires et nombre d'habitant).

4.4.2. Evaluation des besoins unitaires actuels par catégorie de consommation :

4.4.2.1. Besoins domestiques :

Les besoins domestiques d'une agglomération sont estimés sur la base :

- ❖ Des données statistiques qui concernent la consommation moyenne et son évolution annuelle ainsi le nombre total d'habitants et le taux annuel d'accroissement de la population. Ceci n'est possible que pour une agglomération qui est déjà alimenté en eau potable.
- ❖ En comparaison avec d'autres agglomérations qui sont jugées comparables, surtout en ce qui concerne le niveau de vie et le climat, et pour lesquels les données statistiques sont disponibles. Une petite enquête permet alors de connaître le nombre d'habitants.

La norme de l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S) fixe la consommation domestique minimale à 55 l/j/hab.

Dans ce contexte on définit:

*** Dotation de la population branchée = Consommation population branchée /
Population branchée**

*** Dotation de la population non branchée = Consommation des bornes fontaine /
Population non branchée**

4.4.2.2- Besoins industriels :

Pour la plupart des industries, l'eau est un facteur de production. Elle peut être utilisée comme matière première, et être incorporée au produit fini, ou intervenir comme auxiliaire au cours du processus de fabrication. Les utilisations industrielles de l'eau sont extrêmement diversifiées et dépendent du type de l'industrie et des précédés de fabrication utilisés.

En général, cette consommation est difficile à évaluer, car il existe une grande variation de consommation selon le type de l'industrie. Les entreprises du secteur agroalimentaire, par exemple, sont considérées comme de grosses consommatrices d'eau. Parfois, lorsque que la demande en eau de certaines industries, par exemple pour les pâtes et papiers, sont importantes, La production d'eau pour le précède industriel est pris en charge par l'industrie elle-même (puits. forage...).

En général, on ne tient compte que des besoins des petites industries, qui consomment de l'eau potable et branchées sur le réseau de la ville. Les grandes industries sont généralement situées dans des zones industrielles isolées de la ville et alimentées par des réseaux indépendants.

4.4.2.3- Besoins collectifs : Cet usage englobe la consommation des administrations, des établissements d'enseignement et médicaux, des municipalités (bouches d'incendies. Lavage des rues, fontaines.....).

4.4.2.4- Besoins touristiques :

Il existe une différence de consommation entre les différentes catégories d'équipements touristiques.

4.4.3- Evaluation des besoins globaux :

Pour évaluer avec précision les besoins en eau potable d'une agglomération quelconque, un recensement précis et complet de l'ensemble des équipements socio-économiques qui caractérisent l'agglomération est nécessaire.

Ce recensement est complété par une étude qui porte sur:

- Les données démographiques et urbanistiques (population, taux d'accroissement, plan d'aménagement de la zone, types d'habitat).
- Les données économiques (agriculture, élevage. commerce, industrie, infrastructures existantes,...)
- Les équipements socio-economiques (enseignement. santé, équipements sportifs. services administratifs...)
- La consommation totale $C(n)$ relative à l'année n d'une agglomération peut être évaluée en connaissant:
 - Le taux de branchement (%).
 - La population totale.
 - La dotation de la population branchée.
 - La dotation de la population non branchée.
 - La consommation collective.
 - La consommation industrielle.
 - La consommation touristique.
 - La consommation des divers.

4.4.4- Prévion de la consommation en eau :

4.4.4.1- Introduction :

Une fois les besoins unitaires (dotations) par usage sont évalués, le calcul des besoins globaux actuels et leur répartition dans l'espace sera fait sur la base du plan d'aménagement et de la répartition de la population actuelle entre les différents tissus urbanistiques

Or, les besoins et le nombre des usagers augmentent dans le temps, alors que la durée de vie d'un réseau d'AEP est de l'ordre de 40 an pour les canalisations et de 25 ans pour les pièces spéciales (raccords. joints, tés, coudes) et la robinetterie.

Si on dimensionne un réseau d'AEP pour les besoins actuels, il sera saturé après quelques années de mise en service, alors il faut le dimensionner pour une future proche ou lointaine avec des approches dont seul l'ingénieur concepteur est responsable.

Avant de projeter un réseau d'AFP, on est amené à étudier l'évolution de la population, et d'analyser le développement urbanistique et socio-économique prévu pour pouvoir finalement effectuer un choix en matière de satisfaction des besoins à court, moyen ou long terme.

4.4.4.2- Etude de l'évolution de la population :

Il est indispensable d'effectuer une étude démographique pour cerner l'évolution de l'agglomération en se basant sur les résultats des recensements officiels, des enquêtes réalisées in situ et des résultats et recommandations des études du plan directeur d'aménagements urbain.

L'étude de l'évolution de la population des agglomérations est basée sur les statistiques des recensements nationaux.

Le nombre d'habitants futur (à l'année de projet) dans une agglomération urbaine. N est déterminé par la formule suivante :

$$N = N_0 \cdot (1+a)^n$$

Avec N_0 : nombre d'habitants connu en une année quelconque.

a : taux d'accroissement interannuel moyen de la population.

n : nombre d'années séparant l'année de N_0 à celle de N.

Dans le cas où le plan d'aménagement ou le plan de développement futur de l'agglomération est disponible, N est alors déterminé en se basant sur ce plan d'urbanisation.

4.4.4.3- Etude de l'évolution des dotations :

En cas de disponibilité de données statistiques de la consommation d'une agglomération quelconque, la projection future des dotations des différentes catégories de consommation sera obtenue par la méthode tendationnelle qui consiste à ajuster les consommations enregistrées dans le passé par une courbe donnant les besoins en fonction du temps (année).

En général, on enregistre une augmentation de la dotation de la population branchée et une régression de la population non branchée. La tarification permet de réduire la dotation, ceci est effectivement senti en milieu urbain.

4.5- Alimentation en eau :

4.5.1- Ressources en eau :

La vie à Ghardaïa n'est possible qu'en exploitant les eaux souterraines.

On rappelle que, dans la wilaya, celles-ci sont localisées dans trois niveaux aquifères différents :

- * la nappe phréatique qui est une nappe libre dont l'alimentation dépend des précipitations; on la trouve principalement sous le fond de la vallée sous la forme de nappe d'inféro - flux dans les alluvions.
- * la nappe du complexe terminal ou du miocène sableux présente principalement au Sud.
- * La nappe du continental intercalaire contenue dans les niveaux sablo - gréseux de l'Albien que l'on trouve, à des profondeurs variables, à travers toute la wilaya.

A Ghardaïa, la nappe du complexe terminal se confond avec la nappe superficielle que l'on a pu nommer "nappe phréatique du M'Zab"; les eaux y sont naturellement de bonne qualité mais, aujourd'hui, fréquemment souillées par des infiltrations non contrôlées.

La nappe du continental intercalaire se présente à des profondeurs fortement variables : affleurant à l'Ouest d'Elgoléa, elle s'enfonce vers le Nord pour atteindre 250 à 300 m vers Ghardaïa puis plus de 1 000 m à la limite de la wilaya, directement à l'Est.

La nappe du continental intercalaire s'étend bien au delà de la wilaya, elle s'écoule de la zone d'alimentation située à l'Ouest et qui correspond au grand Erg occidental vers son exutoire dans le golfe de Gabès en Tunisie. C'est une des plus importantes structures hydrologiques reconnues à l'échelle mondiale.

La nappe du continental intercalaire est exploitée par des forages de profondeurs variables qui peuvent atteindre 1 000 mètres. Les débits unitaires moyens sont de 100 l/s et peuvent s'élever jusqu'à 200 l/s. La nappe est artésienne, mais le niveau de refoulement n'atteint le haut du puits qu'en peu d'endroits. Il faut noter que les forages profonds sont coûteux et posent des problèmes de maintenance non résolus qui ne leur assure qu'une durée de vie limitée.

C'est cette nappe qui a permis de faire face à l'accroissement des besoins en eau dans la wilaya mais on peut également inverser la remarque et dire que c'est la mise en exploitation de cette nappe qui a permis la poursuite du développement de la wilaya. L'annexe 2.2 présente une situation détaillée des potentialités du continental intercalaire.

A Ghardaïa, c'est la nappe intercalaire qui assure la majeure partie des besoins en eau pour l'AEP et pour l'irrigation.

4.5.2- Exploitation :

Les nappes phréatiques sont exploitées par des puits traditionnels qui ne dépassent guère 50 mètres de profondeur. Leur recharge est assurée grâce à l'infiltration des pluies, améliorée par des dispositifs ingénieux : barrages retardant l'écoulement des crues ou murettes concentrant et dirigeant le ruissellement sur les calcaires des flancs des vallées. On compte environ 3 000 puits mais ils sont destinés à l'irrigation, sauf une dizaine d'entre eux encore utilisés pour l'AEP.

On peut signaler ici que l'eau était également stockée dans des citernes.

La nappe du continental intercalaire est exploitée par des forages profonds de 372 à 523 m qui sont répertoriés aux annexes 4.1 et 4.2. Les débits d'exploitation moyens journaliers vont de 15 à 33 l/s.

La courbe des débits d'extraction cumulés de l'annexe 4.2 montre un accroissement de tendance linéaire avec des périodes plus rapides comme à la fin des années 70 et surtout au début des années 90.

La nappe est captive et la pression de l'eau est telle que le pompage ne s'effectue que sur une hauteur de 40 à 50 m.

Entre 1956 et 1970, les pompages ont entraîné un abaissement du niveau piézométrique de 6,25 m soit en moyenne de 0,45 m par an. L'étude de l'UNESCO [70] signale que, pour une variation de débit de soutirage de +141 l/s entre 1970 et 1980, le rabattement a été de 4,55 m soit également environ 0,45 m par an.

La même étude [70] a simulé les conditions d'exploitation de 1981 à 2010 données au tableau 4.1 ci-dessous où l'on peut remarquer qu'aucun prélèvement supplémentaire n'est prévu au delà de l'année 2000. Dans les conditions de cette simulation, le niveau piézométrique s'abaisserait pour atteindre, à Ghardaïa, en 2010, entre 77 m et 108 m au dessous du sol. Le tableau 4.1 indique les prélèvements réels pour 1987 et estimés pour 1990 sur la base des forages en voie d'équipement en 87.

Tableau 4.01 Prélèvements prévus et réels en l/s dans la nappe albiennne

Zone		1981	1985	1987	1990	1995	2000	2010
NORD	Prévu	1 156	1 08		2 840	3 617	4 684	4 684
	réel			2 922	3 330			
SUD	Prévu	541	895		1 359	1 750	2 181	2 181
	Réel			1 080	1 560			

On constate que les prélèvements se sont développés à un rythme notablement plus rapide que celui qui était prévu et ceci plus encore au Nord qu'au Sud. C'est une des raisons qui justifie l'option du plan directeur consistant à activer le développement au Sud et à le freiner au Nord.

CHAPITRE 04- ALIMENTATIONS EN EAUX POTABLES

En 1987 les prélèvements de la vallée du M'Zab étaient de l'ordre de 525 l/s; en 1995 ils atteignent environ 640 l/s. En 1987, Zelfana et Guerrara prélevaient à elles seules plus de 1 500 l/s.

Pour 1995, l'EPEG a fourni les chiffres suivants :

➤ Nombre de forages	27
➤ profondeur moyenne	450 m
➤ production	66 620 m ³ /j
➤ durée moyenne de pompage	18 h

Ces valeurs concordent avec les précédentes.

CHAPITRE 05 :
HYDROCHIMIE ET
QUALITE DES EAUX



5.1- Introduction :

L'hydrochimie étudie les processus chimiques qui affectent la distribution et la circulation des composés chimiques des eaux. Pour cela l'hydrochimie se sert essentiellement de la chimie (thermodynamique, acides-bases, précipitations-dissolutions, oxydation-réduction, interactions entre différentes phases, etc.), mais aussi de la biologie et de la géologie. Elle met en place des modèles propres tels les modèles de la dissolution du dioxyde de carbone, la précipitation et la dissolution des minéraux (oxydes, dioxydes, carbonates, etc.), la spéciation des métaux, les interactions solides-liquides. On peut également ranger dans l'hydrochimie les techniques et protocoles d'échantillonnage des eaux, l'étude de la pollution des milieux aquatiques et de nombreuses autres applications qui sont devenues des sciences à part entière au vu de leur complexité.

5.2 Etude de la chimie des eaux :

Les phénomènes de pollution se traduisent généralement par des modifications des caractéristiques physico-chimiques du milieu récepteur. Un des moyens d'étude de cette, par des analyses et à différents périodes, les paramètres physico- chimiques des eaux dans les forages, les puits et les rejets. En effet, l'accroissement de la population et le développement des agglomérations, des unités industrielles et des terres cultivées sont nécessités l'intensification des pompes dans les forages ce qui a conduit à la modification du régime hydrodynamique de la nappe et à la dégradation de la qualité de l'eau.

5.3- Echantillonnage méthodes d'analyse:

Pour mieux étudier la présence ou l'absence d'une pollution de l'eau et sa validité comme une eau de consommation, on a effectué une campagne d'échantillonnage. Les échantillons ont été prélevés jusqu'à débordement dans des flacons en polyéthylène, rincés avec de l'eau distillée, puis avec l'eau à échantillonner puis bouchonnés. Pour l'analyse des métaux lourds on a ajouté quelques gouttes d'acide nitrique pour assurer une conservation dans un milieu acide, et immédiatement mis dans une glacière.

La température, le pH et la conductivité électrique sont mesurés in situ à l'aide d'un conductimètre-pH mètre et un thermomètre, les autres éléments chimiques sont dosés au niveau du laboratoire.

Tableau 5-01 : Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable, mises en place à Genève en 1993 sont la référence en ce qui concerne la sécurité en matière d'eau potable.

Elément/	Symbole/	Lignes directrices fixées par l'OMS
Chlore	Cl	250 mg/l
Conductivité	CE	400 µS/cm
Cuivre	Cu	2 mg/l
Fer	Fe	0.2 mg/l
Plomb	Pb	0,01 mg/l
Manganèse	Mn	0,5 mg/l
Nickel	Ni	0,02 mg/l
Nitrite	NO ₂	0,1 mg/l
Sodium	Na	200 mg/l
Sulfate	SO ₄	250 mg/l
Calcium	Ca	>200 mg/l
pH		6,5-8,5
Magnésium	Mg	50 mg/l
Potassium	K	12 mg/l

Tableau5-02- NormesAlgériennes des rejets

Elément/ substance	Valeurs limites/type d'activité		
	Corps gras	Industrie de	Industrie
Température	30°C	30°C	30°C
pH	5.5-8.5	5.5-8.5	5.5-8.5
DBO5	200 g/t	25 g/t	
Pb		0.5 mg/l	0.7 mg/l
Cu			0.7/1.5 mg/l
Ni			2 mg/l
Fe			5 mg/l

La fiabilité des analyses chimiques a été contrôlée à l'aide de la balance ionique (bi) exprimée par la formule de G. Castany, 1962 est représentée de la manière suivante:

$$Bi = [\text{Somme anions} - \text{Somme cations} / \text{Somme anions} + \text{Somme cations}] \times 100\%.$$

Les analyses pour lesquelles le **bi** est supérieur à 6% ne seront pas une priorité pour nos interprétations.

5.4- Interprétation des résultats :

5.4.1- Température (T°) :

La température est un paramètre intéressant dans l'étude des eaux elle joue un rôle très important dans la solubilité des minéraux. Les températures prélevées des forages varient de 24°C à 28°C.

La plupart des échantillons ont des températures qui ne dépassent pas les normes admissibles.

Tableau 5-03 : les valeurs de T° des forages de Bonoura (2014).

	La norme	BebElgharbi	Ben isgene (moumou)	Bounoura Zouil	Sidi Abaz	Belvédère
T°C	>25	24.4	28	28.02	25.6	27

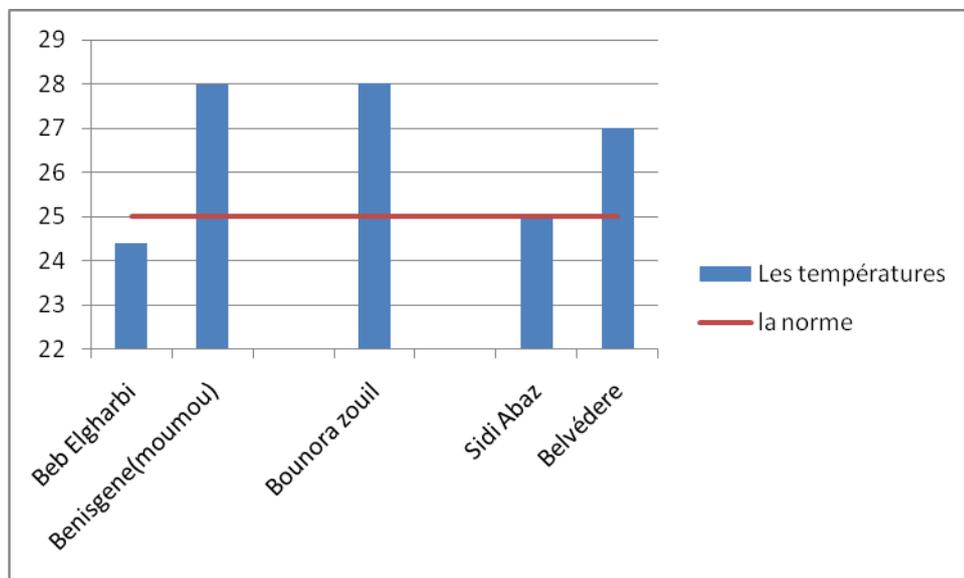


Figure 5-01 : Variation spatiale des valeurs de T° des forages des Bonoura (2014).

5.4.2- Le pH :

Le pH donne une indication de l'acidité d'une substance. Il est déterminé à partir de la quantité d'ions d'hydrogène libre (H^+) contenu dans la substance. L'acidité est l'un des paramètres les plus importants des propriétés de l'eau. L'eau est un solvant pour presque tous les ions et le pH permet de comparer les ions les plus solubles dans l'eau.

Tous les échantillons étudiés ont un pH qui ne dépasse pas les normes admissibles ($6.5 < pH < 8.5$).

Tableau 5-04 : les valeurs de pH des forages de Bonoura (2014).

	la norme	BebElgharbi	Ben Isgene (moumou)	Bounora (Zouile)	Sidi Abaz	Belvédère
PH	6.5-8.5	7.95	7.76	7.42	7.43	7.87

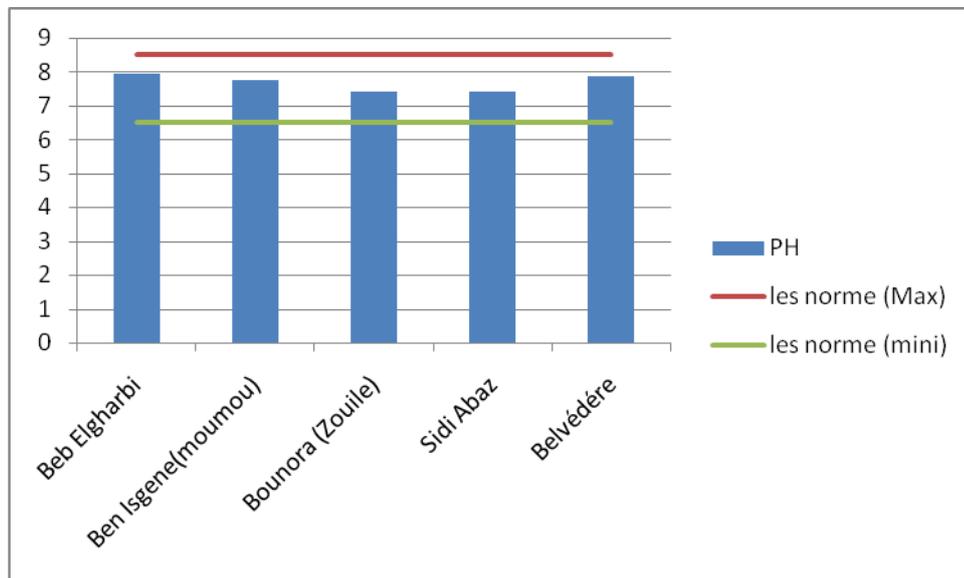


Figure 5-02 : Variation spatiale des valeurs de pH des forages des Bonoura (2014).

5.4.3- La conductivité électrique:

La conductivité électrique permet d'avoir une idée de la salinité de l'eau. Une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit une salinité élevée.

Pour l'eau d'alimentation la valeur guide est de 400µS/cm :

- o 50 à400 µS/cm : qualité excellente.
- o 400 à750 µS/cm : bonne qualité.
- o 750 à1500 µS/cm : qualité médiocre mais eau utilisable.
- o >1500 µS/cm : minéralisation excessive.

Les échantillons présentent des conductivités qui dépassent largement les normes admissibles et donc présentent une grande salinité (minéralisation excessive).

Tableau 5-05 : les valeurs des conductivités des forages de Bonoura (2014).

	la norme	BebElgharbi	Ben Isgene (moumou)	Bounora (Zouile)	Sidi Abaz	Belvédère
Cond	< 400µS/cm	2180	1777	1905	1938	2120

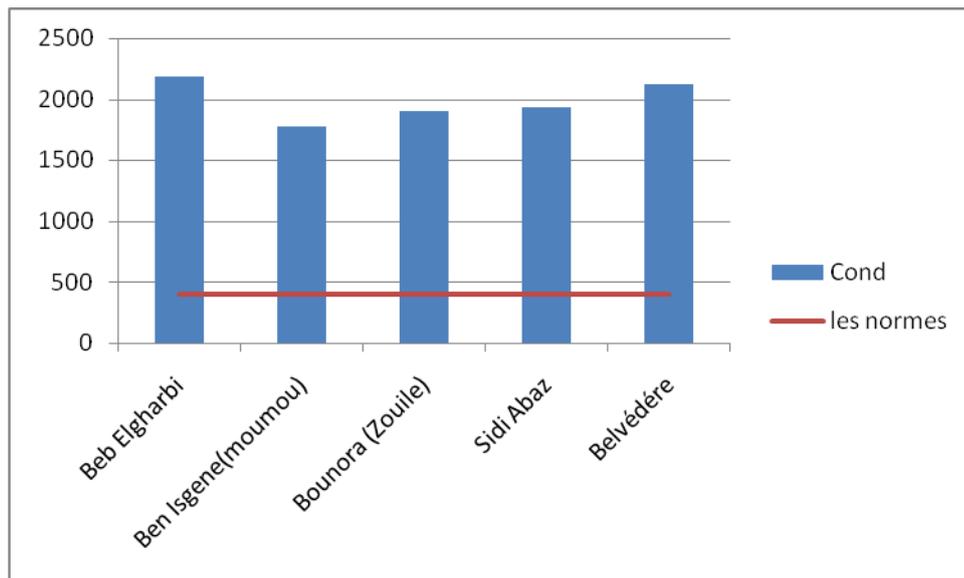


Figure 5-03 : Variation spatiale des valeurs conductivités des forages de Bonoura (2014).

5.4.4- Magnésium Mg^{++} :

Une eau est dite "dure" lorsqu'elle est fortement chargée en ions magnésiums (Mg^{+2} , par opposition, "douce" lorsqu'elle contient peu de ces ions.

Les trois échantillons des forages de Bebelgharbi Ben Isgen (moumou), et Bonoura (zouille), présentent des concentrations très élevés en magnésium Mg^{++} qui dépassent les normes. Par contre les deux forages de sidi Abaz et Belvédère, sont marqués par des concentrations faibles et qui ne dépassent pas les normes admissible par OMS.

Tableau 5-06 : les valeurs des Mg^{++} des forages de Bonoura (2014).

	La norme	BebElgharbi	Ben Isgene	Bounora (Zouile)	Sidi Abaz	Belvédère
Mg^{+}	50 mg/l	83.59	53.46	58.32	37.48	29.04

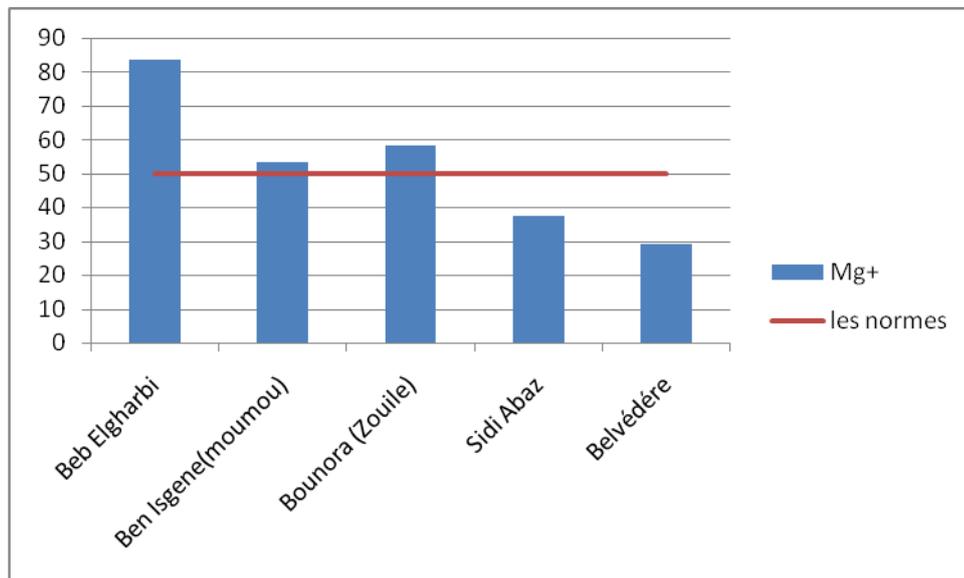


Figure 5-04 : Variation spatiale des valeurs Mg^{++} des forages de bounoura (2014).

5.4.5- Calcium (Ca^{+}):

Pour le Ca^{++} nous observons que les échantillons ont des ions de Ca^{++} qui ne dépassent pas les normes de l'OMS (>200 mg/l).

Tableau5-07 : les valeurs des Ca⁺⁺ des forages de Bonoura (2014).

	La norme	BebElgharbi	Ben Isgene (moumou)	Bounora (Zouile)	Sidi Abaz	Belvédère
Ca ⁺	>200 mg/l	144.28	141.08	128.25	136.27	192.38

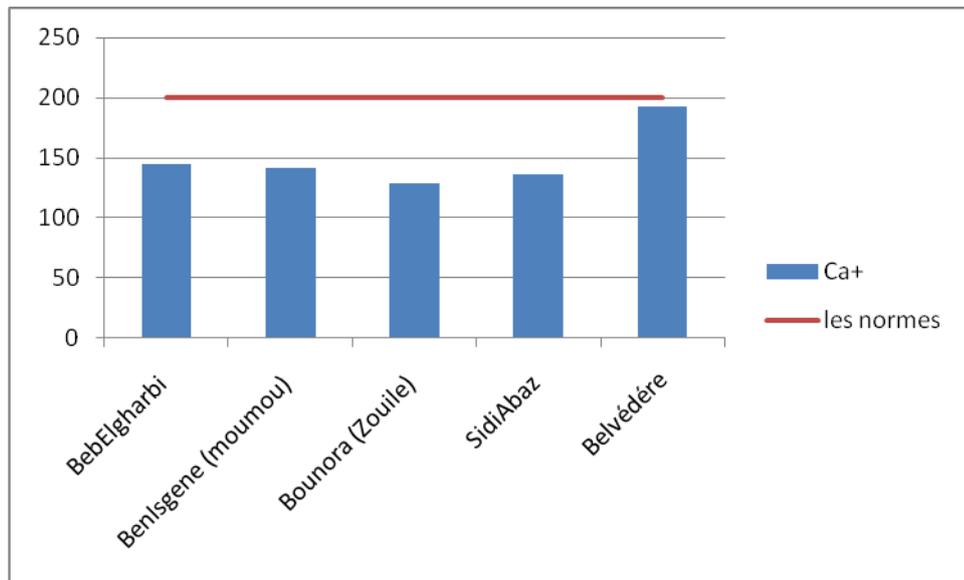


Figure 5-05 : Variation spatiale des valeurs Ca⁺⁺ des forages de Bonoura (2014).

5.4.6- Chlorures (Cl⁻) :

Le chlore (Cl⁻) est le produit le plus utilisé dans le monde pour rendre l'eau potable, et ce pour trois raisons très simples : il est très efficace, peu coûteux et sans danger.

Tous les échantillons sans exception présentent des concentrations en chlores qui dépassent largement les normes.

Tableau 5-08 : les valeurs des Cl⁻ des forages de Bonoura (2014).

	La norme	BebElgharbi	Ben Isgene (moumou)	Bounora (Zouile)	Sidi Abaz	Belvédère
Cl ⁻	250 mg/l	351.69	320.49	319.07	380.05	401.33

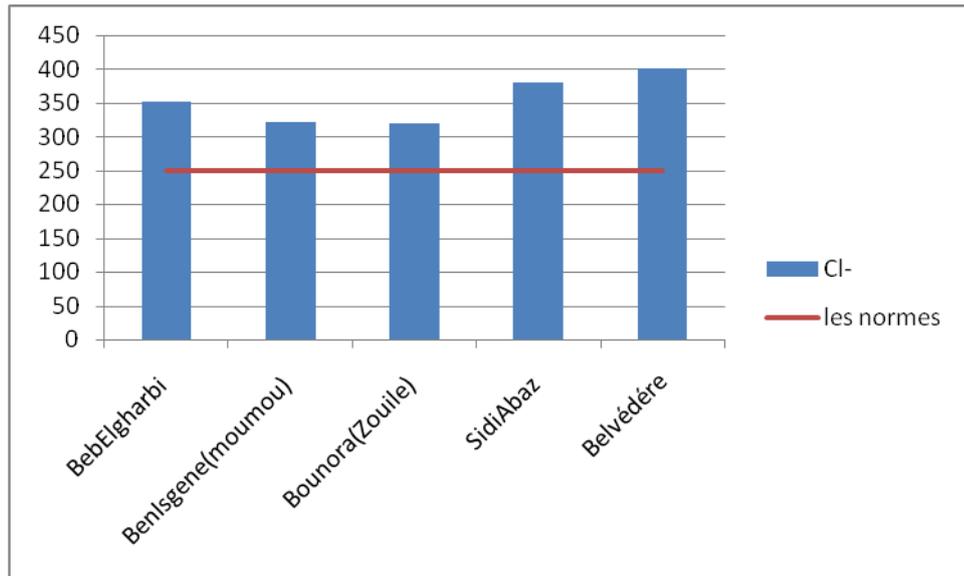


Figure 5-06 : Variation spatiale des valeurs Cl- des forages de Bonoura (2014).

5.4.7- Sodium (Na⁺) :

Le sel que l'on trouve dans notre alimentation solide couvre amplement nos besoins journaliers en sodium. Une teneur élevée en sodium dans l'eau minérale ou dans l'eau potable est dès lors contraire à une alimentation saine et équilibrée. Les forages de Bounoura présentent des concentrations modérées pour les forages de BebElgharbi, Ben isgene et Sidi Abaz et des concentrations très fortes en sodiums qui dépassent les normes pour le forage Bounora (Zouile) et Belvédère.

Tableau 5-09 : les valeurs des Na⁺ des forages de Bonoura (2014).

	La norme	Beb Elgharbi	Ben Isgene (moumou)	Bounora (Zouile)	Sidi Abaz	Belvédère
Na ⁺	200 mg/l	136.36	145.45	225	122.22	262.5

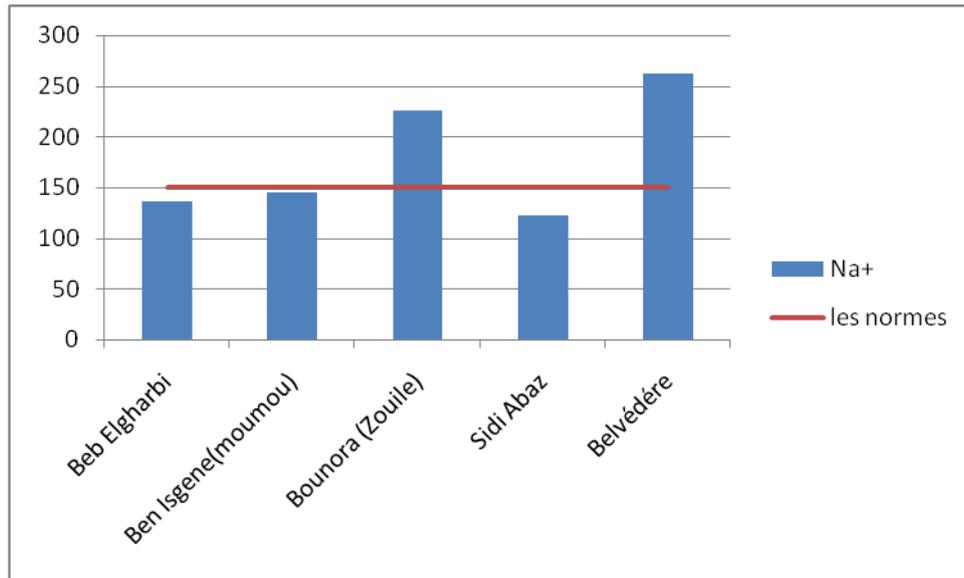


Figure 5-07: Variation spatiale des valeurs Na⁺ des forages de Bonoura (2014).

5.4.8- Potassium (K⁺) :

Le potassium est un minéral essentiel et réagit violemment avec l'eau. La concentration de potassium dans l'eau étant négligeable.

Nous observons que les deux échantillons des forages Sidi Abaz et Belvédère dépassent un peu les normes. Mais les échantillons des forages BebElgharbi et ben Isgene (moimou) et bonoura (Zouile) sont observés par des concentrations qui ne dépassent pas les normes.

Tableau 5-10: les valeurs des K⁺ des forages de Bonoura (2014).

	La norme	BebElgharbi	Ben Isgene (moumou)	Bounora (Zouile)	Sidi Abaz	Belvédère
K ⁺	12 mg/l	10	10	11	12.5	12.5

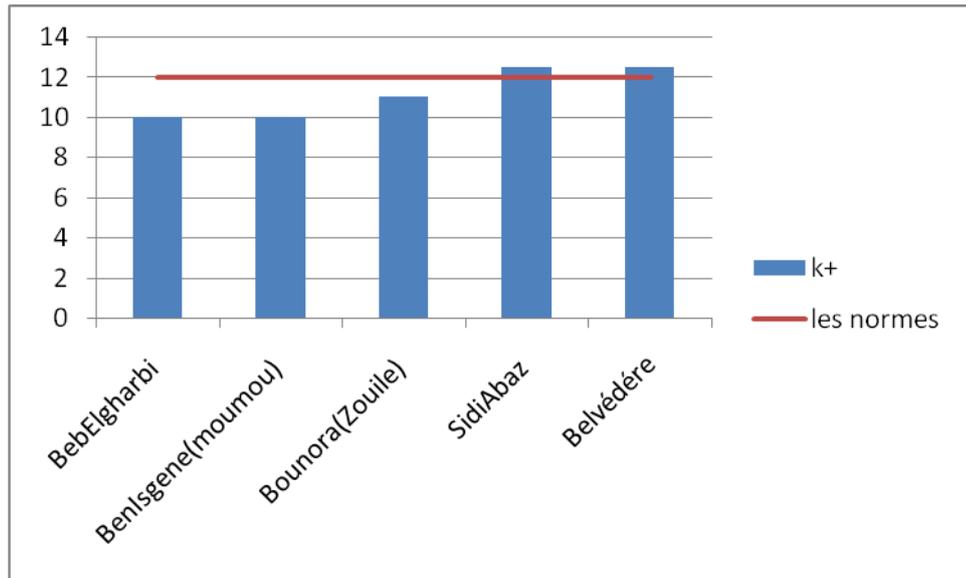


Figure 5-08 : Variation spatiale des valeurs K^+ des forages de Bonoura (2014).

5.4.9- Les nitrates (NO_2) :

Les nitrates constituent la forme azotée la plus dominante dans les nappes d'eau souterraine. Les échantillons ont un NO_2 qui ne dépasse pas les normes.

Tableau 4-11 : les valeurs des NO_2 des forages de Bonoura (2014).

	La norme	BebElgharbi	Ben Isgene (moumou)	Bounora (Zouile)	Sidi Abaz	Belvédère
NO_2	<0.1	0	0.016	0	0.02	0.002

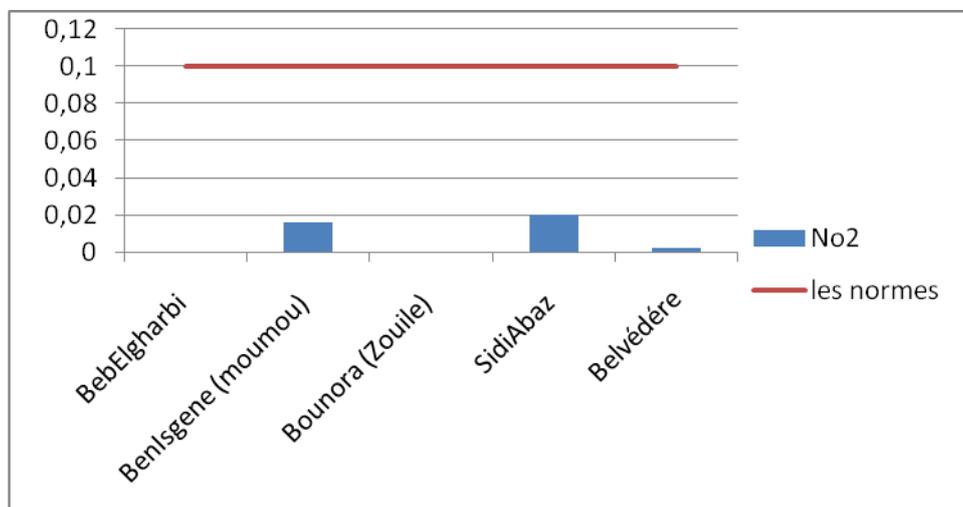


Figure 5-09 : Variation spatiale des valeurs NO_2 des forages de Bonoura (2014).

5.4.10- L'ammonium (NH₄⁺):

L'ammonium constitue le produit de la réduction finale des substances organiques azotées et de la matière inorganique dans les eaux et les sols. Il provient également de l'excrétion des organismes vivants et de la réduction et la biodégradation des déchets, sans négliger les apports d'origine domestique, industrielle et agricole.

Les échantillons sont marqués par des valeurs en NH₄⁺ qui ne dépassent pas les normes.

Tableau 5-12 : les valeurs des NH₄⁺ des forages de Bonoura (2014).

	la norme	BebElgharbi	Ben Isgene (moumou)	Bounora (Zouile)	Sidi Abaz	Belvédère
NH ₄ ⁺	<0.1	0.027	0.004	0		0

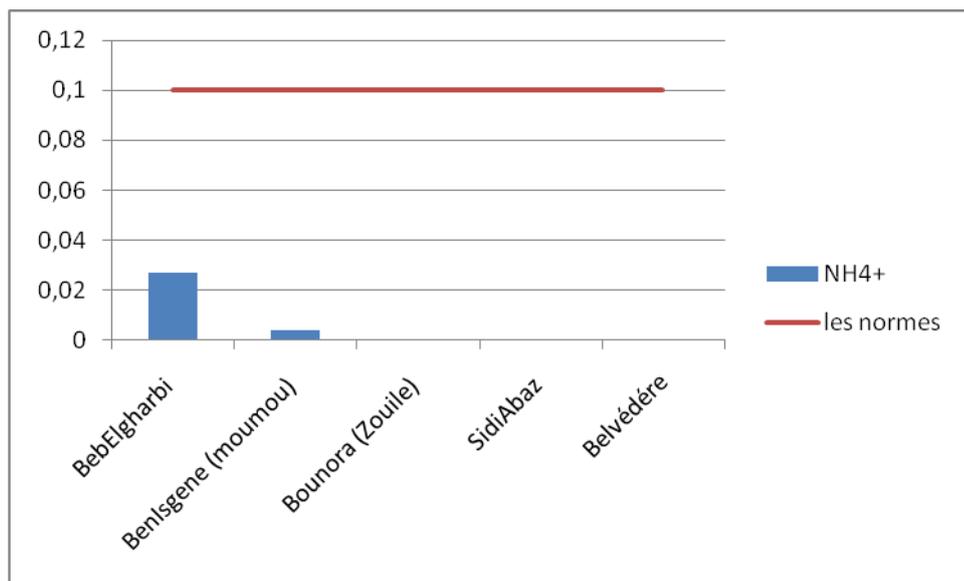


Figure 5-10 : Variation spatiale des valeurs NH₄⁺ des forages de Bonoura.

5.4.11- Titre alcalimétrique complet (TAC) :

Le TAC (titre alcalimétrique complet) est la grandeur utilisée pour mesurer le taux d’hydroxydes, de carbonates et de bicarbonates d’une eau, son unité est le degré français (°C ou °fH).

Tous les échantillons présentent des titres alcalimétrique complets dépassent les normes.

Tableau 5-13 : les valeurs des TAC des forages de Bonoura (2014).

	La norme	BebElgharbi	Ben Isgene (moumou)	Bounora (Zouile)	Sidi Abaz	Belvédère
TAC	<15	128	158	130.4	136.27	148

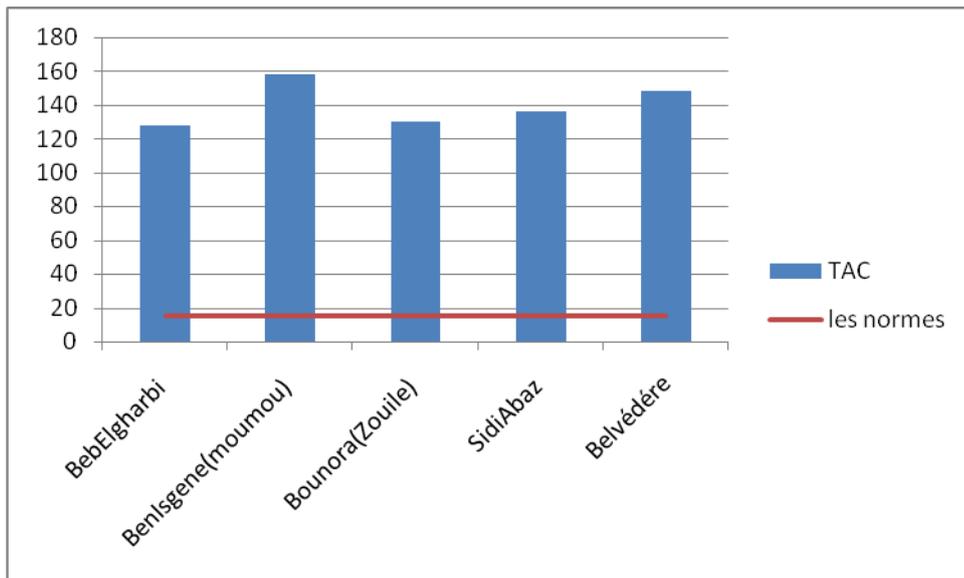


Figure 5-11 : Variation spatiale des valeurs Tac des forages de Bonoura (2014).

5.4.12- Titre hydrotimétrique (TH) :

Le Degré hydrotimétrique ou TH est l'unité de mesure de la dureté de l'eau, exprimée en degrés français. La dureté de l'eau est principalement du à la quantité de calcaire qu'elle contient. Vous pouvez traiter une eau dure grâce à un adoucisseur d'eau .

Tous les échantillons présentent des TH qui dépassent les normes.

Tableau 5-14 : les valeurs des TH des forages de Bonoura (2014).

	La norme	BebElgharbi	Ben Isgene (moumou)	Bounora (Zouile)	Sidi Abaz	Belvédère
TH	<50	704	572	560	700	600

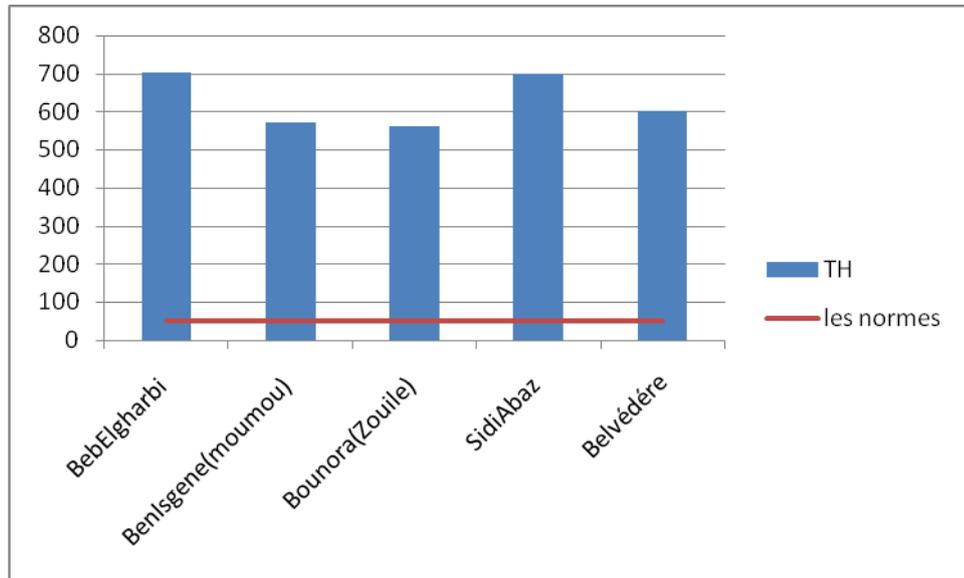


Figure 5-12 : Variation spatiale des valeurs TH des forages de Bonoura (2014).

5.5- Représentation graphique des résultats :

5.5.1- Diagramme de Piper :

Le diagramme de Piper permet de visualiser sur le triangle des anions ou des cations des échantillons analysés et de définir non seulement leur faciès grâce aux éléments major, mais de suivre également leur évolution dans le temps. La représentation des concentrations et exprimée en pourcentage.

La représentation des données de l'analyse de l'eau sur le diagramme de Piper a permis de distinguer les faciès chimiques suivants :

Tableau 5-15: Représentation de Piper des eaux souterraines.

Facès chimiques	Sulfaté sodique	Chloruré calcique
Nom du puits	F5 et F3	F1, F4 et F2

F1 : Forage de Bebelgharbi, **F2** : Forage de Ben Isgene, **F3**: Forage de Bounora, **F4** : Forage de Sidi Abaz et **F5** : Forage de Belvédère.

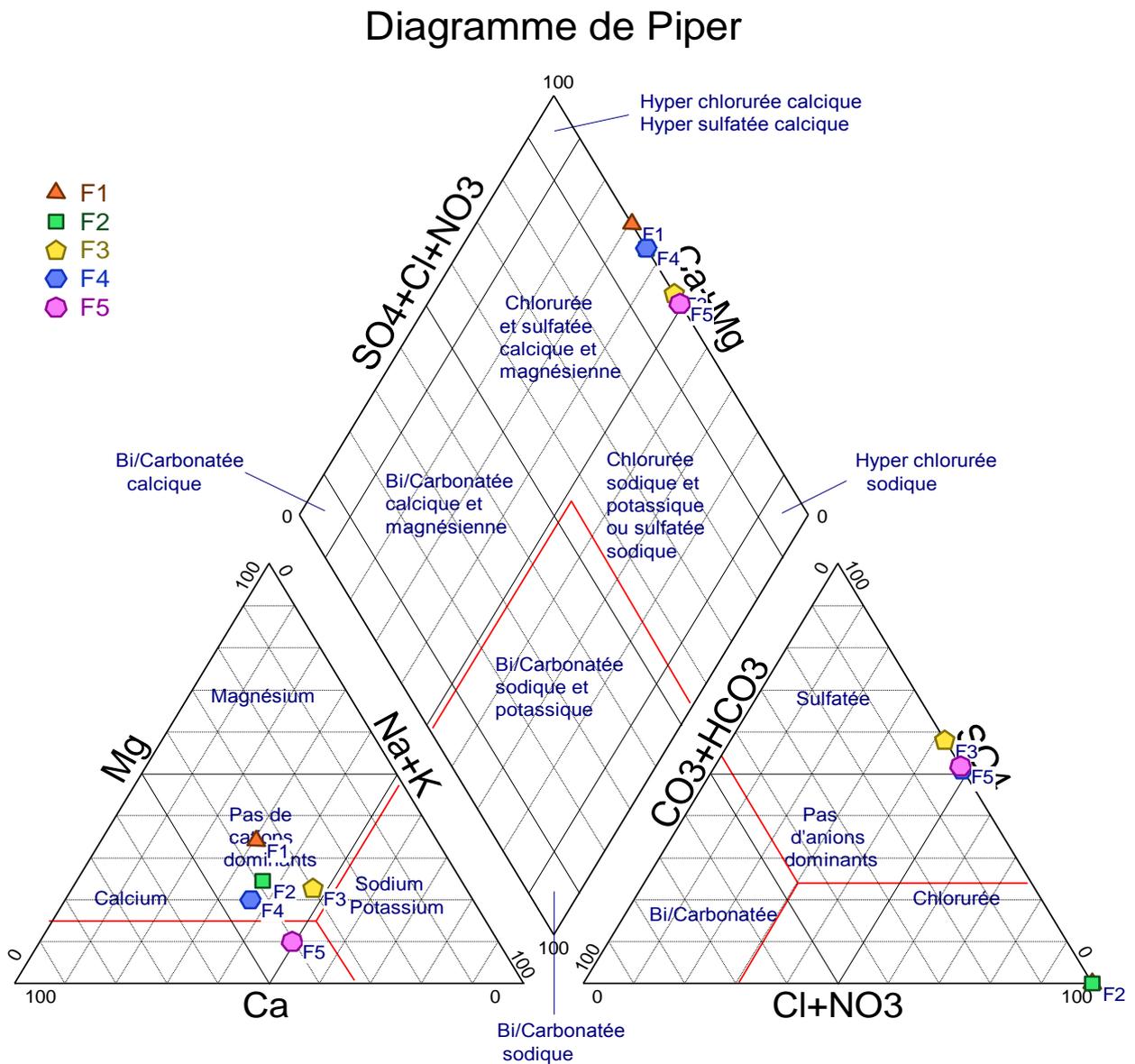


Figure 5-13: Diagramme de Piper des eaux souterraines.

5.5.2-Diagramme de Schoeller-Berkaloff :

Ce diagramme comporte une échelle logarithmique sur laquelle on porte les teneurs des principaux ions en (mg/l) sur l'axe des abscisses. On porte de gauche à droite, à intervalle régulier (Ca^{+2} , Mg^{+2} , $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$, Cl^{-} , SO_4^{-} , HCO_3^{-}), les points reportés sont ensuite reliés par une ligne brisée qui facilite la comparaison des résultats de l'analyse de l'eau d'un ensemble d'échantillons).

D'une manière générale, l'allure des courbes brisée montre les faciès suivants: Sulfaté sodique pour l'ensemble des forages F5 et F3. Faciès Chloruré calcique pour F1, F4 et F2.

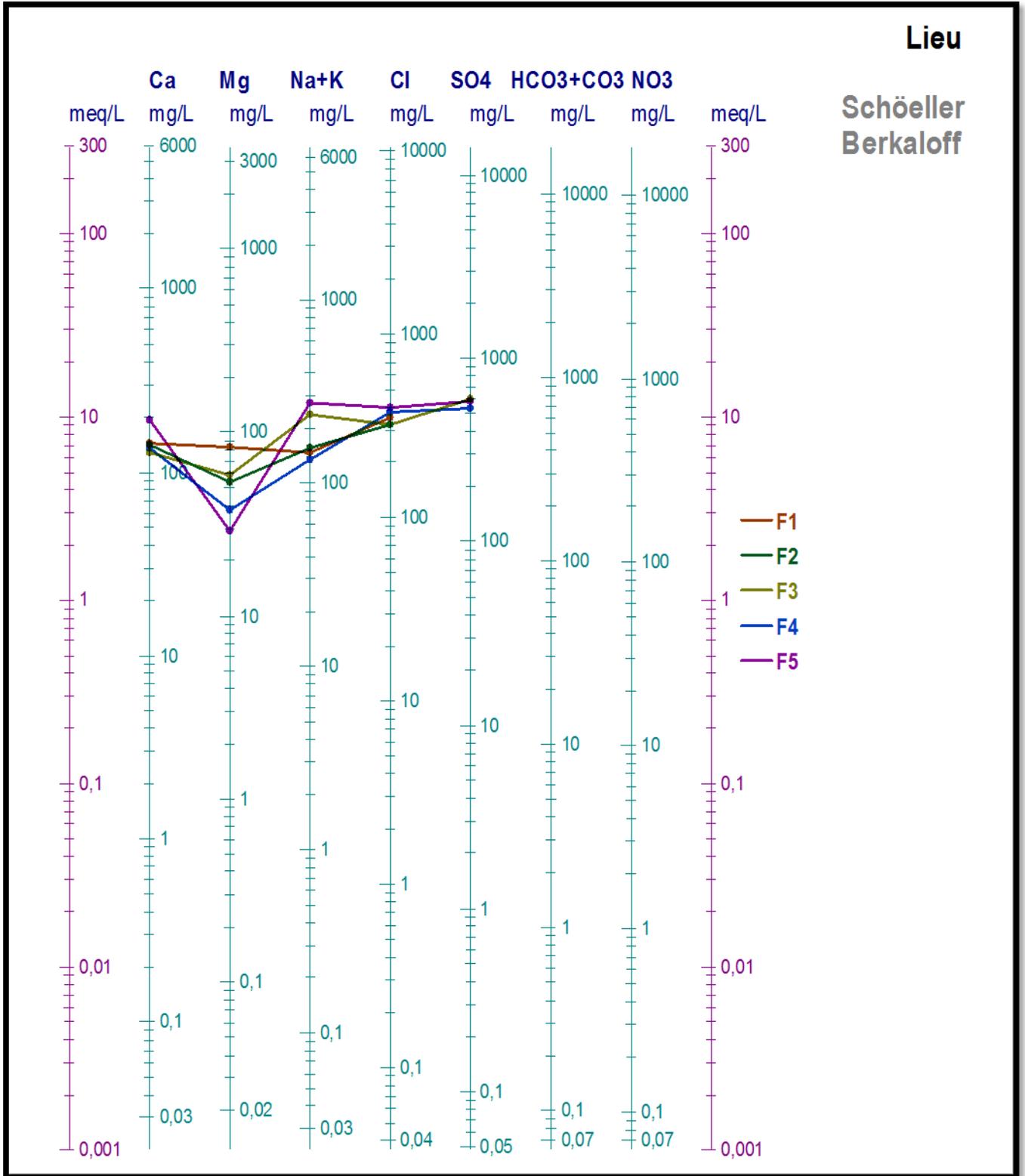


Figure 5-14: Diagramme Schoeller–Berkaloff des eaux souterraines.

5.6- Classification des eaux d'irrigation:

Pour la classification des eaux d'irrigation on a utilisé le diagramme de Wilcox, ce diagramme est basé sur les valeurs du rapport d'absorption en sodium (SAR) et de la conductivité électrique des ions contenus dans l'eau. L'objectif était de représenter les échantillons sur le diagramme de Wilcox afin de faciliter la caractérisation des eaux souterraines sur leur aptitude à l'irrigation. Les analyses disponibles sont représentées à la figure

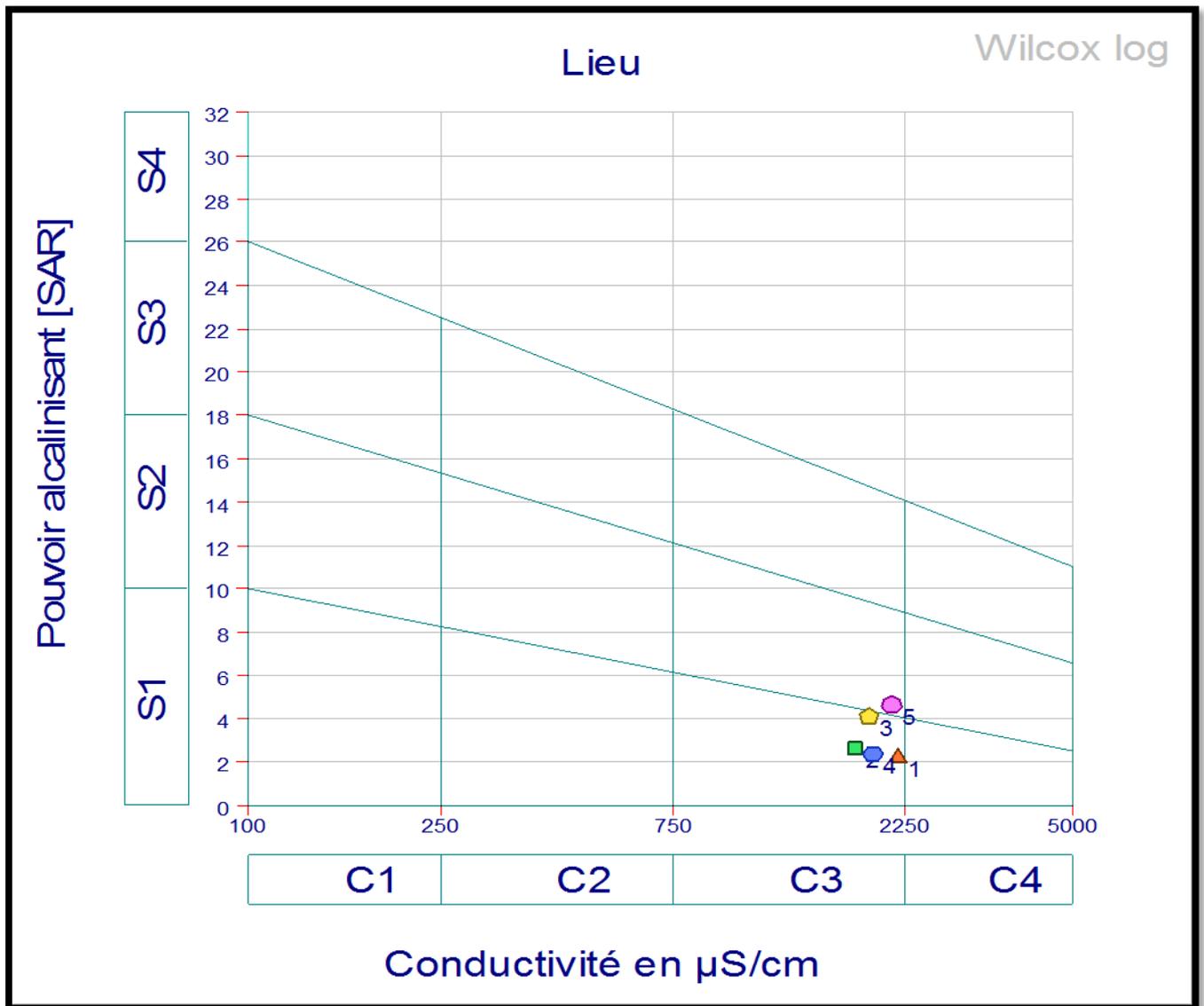


FIG 5-15: Diagramme de Wilcox des eaux souterraines.

Les échantillons représentés sur le diagramme de Wilcox se répartissent en deux groupes:

C3S1: regroupe la plus part des échantillons analysés, avec des risques de salinisation élevés et ceux d'alcalisation faibles.

C3S2: regroupe l'échantillon (F5), avec des risques de salinisation élevés et ceux d'alcalisation moyens.

5.7- Diagramme de Stiff:

Ce genre de diagramme permet d'obtenir une figure géométrique polygonale caractéristique d'une famille d'eau donnée. Les données d'analyse des ions majeurs sont reportées sur des axes horizontaux de part et d'autre de l'axe vertical d'origine. Les cations sont représentés à gauche ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Ca^{2+} , Mg^{2+}) et les anions à droite (Cl^- , $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3$, SO_4^{2-} , NO_3^-).

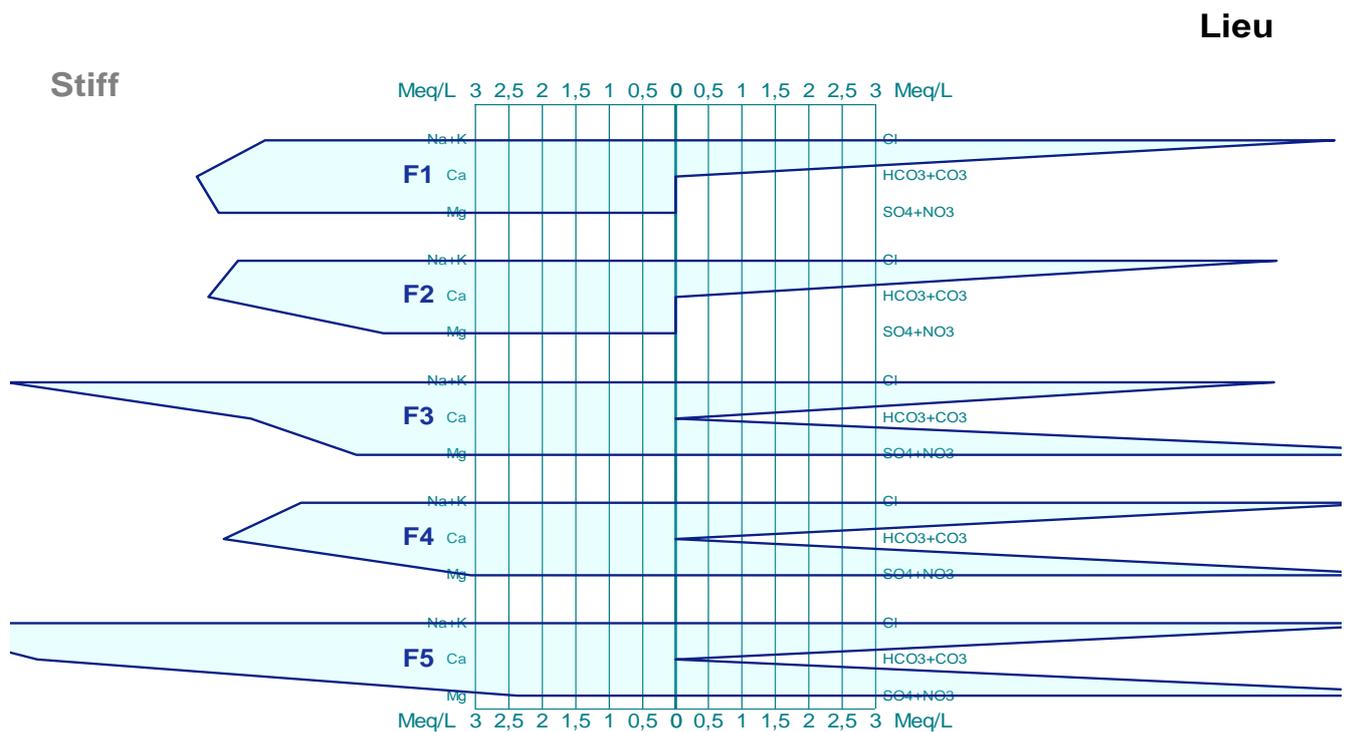


Figure 5-16: Diagramme de Stiff de l'analyse chimique des eaux souterraines.

La représentation de ces échantillons n'est en fait qu'une illustration des résultats obtenus avec le diagramme de Piper c'est-à-dire, un faciès Sulfaté sodique, Chloruré calcique.

Par ailleurs il faut noter que le diagramme de Stiff permet une lecture facile des caractéristiques chimiques de l'échantillon mais également une localisation aisée.

5.8- Conclusion :

Les résultats des analyses chimiques des eaux souterraines de la région de Bonoura, permettent de distinguer deux faciès chimique, un faciès Sulfaté sodique et un faciès Chloruré calcique.

Les eaux souterraines de Bonoura sont des eaux de mauvaise qualité, distinguées par une minéralisation excessive et des éléments chimiques qui dépassent largement les normes admissibles par l'organisation mondiale de la santé, se qui permet de provoquer une certaine maladie aux consommateurs. Le traitement des ces eaux avant la distribution et un devoir sacré ; afin de conserver la santé de la population de la région contre les effets indésirables de ces eaux non potables.



CONCLUSION GENERALE



Conclusion Générale :

D'après l'étude que nous avons effectuée, nous pouvons conclure que les eaux souterraines sont de première importance pour les habitants du Mزاب, ce depuis les temps les plus reculés puisqu'ils en dépendent pour boire et pour la majorité de leurs activités quotidiennes. Nous savons en effet qu'en raison du climat saharien, les pluies sont trop rares et irrégulières pour un développement économique sérieux.

A partir de nos travaux, il apparaît que le site de Bou Noura a une consommation d'eau potable très importante à cause du nombre croissant de ses habitants et de l'importance des activités de sa zone industrielle. C'est pour cette raison qu l'Etat a multiplié les forages, employant les techniques les plus nouvelles et faisant appel à la participations de compagnies étrangères.

L'Etat a porté un effort particulier sur l'analyse et le contrôle des eaux. Quant à l'analyse des eaux du site de Bou Noura, nous avons constaté que la qualité de celles-ci ne satisfait pas entièrement aux normes de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé).

Nous devons enfin garder à l'esprit qu'il est indispensable d'arriver à respecter entièrement ces normes si nous voulons que Ghardaïa ait un avenir à la mesure de son passé.

BIBLIOGRAPHIE :



Bibliographie :

A- Ouvrage :

- Les documents de professeur Boubelli Salim.
- Guide du Sahara –les Guides Bleus- Hachette 1988 (ouvrage collectif sans nom d’auteur).
- P.Roghon –Biographique d’un désert –plon -1989.
- A.Cauneille –Les Chaanba (leur nomadisme)-évolution de la tribu durant administration Française –Ed.du CNRSS –Paris – 1968.

B –Archives statistiques et cartographique :

- L.T.P.S de la wilaya de Ghardaïa.
- Direction des Ressources Hydrique.
- Recensements de la direction Générale de la Wilaya de Ghardaïa.
- Station Météorologique de Ghardaïa.
- Algérienne des Eaux –Ghardaïa.

C –Sources Internet :

- <http://www.tutiempo.net/> .
- <http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre4/main.html>.

D – Sources photographique :

- Google image.
- A.D.E.