

République Algérienne Démocratique Et Populaire

Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique



Université De Ghardaïa

N°d'ordre :
N° de série:

Faculte De Science Et Technologie
Département De Science Et Technologie

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

MASTER

Domaine : Science et Technologie

Filière : Hydraulique

Spécialité : Science de L'eau et de L'environnement

PAR : M^{elle} BENSAHA Zineb

THEME:

Evaluation hydrochimique des eaux phréatiques de la vallée du M'Zab par comparaison avec la région de Laghouat et d'Ouargla pour l'aptitude en alimentation potable et en irrigation

Soutenu publiquement le : 25/05/2015

Devant le jury :

M^r : OULED BELKHIR. CH	Maitre Assistant A	Univ. Ghardaïa	Président
M^r : BENADDA. L	Maitre Assistant A	Univ. Ghardaïa	Examineur
M^{me} : Amieur. R	Maitre Assistant A	Univ. Ghardaïa	Examinatrice
M^{elle}: BABA AMER. Z	Maitre de Conférences A	Univ. Ghardaïa	Encadreur

ANNEE UNIVERSITAIRE: 2014/2015

Dédicace

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail :

*A ma très chère mère, qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui n'a
jamais cessé de prier pour moi.*

*A mon très cher père, pour ses encouragements, son soutien, surtout pour
son amour et son sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes
études.*

A tous mes chères frères Abdou, Aïssa, Ahmed, & ma sœur Salîha

A tous ma grande Famille particulièrement à mon oncle Rachîd,

*A mes très chères amies Karîma, Zîneb, Oum Elkhîer, Sîham, Selma,
Soumaïa et Faïza pour leurs aides et encouragements.*

A Tous ceux que j'aime et je respecte.

©.... Zîneb



Remerciements

Au nom d'Allah le Clément et le Miséricordieux Je remercie DIEU tout puissant, de m'avoir donné la santé, la volonté, la patience et les moyens afin que je puisse accomplir ce modeste travail :

« Merci Dieu ».

*Je remercie **Melle BABA AMER Zohra** qui a proposé et dirigé ce travail et pour son encadrement efficace.*

*Je tiens à remercier sincèrement **Mr BENSAHA Hocine** pour le savoir qu'il m'a transmit, l'intérêt qu'il m'a accordé, les conseils qu'il m'a donné.*

*Je remercie vivement **Mr ACHOUR Mansour** pour ses appréciations, ses remarques, ses directives et conseils.*

Mes vifs remerciements vont à l'égard du personnels des

Laboratoire de l'Algérienne Des Eaux (ADE)

Laboratoire de hydraulique univ Ghardaïa

Mes remerciements s'adresse également à mes collègues Saïd, Hammou et Daoud qui m'aïdé au cours de l'échantillonnage des eaux.

Je tiens à remercier tous mes enseignants du département Sciences et technologies.

Je remercie également le président et les membres de jury d'avoir accepter d'examiner mon travail.

Je remercie très chaleureusement toutes les personnes ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Liste Des Abréviations

ADE: Algérienne des eaux ;
AEP: Approvisionnement en eau potable ;
ANRH: Agence National Ressources hydraulique ;
CE: Conductivité électrique ;
C.T : Complexe Terminal ;
C.I : Continental Intercalaire ;
DPAT: Direction de planification et d'aménagement des territoires ;
EDTA: Ethylène Diamine Tétra Acétique ;
Evapo : Evaporation ;
GPS: Global Positioning System;
HSN : Acide Calcone Carboxylique;
LHA: Logiciel d'Hydrochimie d'Avignon ;
Moy : Moyenne ;
OMS: Organisation Mondiale de la Santé ;
ONM: Office National Météorologique ;
ORGM: Office national de Recherche Géologique et Minière ;
P : Précipitations ;
pH : Potentiel d'Hydrogène ;
SAR: Sodium Absorption Ratio ;
T : Température ;
TH : Titre Hydrométrie ;
UV : Ultra – Violet.

Tableau de matière

Dédicace	
Remerciement	
Listes des abréviations.....	I
Table des matières	II
Liste des tableaux	VI
Liste des figures.....	VII
Introduction général.....	2

Chapitre 01 : Généralité sur la région d'étude

1.1. Présentation de la région de Ghardaïa	5
1.2. Présentation de la vallée du M'Zab.....	6
1.3. Etude Climatique	7
1.3.1. Précipitations	7
1.3.1.1. Précipitations Annuelles	8
1.3.1.2. Précipitations Mensuelles	9
1.3.2. Température	10
1.3.2.1. Température Moyenne Annuelle	10
1.3.2.2. Température Moyenne Mensuelle	10
1.3.3. L'humidité	11
1.3.4. Les vents	12
1.3.5. Evaporation	12
1.3.6. Synthèse Climatique	13
1.3.6.1. Diagramme Ombrothermique De Gaussen	13
1.3.6.2. Climagramme D'Emberger	14
1.4. Identification Géologie	16
1.4.1. Introduction	16
1.4.2. Le bassin sédimentaire	16

1.4.3. Cadre géologique de la dorsale du M'Zab	16
1.4.4. La Lithostratigraphie	18
1.4.4.1. Le Barrémien	18
1.4.4.2. L'Aptien	18
1.4.4.3. L'Albien	18
1.4.4.4. Le Cénomaniens	18
1.4.4.5. Le Turonien	18
1.4.4.6. Le Sénonien	18
1.4.4.7. L'Eocène	18
1.4.4.8. Le Quaternaire	18
1.4.5. Structure de la dorsale	21
1.4.6. La tectonique	21
1.5. Identification Hydrogéologie	23
1.5.1. La nappe phréatique	23
a) L'aquifère alluvionnaire quaternaire	24
b) L'aquifère Cénomano-turonien	24
1.5.3. Piézométrie de la nappe phréatique	25
1.5.4. Exploitation de la nappe phréatique	25

Chapitre 02 : Matériels Et Méthodes

2.1. Introduction	27
2.2. Prélèvement et conservation des échantillons	27
2.2.1. Localisation et caractéristiques des sites de prélèvement	27
2.2.2. Stratégie d'échantillonnage	27
2.3. Méthode d'analyse au laboratoire	28
2.3.1. Les paramètres physiques	28
2.3.1.1. Potentiel Hydrogène et Température	28
2.3.1.2. La conductivité	28
2.3.2. Les paramètres chimiques	29
2.3.2.1. Par titrimétrie	29
2.3.2.2. Par complexométrie	29
2.3.2.3. Par gravimétrie	29
2.3.2.4. Par photométrie de flamme	29

2.3.2.5. Par spectrophotométrie.....	30
2.4. Outils informatiques	31
2.4.1. Logiciel d'Hydrochimie d'Avignon (L.H.A.)	31

Chapitre 03 : Résultats Et Discussions

3.1. Introduction	33
3.2. Paramètres de pollution.....	34
3.2.1. Nitrates	34
3.2.2. Nitrites.....	34
3.2.3. L'ammonium	35
3.2.4. L'ortho-Phosphate	36
Conclusion	37
3.3. Les paramètres physique	37
3.3.1. La température (T°)	37
3.3.2. Le pH.....	38
3.3.3. La conductivité	38
3.4. Les paramètres chimiques	38
3.4.1. Le Calcium	38
3.4.2. Le magnésium	39
3.4.3. Le Sodium	39
3.4.4. Le Potassium	40
3.4.5. Les Bicarbonates.....	40
3.4.6. Les Chlorures.....	41
3.4.7. Les Sulfates	41
3.5. Etude des relations inter-élément	42
3.6. Classification des eaux souterraines selon PIPER.....	44
3.7. Classification des eaux souterraines selon Schoeller-Berkaloff.....	46
3.8. Evaluation de la qualité des eaux phréatique pour la potabilité.....	50
3.8.1. Normes des concentrations maximales admissibles des éléments physico-chimique et chimique selon l'O.M.S.....	50
3.8.2. Nomes de degré hydrotimétrique total.....	51
3.9. Évaluation de la qualité des eaux phréatique pour d'irrigation.....	52
3.9.1. Introduction	52
3.9.2. Risque de salinisation	52

3.9.3. Risque d'alcalinisation.....	53
3.9.4. Détermination des classes d'irrigation.....	54
Conclusion Général	58
Conclusion Générale	60
Annexes	63
Bibliographie.....	75

Liste Des Tableaux

Tableau 1 : Les Coordonnées Géographiques De La Station De Noumérat	7
Tableau 2: Caractéristiques des Précipitation Moyenne Annuelle.....	8
Tableau 3: Les Précipitations Moyennes Mensuelles	9
Tableau 4 : Températures Moyenne Mensuelles En °C	11
Tableau 5: L'humidité Relative Moyenne Mensuelle Et Annuelle.....	12
Tableau 6: Evaporation Mensuelle	13
Tableau 7 : Variations De La Température.....	42
Tableau 8 : Variations Du Ph.....	42
Tableau 9 : Variations Des Conductivités Electriques	43
Tableau 10 : Variations Des Concentrations Du Calcium.....	44
Tableau 11 : Variations Des Concentrations Du Magnésium.....	44
Tableau 12: Variations Des Concentrations Du Sodium.....	45
Tableau 13 : Variations Des Concentrations Du Potassium	45
Tableau 14: Variations Des Concentrations Des Bicarbonates	46
Tableau 15: Variations Des Concentrations Des Chlorures	46
Tableau 16: Variations Des Concentrations Des Sulfates	47
Tableau 17: Matrice De Corrélacion Entre Les Eléments Physico-chimiques Ghardaïa	48
Tableau 18: Matrice De Corrélacion Entre Les Eléments Physico-chimiques Laghouat	48
Tableau 19: Matrice De Corrélacion Entre Les Eléments Physico-chimiques Ouargla	48
Tableau 20 : Les Normes Physico-chimiques D'une Eau Potable Selon L'oms Et Les Points d'eau Dépassant Les Nomes dans Les Puits Analysés	53
Tableau 21 : Potabilité En Fonction De La Dureté	55
Tableau 22 : Classification De L'eau D'irrigation Basée Sur La Concentration Totale En Sels, Selon U.S.S.L, 1954 Et Ayers Et Westcot, 1976.....	56
Tableau 23 : Classe De Sodicit� Des Eaux	58

Liste Des Figures

Figure 1 : Situation De La Wilaya De Ghardaïa	5
Figure 2 : Limites De La Vallée De L'oued M'Zab.....	6
Figure 3 : La Carte Des Isohyètes	8
Figure 4 : Histogramme De Distribution De Précipitation Moyenne Mensuelle	10
Figure 5: La Variation De La Températures Moyenne Mensuelles.....	11
Figure 6: La Variation De L'humidité Moyenne Mensuelles.....	12
Figure 7: La rose de Vent	14
Figure 8: L' évaporation Moyenne Mensuelles	14
Figure 9: Diagramme Ombrothermique De GAUSSEN De La Région De Ghardaïa	15
Figure 10: Etage Bioclimatique De Ghardaïa Selon Climagramme d'Emberger	16
Figure 11 : La Carte Géologique De La Willaya De Ghardaïa	18
Figure 12 :La Coupe Lithologique De Forage CNAS – MOUDJAHIDINE.....	20
Figure 13 : La Coupe Lithologique De Forage Ahbas Atteuf	21
Figure 14 : Coupe Ouest-Est A Travers La Dorsale Du M'Zab.....	22
Figure 15 : Synthèse Hydrogéologique Régionale Des Différents Aquifères	24
Figure 16 : Coupe Géologique Schématique De La Vallée Du M'Zab	25
Figure 17 : Carte Piézométrique De La Nappe Phréatique De La Vallée Du M'Zab	27
Figure 18: Localisation Des Points De Prélèvements	32
Figure 19 : Spectromètre A Flamme (JENWAY).....	34
Figure 20 : Photomètre UV 440µm.....	34
Figure 21: Représentation De L'interface Du Logiciel D'hydrochimie De L'interface Du Logiciel D'hydrochimie	35
Figure 22 : L'évaluation Des Teneurs En Nitrite De L'ensemble Des Puits Analysés	40
Figure 23 : L'évaluation Des Teneurs En Ammonium De L'ensemble Des Puits Analysés....	41
Figure 24 : L'évaluation Des Teneurs En Ortho-Phosphates De L'ensemble Des Puits Analysés	41
Figure 25 : L'évaluation De Teneur En Nitrates De L'ensemble Des Puits Analysés	39
Figure 26 : Représentation Su Diagramme PIPER	49
Figure 27: Représentation Des Analyses D'eaux De La Région De Ghardaïa Selon Le Diagramme De PIPER.....	50
Figure 28 : Représentation Des Analyses D'eaux De La Région d'Ouargla Selon Le Diagramme De PIPER	50
Figure 29: Représentation Des Analyses D'eaux De La Région De Laghouat Selon Le Diagramme De PIPER.....	50

Figure 30 : Faciès Chimiques Des Eaux De La Région De Ghardaïa D'après Le Diagramme De Schoeller	51
Figure 31 : Faciès Chimiques Des Eaux De La Région De Laghouat D'après Le Diagramme De Schoeller	52
Figure 32 : Faciès Chimiques Des Eaux De La Région d'Ouargla D'après Le Diagramme De Schoeller	52
Figure 33 : Diagramme De Classification Des Eaux D'irrigation Des Puits De Ghardaïa	58
Figure 34 : Diagramme De Classification Des Eaux D'irrigation Des Puits De d'Ouargla.....	59
Figure 35 : Diagramme De Classification Des Eaux D'irrigation Des Puits Laghouat	60

INTRODUCTION

L'eau est un élément essentiel au fonctionnement de tout écosystème, mais aussi des activités humaines (agriculture, industrie) et de notre vie de tous les jours (usage domestique, loisirs). L'origine des eaux servant à l'alimentation humaine provient des eaux souterraines, les eaux douces de surface c'est-à-dire celle des ruisseaux, des rivières, des fleuves, des barrages, ou dans certains cas, par dessalements des eaux de mer...(Christiane, 1999).

Dans les pays en voie de développement à climat aride, le rôle des eaux souterraines est d'autant plus important qu'elles constituent souvent la seule source d'approvisionnement en eau potable et sont donc vitales pour le développement de ces pays (TRAVI, 1993).

Pour le Sahara Algérien qui s'étend sur les 2/3 de la superficie du pays avec plus de 2 millions de Km², recèle d'importantes ressources en eau souterraines emmagasinées dans les deux grands systèmes aquifères du Continental Intercalaire (CI) et du Complexe Terminal (CT). Ces dernières, constituent l'un des plus vastes réservoirs hydrauliques du monde (BEL et CUCHE, 1970; CDTN, 1992), dont les potentialités mobilisables sont estimés à 5 milliards de mètres cube d'eau (ANRH, 1986).

Le terme du Continental intercalaire désigne d'après son auteur (C.Kilian, 1932) une épisode continentale localisée entre deux cycles sédimentaires marins : celui du Paléozoïque qui achève l'orogénèse hercynienne à la base, et le cycle du Crétacé supérieur au sommet.

Le Complexe terminal est un ensemble assez peu homogène incluant des formations carbonatées du Crétacé supérieur et des épisodes détritiques du Tertiaire et principalement du Miocène.

Malheureusement les ressources utilisées par les deux systèmes aquifères sont en grande partie, non renouvelables, ce qui a conduit à la baisse de l'artésianisme, à la dégradation de leur qualité (salinisation) et au risque d'épuisement.

Diverses études ont également porté sur la qualité physicochimique, et parfois bactériologique, des eaux de ce système aquifère. Elles ont pu estimer leur potabilité, leur aptitude à l'irrigation, et par conséquent, leur impact sur la santé humaine et l'environnement. C'est ainsi que des propositions de traitements, adaptés aux paramètres de qualité à corriger, ont été effectuées (Achour et Youcef, 2001 ; Megdoud, 2003 ; Bouchahm et Achour, 2008).

L'objectif du présent ce travail est de donner un aperçu sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la nappe phréatique de la vallée de M'Zab cas de Ghardaïa (Bougemma) et Bounoura, avec une comparaison des eaux de la région de Laghouat et Ouargla, afin d'évaluer la potabilité de ces eaux et en vue de leurs utilisation dans l'irrigation.

Afin d'atteindre cet objectif escompté, ce travail a été réalisé en trois chapitres :

Le premier chapitre: Généralité sur la région d'étude

Il s'articule autour les caractéristiques naturelles de la région de Ghardaïa situation géographique, climatologie, géologique et hydrogéologique.

Le deuxième chapitre : Méthodes et matériels

Il consacré aux conditions et aux modalités d'échantillonnage, les techniques de mesure et d'analyse de nos échantillons.

Le troisième chapitre: Résultats et discussion

Il est réservé à la discussion des résultats obtenus par l'emploi de différentes méthode d'interprétation et de comparaison, dont l'objectif est la détermination des faciès chimiques des eaux, préciser l'origine de la minéralisation des eaux et l'appréciation de la qualité de ces eaux.

CHAPITRE I
GENERALITE SUR LA
REGION D'ETUDE

1.1. Présentation de la région de Ghardaïa

La wilaya de Ghardaia se situe au centre de la partie Nord de Sahara Septentrional. Elle est issue du découpage administratif du territoire de 1984. L'ensemble de la nouvelle wilaya dépendait de l'ancienne Wilaya de Laghouat. Il est composé des anciennes dairate de Ghardaia, Metlili et El-Ménéa.

La wilaya de Ghardaia est limitée (Fig.1):

- Au Nord par la wilaya de Laghouat (200 Km) ;
- Au Nord Est par la wilaya de Djelfa (300 Km) ;
- A l'Est par la wilaya de Ouargla (200 Km) ;
- Au Sud par la wilaya de Tamanrasset (1470 Km) ;
- Au Sud- Ouest par la wilaya d'Adrar (400 Km) ;
- A l'Ouest par la wilaya d'El-Bayadh (350 Km).

La population de la wilaya est estimée de 387 880 habitants, soit une densité de peuplement de 4,48 habitants au km². Pour une superficie de 86 560 km², la wilaya est constituée de 13 communes regroupées dans 9 daïras (D.P.A.T., 2009).

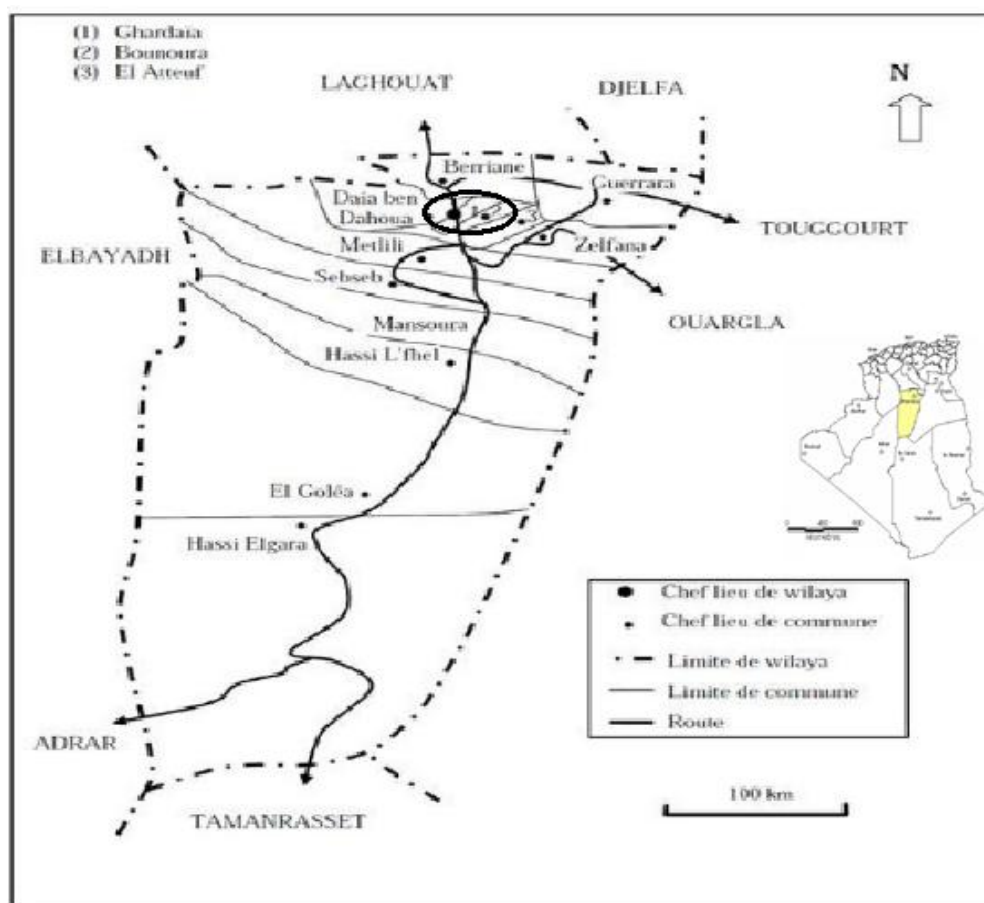


Figure 1 : Situation de la Wilaya de Ghardaïa (internet modifié)

1.2. Présentation de la vallée du M'Zab

La vallée du M'Zab, situé à 600 km au sud de la capitale est considérée comme l'une des grands oasis du Sahara algérien. Administrativement, elle fait partie de la willaya de Ghardaïa, regroupant trois chefs lieu de communes ; Ghardaïa chef-lieu de la willaya occupant l'amont et le centre de la vallée, Bounoura et Atteuf occupant la partie aval de la vallée (Achour, 2014).

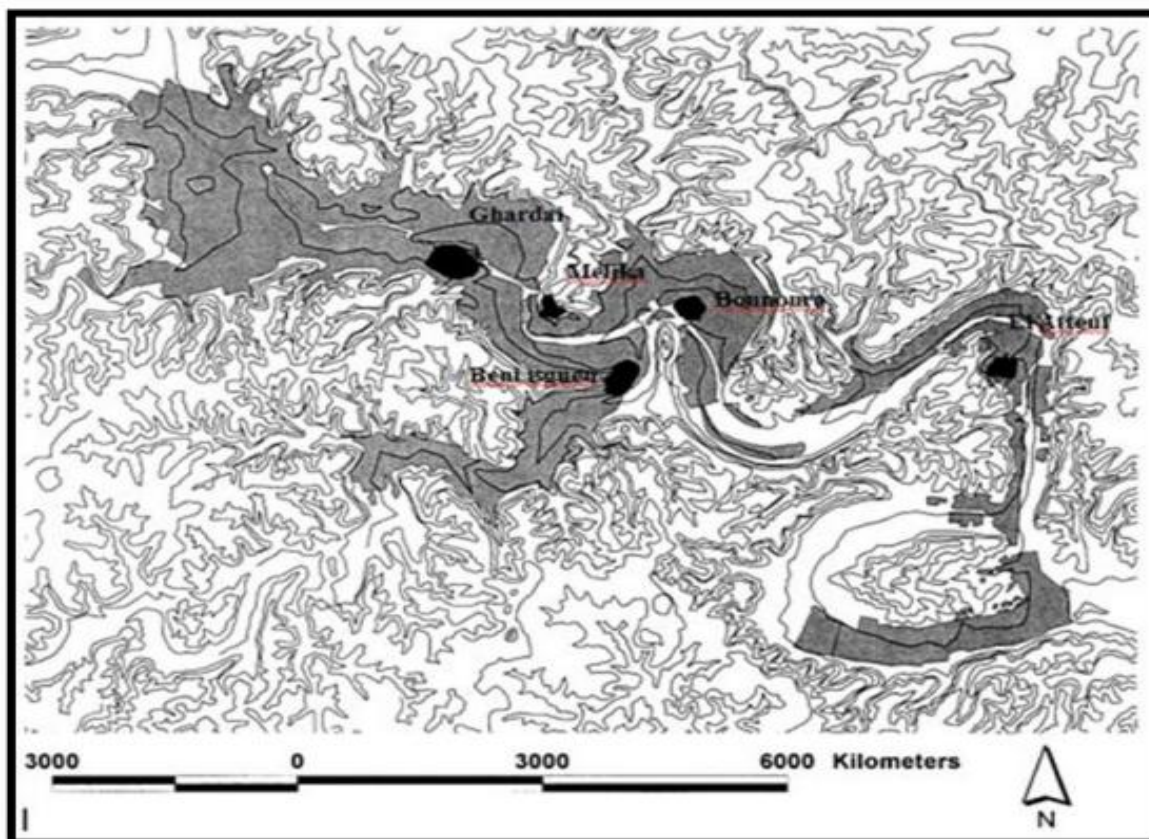


Figure 2 : Les limites de la vallée de l'oued M'Zab (ANRH)

Géographiquement la vallée du M'Zab est comprise entre 32°26' et 32°31' de latitude Nord et 3°37' et 3°46' de longitude Est. Elle est alignée approximativement NW-SE, en partant de Bouchen, zone de confluence de l'oued El Haimeur (Laaidira) avec l'oued de Touzouz, jusqu'à El Atteuf sur une longueur de 23,50 km. La largeur de la vallée varie entre 2,35 et 1,50 km en amont et diminue au fur et à mesure vers l'aval pour atteindre 0,55 km tout au sud de la ville d'El Atteuf.

Les altitude quant à elles sont relativement faibles, elles diminuent progressivement de l'amont vers l'aval, 514 à 508 mètre à Bouchen, 505 à 485 mètre au niveau de la ville de Ghardaïa, 455 à 450 mètre au niveau d'El Atteuf, et 435 mètre à Ahbas point le plus bas de l'oasis d'El Atteuf (Achour, 2014).

1.3. Etude Climatique

L'étude a pour but de déterminer les différents paramètres climatiques qui conditionnent l'écoulement superficiel et souterrain. Les paramètres étudiés sont : Les précipitations, la température, le vent, l'humidité et l'évaporation.

La région de Ghardaïa se situe dans le Sahara septentrional ce qui lui confère un climat saharien, caractérisé par deux saisons : une saison chaude et sèche (d'avril à septembre) et une autre tempérée (d'octobre à mars) et une grande différence entre les températures de l'été et de l'hiver (ANRH, 2011);

Pour cette étude, nous avons récoltés les données climatiques de la station de Noumérat (ONM-Ghardaïa), sur une série allant du 2000-2014.

La station est située près de l'aéroport de Ghardaïa ses coordonnées géographiques sont :

Tableau 1 : les coordonnées géographiques de la station de Noumérat

Station	Coordonnées		
	Latitude (N)	Longitude (E)	Altitude
Noumérat	32°40'	3°81'	450

1.3.1. Précipitations

Les précipitations constituent un facteur essentiel pour définir le climat régnant dans la région et pour l'analyse des ressources en eau.

La faiblesse et l'irrégularité des précipitations sont les principaux facteurs du climat saharien. La carte de la répartition spatiale des pluies (Fig.3), indique une diminution de la pluviométrie du Nord au Sud, J.Dubief à (1953) a localisé notre région entre l'isohyète 100 et 50 mm (Fig.3).

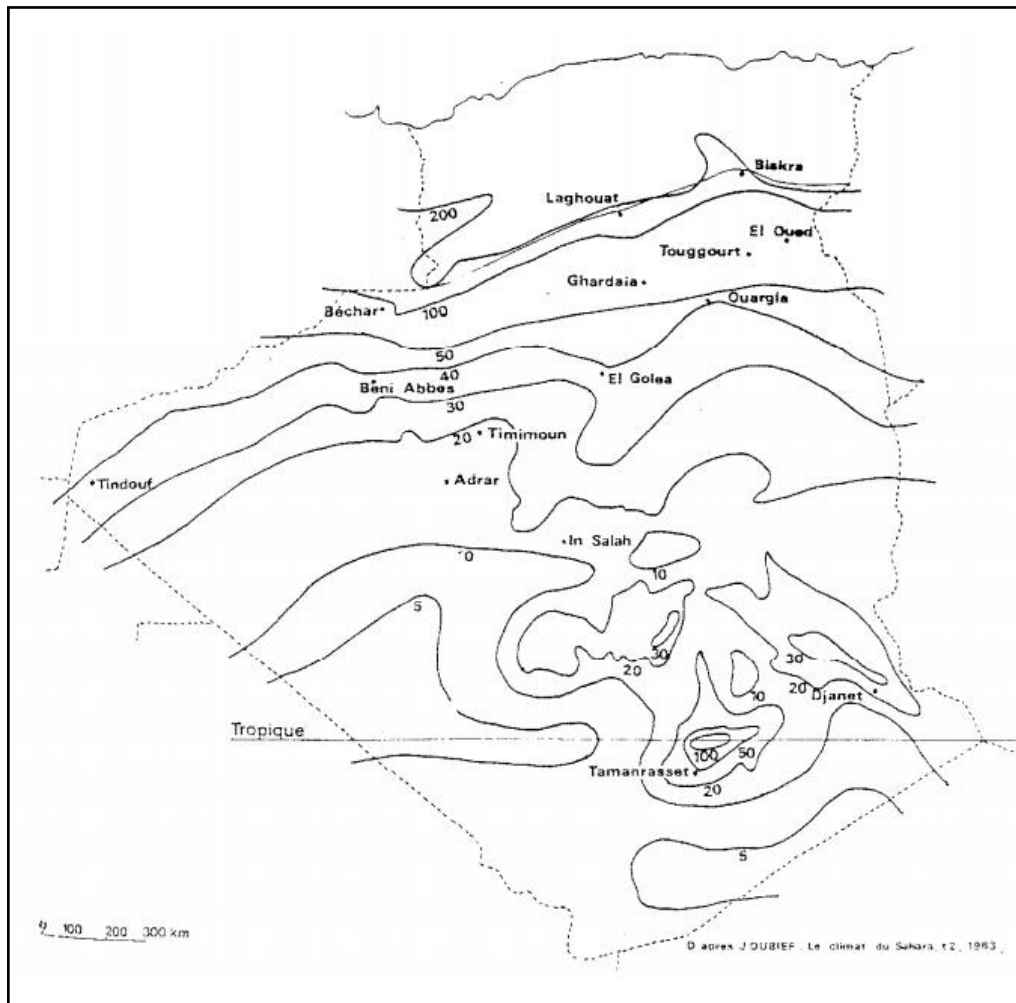


Figure 3 : La carte des isohyètes (J.Dubief, 1953)

1.3.1.1. Précipitations Annuelles

La pluviométrie observée à la station de Noumérat met en évidence l'importance des variations d'amplitude de la pluviométrie d'une année à l'autre.

La variation des précipitations annuelles durant la période d'observation montre l'écart important entre les valeurs extrême, signe d'une irrégularité.

Nous résumons dans le tableau 2 les principales caractéristiques des précipitations moyennes annuelles :

Tableau 2: Caractéristiques des Précipitations Moyennes Annuelles

	Valeurs
P_{moy} Annuelle (mm)	101,9
P_{Min} Annuelle (mm)	35,3
P_{Max} Annuelle (mm)	271.1

Nous remarquons que la précipitation maximale annuelle peut dépasser la moyenne annuelle, signe d'une très grande irrégularité et de grands écarts des précipitations.

1.3.1.2. Précipitations Mensuelles

La pluviométrie moyenne interannuelle 2000-2014 a été évaluée à 101.9 mm. Sa répartition mensuelle est donnée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3: Les précipitations moyennes mensuelles

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Ann
P Moy	17.39	12.53	12.60	6.45	11.90	1.80	13.78	6.59	2.88	6.52	2.51	7.03	101.9

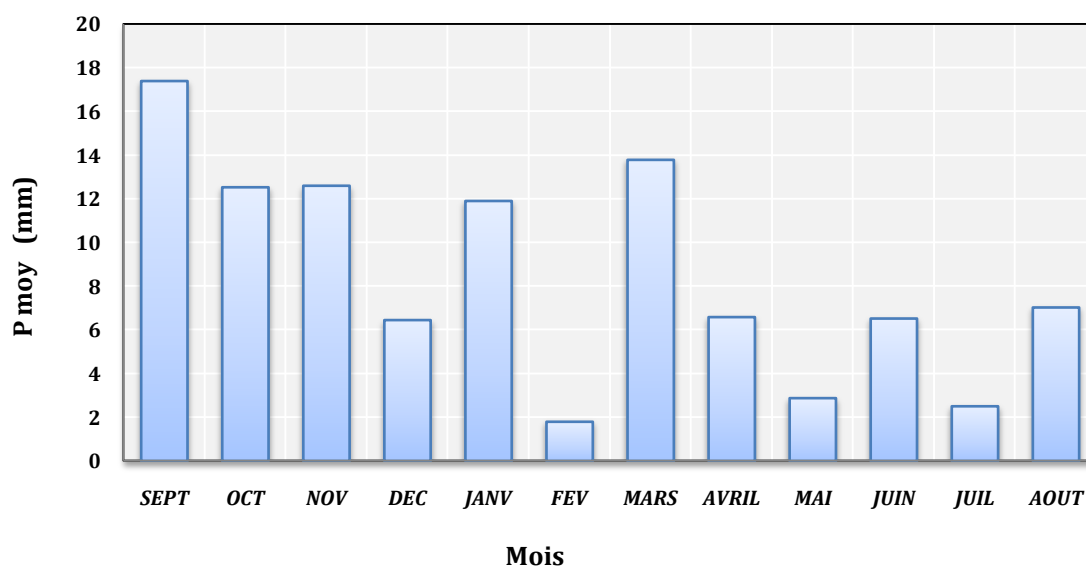


Figure 4 : Histogramme des précipitations moyenne mensuelle

L'analyse du tableau et de la figure met en évidence deux saisons bien marquées :

- ❖ Une saison humide allant de Septembre à Avril, avec quelques maxima remarquables en Septembre, Octobre, Novembre et Mars.
- ❖ Une saison sèche allant de Mai à Août, avec des minima remarquables en Mai et Juillet.

1.3.2. Température

1.3.2.1. Température Moyenne Annuelle

La valeur moyenne annuelle enregistrées pour la périodes considérée est 21,2°C°.

1.3.2.2. Température Moyenne Mensuelle

Le tableau ci-dessous récapitule les température moyenne mensuelle et saisonnière de la station de Ghardaïa.

Tableau 4 : Températures moyenne mensuelles en °C

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
T moy	27.3	22.0	15.7	11.3	10.4	12.2	16.4	20.3	24.7	29.4	33.2	31.8
T max	35.3	29.5	22.5	17.6	16.9	18.9	23.7	27.8	32.4	37.8	41.8	40.4
T min	22.9	17.9	11.4	7.2	6.1	7.6	11.3	14.9	19.2	24.1	28.2	27.3
Moy saisonniers	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
	21.67			11.29			20.45			31.47		

Du tableau ci-dessus il ressort que la période chaude s'étend du mois mai à octobre pendant lequel les température mensuelles sont supérieurs à la moyenne annuelle. La période froide commence du mois de novembre jusqu'au mois d'avril.

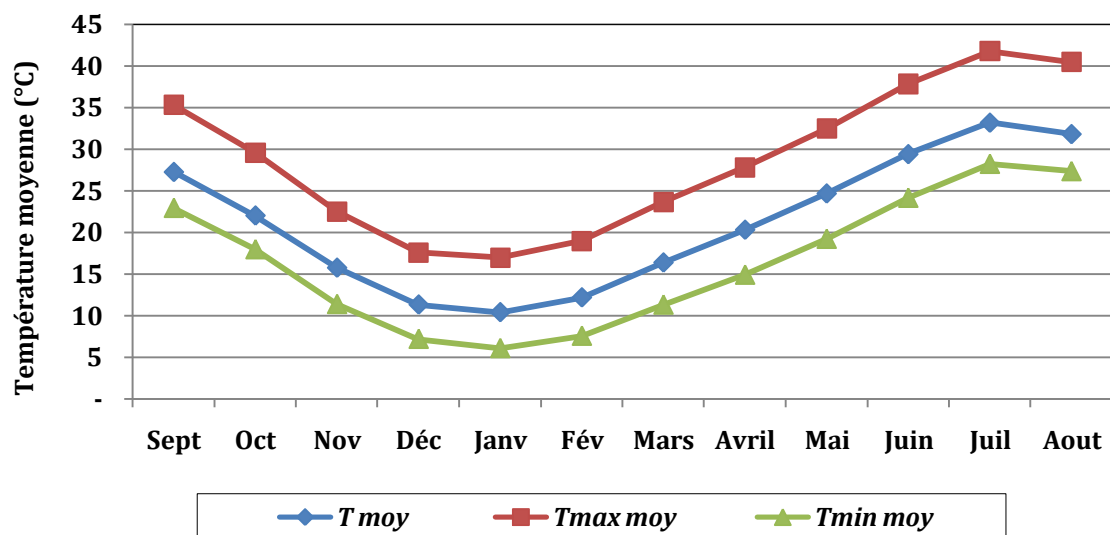


Figure 5: Les variations de la températures moyenne mensuelles

Comme le montre la figure 6, la température moyenne la plus basse apparaît au mois de janvier avec 10,4 °C, alors que la plus élevée se présente en juillet où elle atteint 33,2 °C.

Les températures minimales constatées sont de 6,1°C en hiver et 28,2 °C en été, et les températures maximales sont de 16,9 °C en hiver et de 41,8°C en été.

1.3.3. L'humidité

L'humidité relative de l'air est le rapport, exprimé en pourcentage, de la tension de vapeur d'eau à la tension de vapeur d'eau saturante. C'est un élément atmosphérique très important puisqu'il donne le taux de condensation dans l'atmosphère.

Les données de la station météorologique de Ghardaïa donnent une moyenne annuelle de l'ordre de 36,6%.

Les moyennes mensuelles varient de 42,3% et 53,7 en hiver et de 20,8 à 24,4% en été.

Tableau 5: L'humidité relative moyenne mensuelle et annuelle

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuelle
Moy(mm)	34.5	41.6	48.2	53.7	51.9	42.3	36.9	32.3	28.1	24.3	20.8	24.4	
Moy saisonniers	Automne			Hiver			Printemps			Eté			36.6
	41.4			49.3			32.4			23.1			

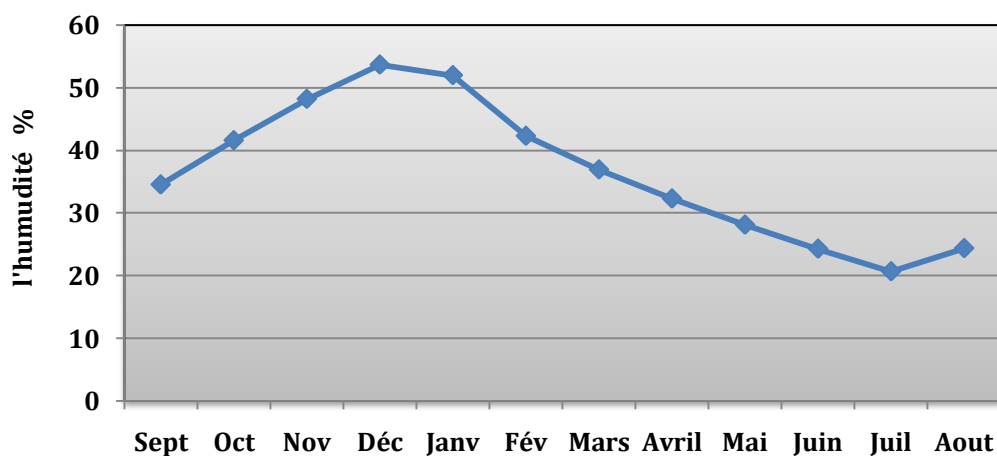


Figure 6: La variation de l'humidité moyenne mensuelles

On remarque que l'humidité relative dépasse rarement 50% exceptionnellement dans les mois de l'hiver (novembre, décembre, janvier) mais elle atteint des valeurs inférieures à 40% pendant la moitié de l'année (de mois de Mars jusqu'au mois de septembre) avec un minimum de 20% au mois de juillet.

1.3.4. Les vents

Le vent est l'un des facteurs caractéristiques du climat. Il se caractérise par sa vitesse et par sa direction. La figure 7 présente la rose de vent observés entre 2004-2014

Les vents d'hiver sont froids, secs et humides de direction préférentielle NW et WNW, les vents d'été sont secs et chauds de direction préférentielle NE, les siroccos soufflent en moyenne 11 jours par an pendant la période qui va du mois de mai au mois septembre. Avec un pourcentage de vents calmes de 25,25 % .

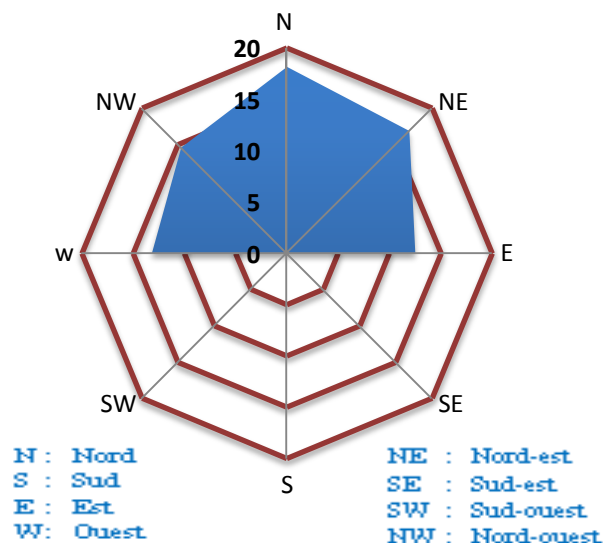


Figure 7 : Rose des vents de Ghardaïa

La vitesse moyenne annuelle des vents est de 12,3 m/s le maximum est de l'ordre de 16 m/s.

1.3.5. Evaporation

l'évaporation est un élément climatique important à considérer, compte tenu de son rôle dans des divers processus hydro-climatique, notamment son influence sur les précipitations. Elle est exprimée en millimètres d'eau évaporée.

Dans le tableau ci-dessous, sont figurées les valeurs moyennes mensuelles de la station de Ghardaïa pour la période de 2000/14.

Tableau 6: Evaporation moyenne Mensuelle

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juilly	Août	Ann
Evapo (mm)	223.4	139.9	83.9	60.7	63.8	86.2	141.4	192.5	257.2	295.2	343.1	297.9	2185.2

On constate généralement des valeurs élevées (257,2 - 343,1) pendant les périodes chaudes (juin, juillet et août). Les valeurs les moins élevées sont enregistrées au cours du mois de janvier.

L'évaporation annuelle à la station de Ghardaïa est de l'ordre de 2185,2 mm.

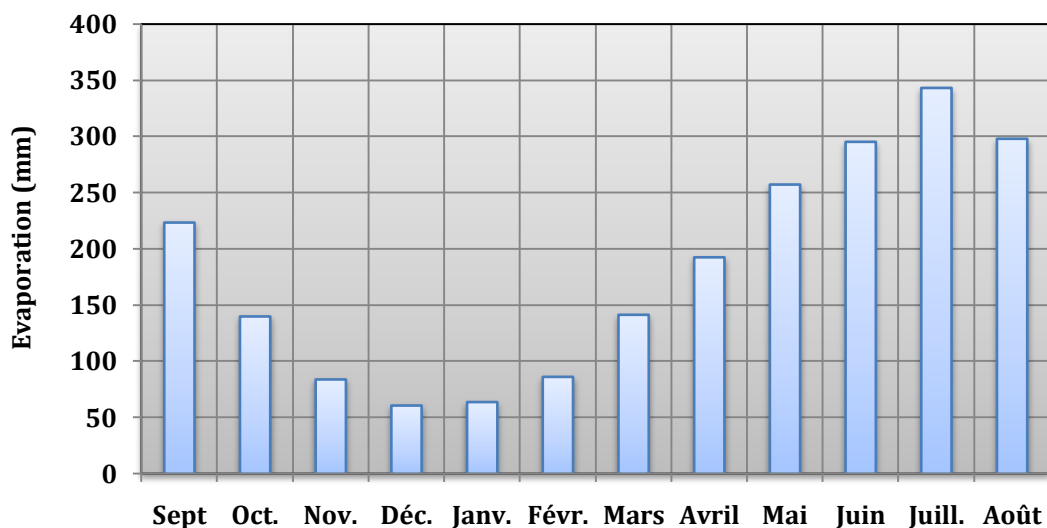


Figure 8 : L'évaporation moyenne mensuelles

1.3.6. Synthèse Climatique

La température et les précipitations représentent les facteurs les plus importants pour caractériser le climat d'une région donnée. Les périodes humides et sèches sont mises en évidence grâce au diagramme ombrothermique de Gauss alors que l'étage bioclimatique est déterminé par le climagramme pluviométrique d'Emberger.

1.3.6.1. Diagramme Ombrothermique De Gausson

Afin de préciser les périodes sèches et humides durant l'année, nous avons établi le diagramme ombrothermique qui caractérise les interactions entre les précipitations moyennes mensuelles et les températures moyennes mensuelles.

Selon le diagramme ombrothermique est représenté par la figure 9, nous remarquons que la période sèche s'étale sur la totalité de l'année, elle se distingue clairement pendant les mois de Juin, Juillet et Août.

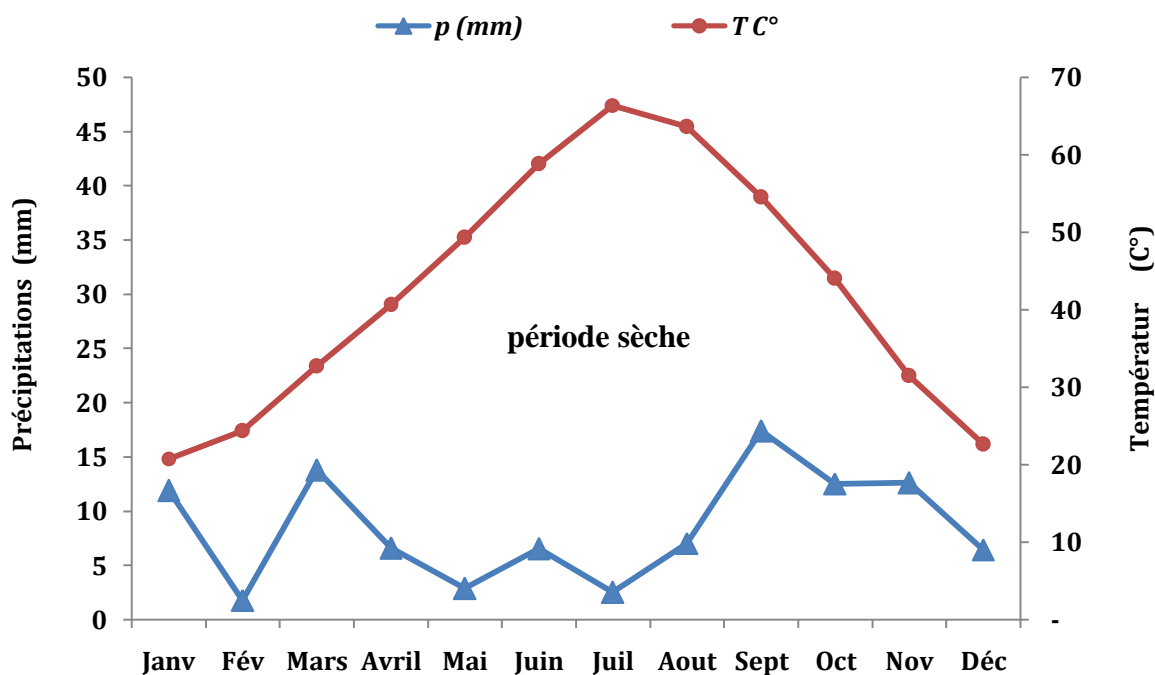


Figure 9: Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de la région de Ghardaïa

1.3.6.2. Climagramme D'Emberger

Pour l'étude du climat méditerranéen, Emberger en 1939 l'emploi d'un climagramme synthétisant les différents types de climat aux quel sont associés des groupes végétaux à aptitude écologique, appelés étages climatiques.

Sur l'axe des ordonnées est porté la valeur du quotient pluviométrique (Q_2), qui se calcul par la formule suivant :

$$Q_2 = \frac{P}{\left(\frac{M+m}{2}\right) \times (M-m)} \times 1000$$

Avec ;

Q_2 : Quotient thermique d'EMBERGER.

P : Pluviométrie moyenne annuelle en mm.

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud en °C.

m : Moyenne des minimas du mois le plus froid en °C.

la formule du Q_2 du climagramme a été, par la suite, améliorée par SAUVAGE en 1963, puis par STEWART en 1969, elle est la plus adaptée en l'Algérie (Achour, 2014) ;

$$Q_2 = \frac{3,43.P}{(M-m)}$$

Une fois que cette valeur du quotient est portée sur le climagramme d'Emberger, elle situe la région d'étude dans l'étage bioclimatique saharien hiver chaud et son quotient pluviométrique (Q_2) est de 9,8 (Fig.10).

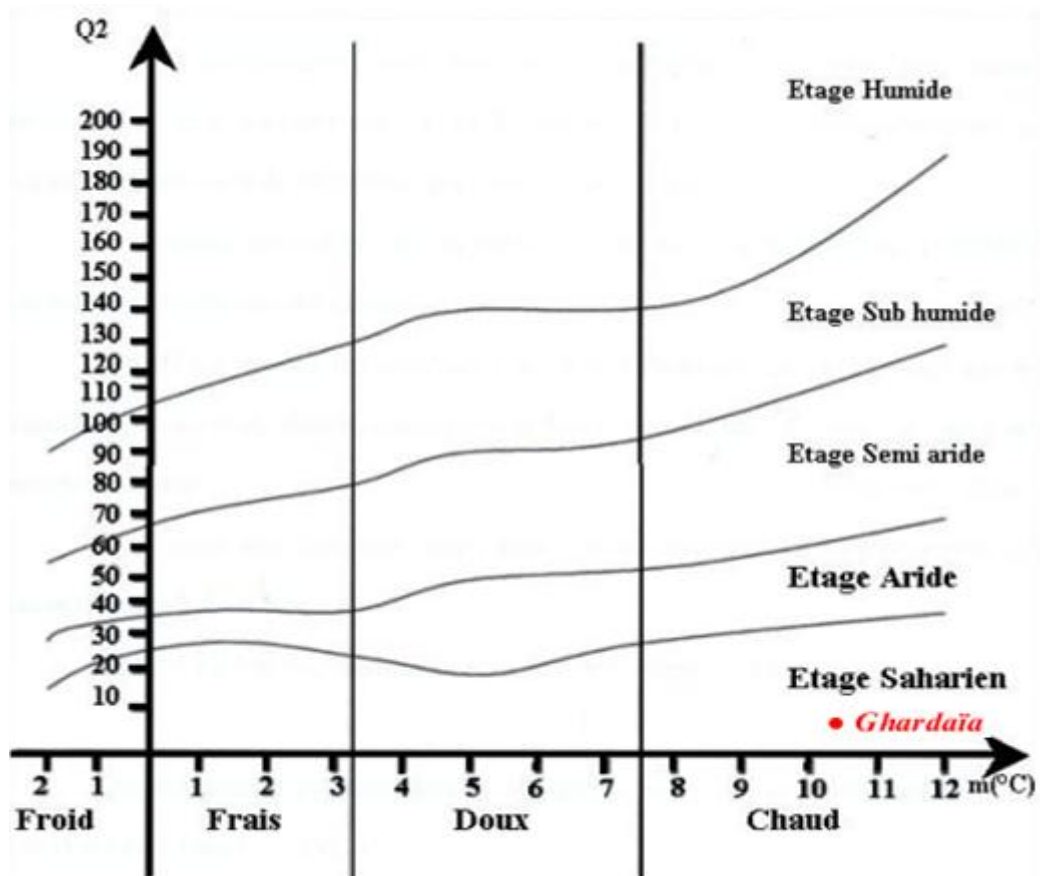


Figure 10: Etage bioclimatique de Ghardaïa selon climagramme d'EMBERGER

1.4. Identification Géologie

1.4.1. Introduction

Le rôle de la géologie est primordial en hydrogéologie, il permet la description lithologique et stratigraphique des formations et d'identifier celles susceptibles d'être aquifères. Dans ce chapitre, nous aborderons les aspects géologiques à l'échelle générale de la forme saharienne.

1.4.2. Le bassin sédimentaire

Le M'Zab fait partie du bassin mésozoïque saharien, ce bassin, connu aussi sous le nom de « province triasique saharienne », est un vaste domaine de 400000 Km² a une structure complexe (Busson et al (1970) cité par Nedjari et al, 2001). Il est conventionnellement limité vers le Nord par la flexure saharienne, vers le Nord-Est par les accidents de la Djefara maritime et interrompu vers le Sud et vers l'Ouest par des limites d'érosion (Busson, 1989).

Durant tout le Mésozoïque, le M'Zab a joué le rôle d'un glaciais, le môle résistant de Hassi R'mel situé au Nord-Ouest de la région de Ghardaïa inflige une légère flexure à ce glaciais: la flexure du M'Zab (Benzayet, 2010).

1.4.3. Cadre géologique de la dorsale du M'Zab

La dorsale du M'Zab correspond aux affleurements des formations du Crétacé supérieur (Cénomano-turonien et sénonien), dessinant ainsi une lanière allongée sur une direction subméridienne laquelle est entourée par de dépôt continental d'âge Mio-pliocène. les immenses dunes de l'Erg occidental recouvrent en grande partie la dorsale au Sud- Ouest.

Ces assises carbonatées et marneuses du Crétacé supérieur s'épaississent et s'approfondissent progressivement vers l'Est. et se couvrent par des couches plus récentes d'âge Tertiaire (Mio-pliocène et Pontien) (Fig.11) (Achour, 2014).

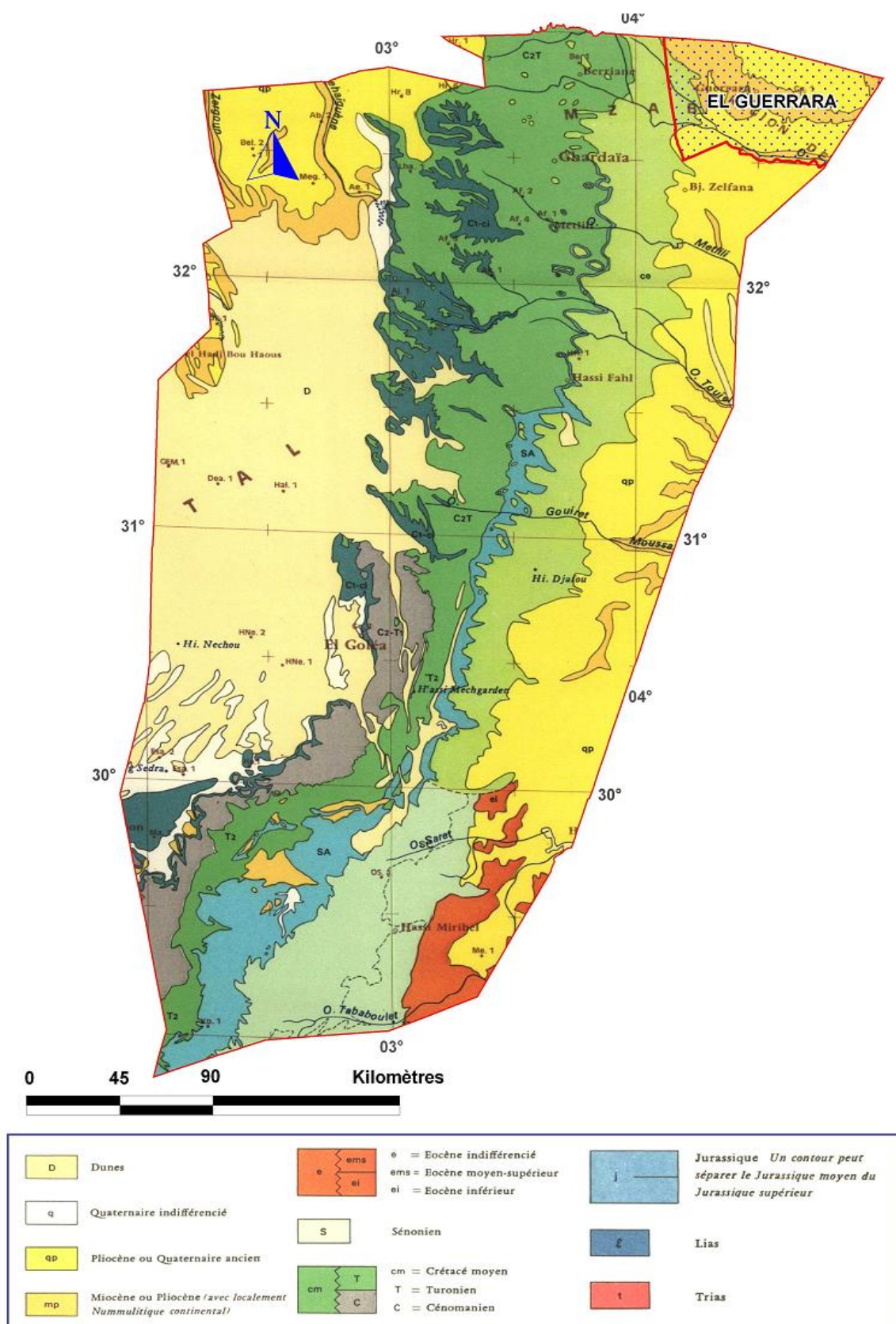


Figure 11 : la carte géologique de la willaya de Ghardaïa (ANRH, 2010)

1.4.4. La Lithostratigraphie

1.4.4.1. Le Barrémien

Cet étage est caractérisé par un épandage généralisé des formations détritiques du Crétacé inférieur jusque dans le Bas-Sahara. Ces formations se présentent sous forme de grès fins ou grossiers et d'argiles. Les intercalations carbonatées sont peu nombreuses.

1.4.4.2. L'Aptien

L'Aptien est un bon repère lithologique dans les sondages. Il est représenté dans la grande partie du Bas-Sahara, par 20 à 30 m en moyenne, de dolomies alternant avec des lits d'anhydrite et d'argiles.

1.4.4.3. L'Albien

Cet étage regroupe la masse des sables et argiles comprise entre la barre aptienne et l'horizon argileux sous-jacent attribué au Cénomaniens.

1.4.4.4. Le Cénomaniens

Le Cénomaniens est formé par une alternance de bancs d'argile de dolomie, de calcaire dolomitique, et d'évaporites (gypse) avec une nette dominance des argiles et des évaporites. L'épaisseur est de l'ordre de 200 mètres.

1.4.4.5. Le Turonien

Les formations carbonatées du Turonien affleurent sur la dorsale du Mzab. Elles plongent vers l'Est sous les dunes de l'erg oriental où elles sont recouvertes par les formations du Mio- Pliocène. Le Turonien peut être calco-marneux, mais il est essentiellement calcaire sur le Mzab.

1.4.4.6. Le Sénonien

Représenté généralement par une série argilo-gypseuse à la base et de calcaire dolomitique au sommet.

1.4.4.7. L'Eocène

d'une épaisseur de 26m au nord de Hassi R'mel, caractérisé par des calcaires blancs à silex et a passées plastiques azoïques.

1.4.4.8. Le Quaternaire

Le quaternaire apparaît surtout sous forme de dépôts alluvionnaires au niveau des lits d'oued et dépressions fermées (Daïas) (Achour, 2014).

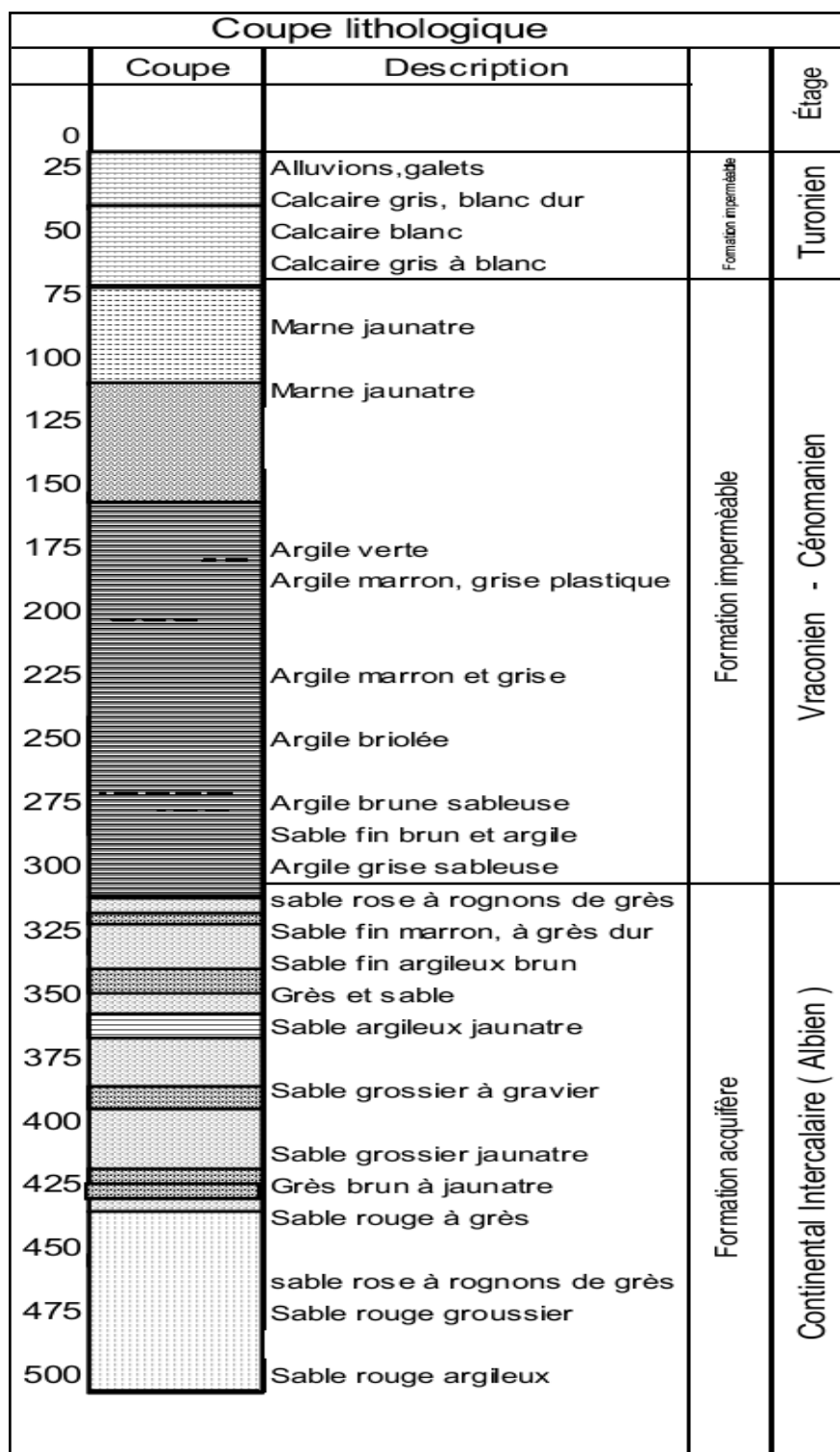


Figure 12 : La coupe lithologique de forage CNAS – MOUDJAHIDINE commune de Ghardaïa (ANRH, 2010)

Description lithologique			
	Coupe	Description	Étage
25		Alluvions quaternaire	Quaternaire
50		Calcaire blanc	Turonien
75		Marne jaunâtre	
100		Argile verdâtre grise	
125		Argile verdâtre	Cénomannien
150		Argile verdâtre grise	
175		Argile marron et grise	
200		Argile marron, grise plastique	
225		Argile bariolée sableuse	
250		Argile brune sableuse	
275		Sable fin argileux brun	
300		Sable fin marron, à grès dur	
325		Sable brun gréseux	
350		Sable fin argileux brun	
375		Sable argileux jaunâtre	
400		Sable jaunâtre	
425		Sable fin argileux brun	
450		Sable argileux rouge	
475		Argile rouge	
500			

Figure 13 : La coupe lithologique de forage Ahbas Atteuf (ANRH, 2009)

1.4.5. Structure de la dorsale

La dorsale du M'Zab constituée par des couches argilo-marneuses d'âge Cénomaniennes surmontées par une importante couche de calcaires dolomitiques massifs (Fig.14), correspond à un pli anticlinal d'un très grand rayon de courbure. Elle consiste selon G.B.M. Flamond (J. Fabre, 1976) à une ondulation de quelques mètres d'amplitude et de 50 à 100 mètres de large, imitant en surface l'écho des rejeux des assises de la dorsale qui présentent des pentages modestes (30° à 20°) vers l'Est, avec accidents du socle primaire fracturé du bassin Sahara lors de la phase de l'orogénèse atlasique (centre du bassin) (Fig.14) ,(Achour, 2014).

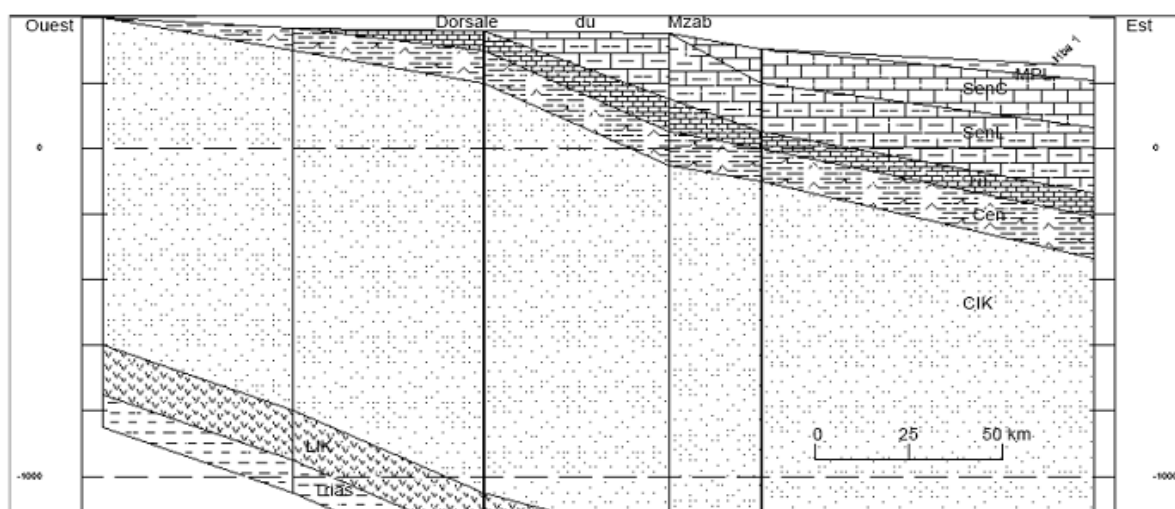


Figure 14 : Coupe Ouest-est à travers la dorsale du M'Zab (Achour, 2014)

1.4.6. La tectonique

Durant le secondaire, la partie centrale du Sahara septentrional a subi des mouvements verticaux d'ensemble qui se sont traduits par un effondrement progressif. Au début du Crétacé, cet affaissement est comblé par un dépôt lagunaire accusant au centre de la cuvette des épaisseurs considérables, le mouvement de descente se poursuit très lentement pendant le Turonien et une partie du Sénonien les deux étages présentent des épaisseurs et des faciès peu variables sur toute l'étendue de la cuvette saharienne.

A l'Eocène moyen réapparaît un dépôt lagunaire qui correspond au comblement définitif de la cuvette saharienne, par la suite, les mouvements dans cette dernière se sont traduits par : Un exhaussement d'ensemble suivi d'un mouvement de descente qui a débuté au Miocène et qui dure encore actuellement correspondant à la sédimentation continentale du Mio-Pliocène et du Quaternaire (Boudjema, 1987).

Selon O.R.G.M. (1999) la structure géologique de la région présente une tectonique étagée qui se traduit par :

- l'étage de plissement modéré des différentes roches du Trias à l'Eocène ;
- l'étage subtabulaire des roches principalement meubles de l'Oligocène au Quaternaire (Benzayet, 2010).

1.5. Identification Hydrogéologie

Les principales ressources en eau de la wilaya Ghardaïa sont d'origine souterraine. Elles sont contenues dans deux types d'aquifères ; la nappe superficielle (la nappe phréatique), et la nappe profonde captive du Continental Intercalaire.

ERE	Étage		Lithologie	Nature Hydrogéologique
	Quaternaire alluvionnaire		sables et d'alluvions	Nappe superficielle
Secondaire	Crétacé	Sénonien	Calcaire	Substratum
			Lagunaire	
		Turonien	calcaire	Nappe des calcaires
		Cénomaniens	Argiles, marnes	Substratum
		Albo-Aptien	grès, sables	Nappe albienne (Continental Intercalaire).
		Barrémien	grès fins ou grossiers et d'argiles	

Figure 15 : Synthèse hydrogéologique régionale des différents aquifères (Miourigh, 2011)

1.5.1. La nappe phréatique

La nappe phréatique de la vallée du M'Zab constitue la principale ressource d'irrigation pour la palmeraie et de l'eau potable prélevée généralement de l'amont.

Dans la région du M'Zab, deux types d'aquifère superficiel sont connus : l'un est alluvionnaire et l'autre est carbonaté fissuré, leur mur commun est l'argile cénomaniennne.

Les crues des oueds jouent un rôle primordial dans le régime des puits de la nappe phréatique . Lors de chaque crue, le niveau de l'eau s'élève dans les puits. Il s'abaisse ensuite plus ou moins lentement, pour arriver à son minimum. Parfois même, l'eau disparaît complètement (Babker, 2010). Elle est alimentée aussi par les eaux de pluies torrentielles et avec un petit apport d'irrigation par les eaux de la nappe albienne (Miourigh, 2011).

a) L'aquifère alluvionnaire quaternaire

C'est le remplissage de lit des oueds qui repose en général sur la barre carbonatée Céno-mano-turonienne avant d'atteindre les argiles, son épaisseur varie de 25 à 45m . Il est constitué essentiellement d'alluvions avec du sable fin et grossier et des poudingues, ce qui lui donne une porosité et une perméabilité d'interstice qui favorise l'infiltration des eaux superficielles et l'écoulement souterrain;

b) L'aquifère Céno-mano-turonien

Sa nature lithologique est de calcaire dolomitique massif d'une épaisseur de 40 à 100 m, grâce à sa perméabilité de fissure, il reçoit les eaux provenant de la surface directement ou par l'intermédiaire de l'aquifère alluvionnaire (Dedjell, Bendrissou, 2011).

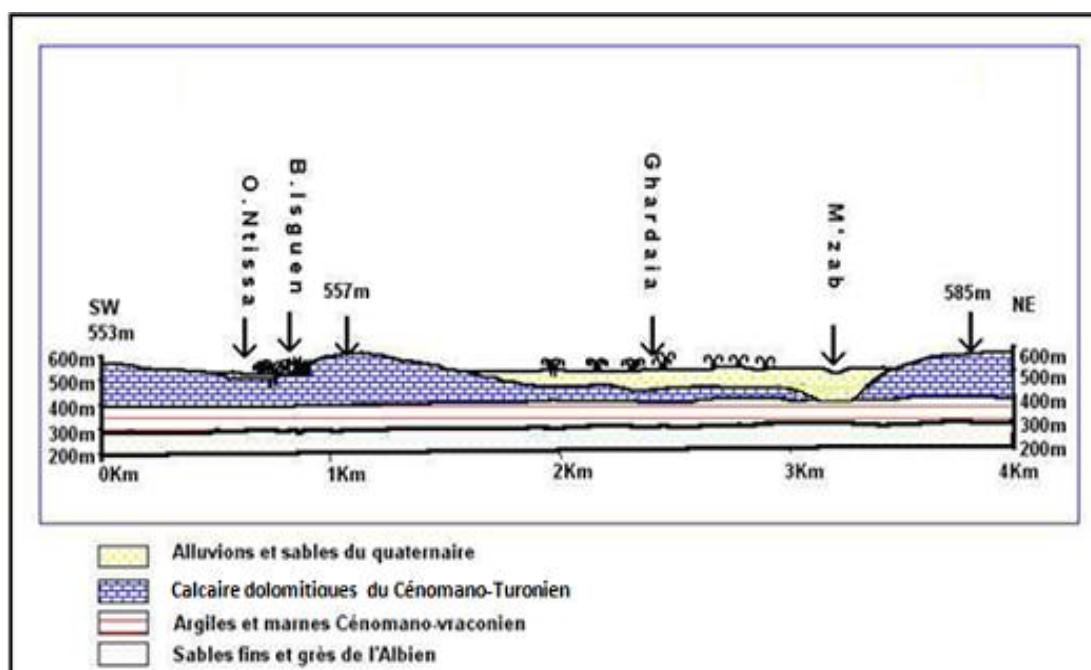


Figure 16 : Coupe géologique schématique de la vallée du M'Zab (ANRH, 2011)

1.5.2. Piézométrie de la nappe phréatique

La carte piézométrique de la vallée du M'Zab montre un écoulement général des eaux de la nappe du Nord-Ouest vers le Sud-Est le long du lit de l'oued. Il est identique aux écoulements de surface. D'une piézométrie de 500 m à Bouchen en amont, elle s'abaisse progressivement vers le Sud-Est pour atteindre la cote 430 m en aval au niveau d'El Atteuf, ce qui représente une pente d'environ 2,5 m/Km. le gradient hydraulique est de 2,5‰ en amont et de 3,5 ‰ en aval (**Fig.17**) (Achour, Bensaha, 2010).

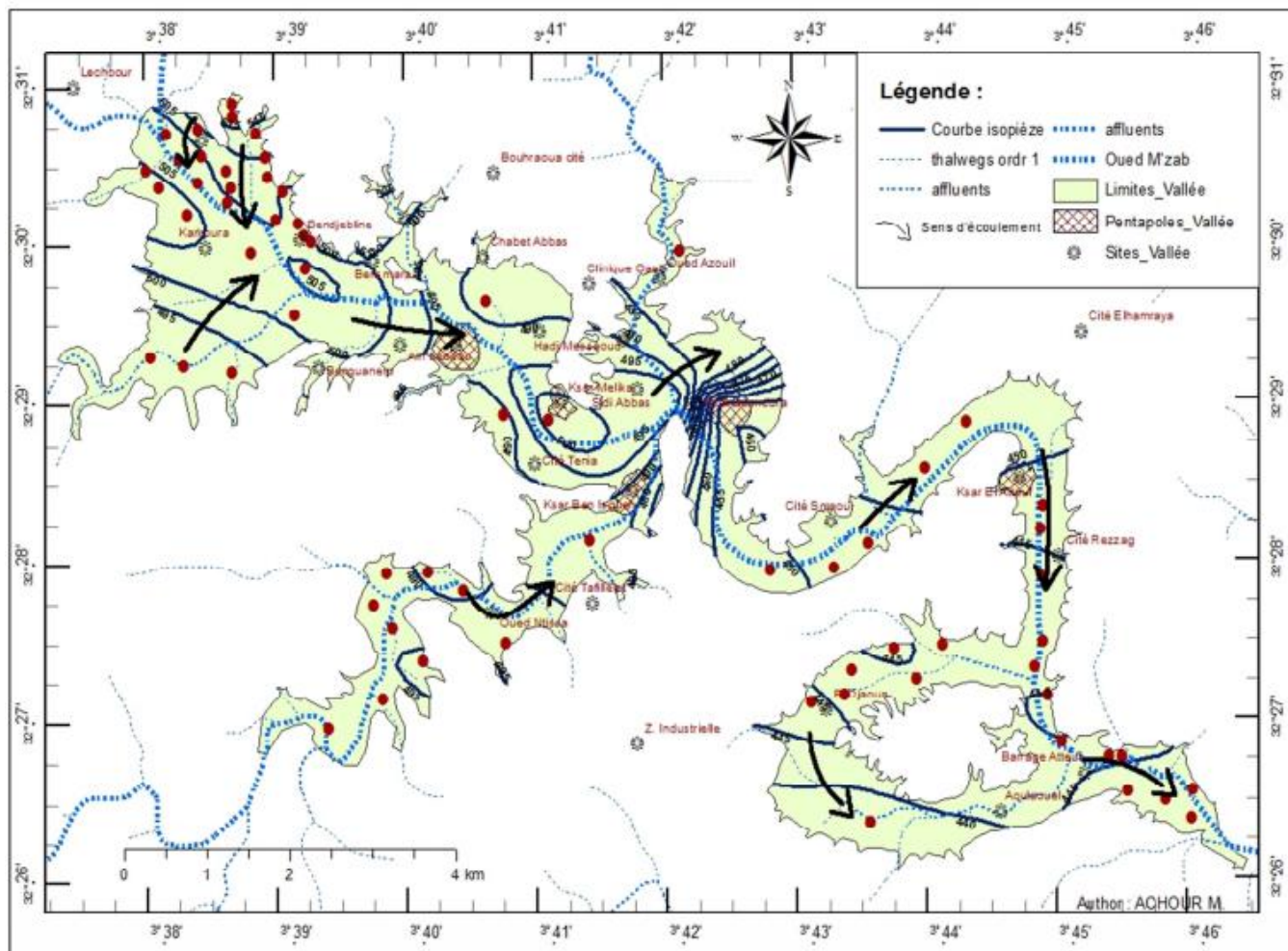


Figure 17 : Carte piézométrique de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab (Avril-mai 2011)
(Achour, 2014)

1.5.3. Exploitation de la nappe phréatique

Environ 5506 puits ont été creusés dans la wilaya de Ghardaïa à utilisation temporaire et permanente, les profondeurs varient de 15 à 40 m. Le débit mobilisé est de l'ordre de 5008 l/s soit 50% à utilisation permanente (c'est-à-dire 2571 l/s) dont 257 l/s destiné à l' AEP et 2314 l/s destiné à l'irrigation (Miourigh, 2011).

CHAPITRE II

MATERIELS ET METHODES

2.1. Introduction

Avant de traiter et discuter les différents résultats d'analyse des données obtenus dans les eaux de la nappe phréatique de la région de la vallée de M'Zab (Ghardaïa-Bounoura) nous jugeons utile de présenter les conditions et le mode d'échantillonnage, ainsi que les techniques de mesure et d'analyse des échantillons.

2.2. Prélèvement et conservation des échantillons

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modification de ses caractéristiques physico-chimique, raison pour laquelle le préleveur doit avoir une connaissance précise des conditions du prélèvement très importantes pour la qualité des résultats des analyses.

2.2.1. Localisation et caractéristiques des sites de prélèvement

Dans le but d'apprécier les caractéristiques physico-chimiques des eaux phréatiques et de pouvoir évaluer la qualité de ces eaux, Treize (13) puits ont été sélectionnés selon leur importance d'utilisation, et d'après le sens d'écoulement de l'oued, 5 puits de la commune de Ghardaïa et 8 puits de la commune de Bounoura (Fig.18), dont les coordonnées ont été déterminées à l'aide d'un GPS (Annexe 1).

2.2.2. Stratégie d'échantillonnage

Les échantillons ont été prélevés jusqu'à débordement dans des flacons en polyéthylène, préalablement rincés avec de l'eau du puits lui-même, puis bouchonnés sans laisser de bulles d'air. Les flacons doivent être clairement identifiés à l'aide d'étiquettes indiquant le numéro, la date et l'heure de l'échantillon. Ils ont été transportés au laboratoire avec conservation à basse température 4 °C (J. Rodier, 1996).



Figure 18: Localisation des points de prélèvements (Google earth)

2.3. Méthode d'analyse au laboratoire

Les mesures physico-chimiques et les analyses chimiques sont effectuées au niveau du laboratoire de l'ADE, unité de Ghardaïa et au laboratoire hydraulique de l'université de Ghardaïa.

2.3.1. Les paramètres physiques

2.3.1.1. Potentiel Hydrogène et Température

Les mesure du pH et la température ont été faite à l'aide d'un appareil multi- paramètre de marque (*Adwa*).

2.3.1.2. La conductivité

La conductivité électrique a été mesurée au laboratoire à l'aide d'un Conductivimètre de marque *JENWAY*, et ramené à la température de 25°C. L'unité de conductivité est exprimée par le micro-Siemens par mètre ($\mu\text{S/m}$).

2.3.2. Les paramètres chimiques

Les paramètres à étudier sont les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+) et les anions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_2^- , NO_3^- , PO_3^-), par différents méthodes comme suit :

2.3.2.1. Par titrimétrie

Les Chlorures, les bicarbonates, et le calcium ont été dosés par titrimétrie (Rodier, 2009).

- a) Les chlorures Cl^- , selon la méthode de MOHR (Rodier, 2009), basée sur le titrage d'un volume d'eau avec une solution AgNO_3 concentrée en présence de l'indicateur K_2CrO_4 , jusqu'au virage de la coloration du jaune au rouge brique et le début du dépôt d'un précipité rouge.
- b) Le calcium Ca^{2+} , par ajout d'un volume de solution d'hydroxyde de sodium (NaOH), avec une pincée de calcéine carboxylique (HSN) comme indicateur, puis titrage avec une solution d'EDTA jusqu'au virage de la coloration vers le bleu.
- c) Bicarbonate HCO_3^- , par neutralisation d'un certain volume d'eau par acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré (Rodier, 1996).

2.3.2.2. Par complexométrie

La dureté totale a été déterminée par complexométrie, en utilisant l'EDTA magnésien comme réactif et le noir Eriochrome comme indicateur coloré. Ce dosage représente la mesure de la dureté de l'eau (TH) en degré français avec :

$$\text{TH (°F)} = [\text{Ca}^{2+} (\text{még/l}) + \text{Mg}^{2+} (\text{még/l})] \times 5, \text{ et par conséquent : } \text{Mg}^{2+} = \text{TH} - \text{Ca}^{2+}.$$

2.3.2.3. Par gravimétrie

Les ions SO_4^{2-} sont précipités à l'état de sulfate de baryum et évalués par gravimétrie. (Rodier, 1996).

2.3.2.4. Par photométrie de flamme

Le sodium Na^+ , et le potassium K^+ : sont analysés par un photomètre à flamme, de marque JENWAY (Fig.19).

2.3.2.5. Par spectrophotométrie

Les nitrates , les nitrites, l'ammonium, l'ortho-phosphate et le fer total ont été dosés par un photomètre UV 440µm (Fig.20):

- a) Nitrates : se fait par colorimétrie dans un photomètre UV 440 µm avec le réactif sulfophérique (Rodier, 2005).
- b) Phosphate : en milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les ortho phosphates donnent in complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleu susceptible d'un dosage spectrométrique (Rodier, 1996).
- c) L'ammonium : le compose bleu formé par la réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitropentacyanoferrate (III) de sodium (Rodier, 1996).
- d) Nitrites : la réaction des ions nitrites présente dans une prise d'essai à pH 1.9 avec les réactif amino-4 benzène sulfonamide en présence d'acide ortho phosphorique pour forme un sel diazoïque qui forme un complexe de coloration rose avec le dichlor-hydrate de N-(naphtyl-1)diamino-1.2éthane mesurage de l'absorbance à 540 nm (Rodier, 1996).



Figure 19 : Spectromètre à flamme (JENWAY)



Figure 20 : Spectrophotomètre UV 440µm

2.4. Outils informatiques

Les programmes informatiques utilisés dans l'interprétation des résultats d'analyses sont :

2.4.1. Logiciel d'Hydrochimie d'Avignon (L.H.A.)

Nous avons utilisé le logiciel d'hydrochimie d'Avignon (version 4, 2008) (Fig.21) qui nous permet de calculer la balance ionique, classer les eaux (faciès chimique, classe d'irrigation) et de construire en particulier les différents diagrammes (Piper, Schoeller-Bercaloff et le diagramme de Riverside).

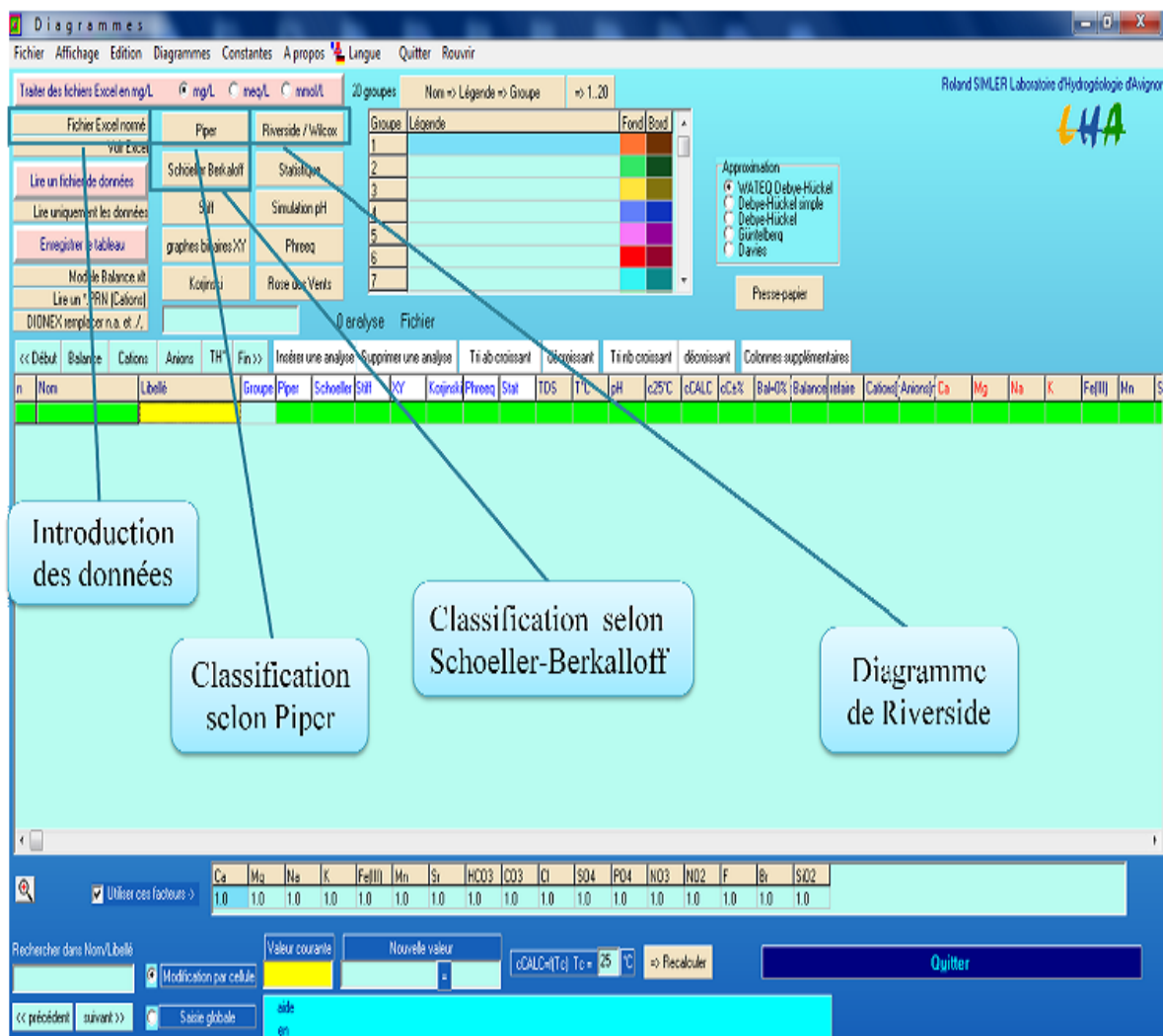


Figure 21: Représentation de l'interface du logiciel d'hydrochimie de l'interface du logiciel d'hydrochimie

CHAPITRE III

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Introduction

La chimie de l'eau est souvent influencée par l'effet de la dissolution des formations géologiques, les rejets industriels et l'activité agricole. Les caractéristiques chimiques de l'eau ont un impact déterminant non seulement au niveau de la santé publique et de la potabilité de l'eau mais aussi au niveau de certains secteurs importants comme l'agriculture qui consomme le plus d'eau au Sahara et en particulier dans la vallée du M'Zab.

Quand les eaux souterraines représentant la seule ressource qui répond aux besoins d'irrigation, il est nécessaire d'étudier la qualité de ces eaux et de les protéger contre tout risque de contamination et de dégradation.

Afin de mieux caractériser les eaux prélevées au niveau des puits de la vallée de M'Zab (Ghardaïa et Bounoura), nous présentons dans la première partie les résultats d'analyses des paramètres de pollution que nous avons effectués sous forme des graphes, après nous avons fait une comparaison de nos résultats obtenus sur la région étudiée Ghardaïa avec des résultats qui ont été effectués sur les régions de Laghouat et Ouargla.

Ces résultats sont extraient selon des mémoires consultés. Pour les eaux phréatiques de Laghouat mémoire d'Ingénieur d'Etat (**kouidri. A, 2005**), l'étude a été réalisée sur 6 puits, et pour les eaux d'Ouargla mémoire de magister (**Bellaoueur. A, 2008**) pour 7 puits étudiés sur la nappe phréatique.

Ensuite nous avons déterminé:

- La classification des eaux dans les trois régions selon Piper et Schoeller-Berkaloff;
- L'évaluation de la potabilité de l'eau;
- L'évaluation de la qualité de l'eau d'irrigation.

3.2. Paramètres de pollution

3.2.1. Nitrates

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote, et représentent la forme d'azote au degré d'oxydation le plus élevé présent dans l'eau. Leurs concentrations dans les eaux naturelles sont comprises entre 1 et 10 mg/l (Sahraoui, 2014)

L'histogramme des teneurs en nitrates (Fig.22) montre la variation de ces teneurs qui oscillent entre 10.5 mg/l au P13 et 25.6mg/ l au P6, qui restent inférieures à la valeur admissible par les normes OMS (50 mg/l). Ce qui indique que les eaux étudiées ne sont pas assujetties à un risque de pollution par les nitrates.

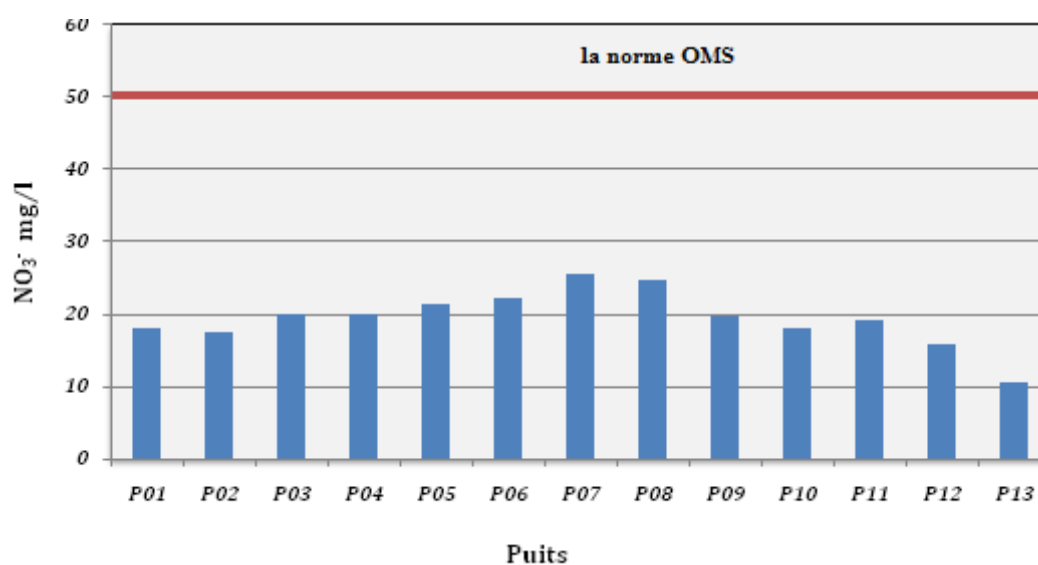


Figure 22 : L'évaluation de teneur en Nitrates de l'ensemble des puits analysés

3.2.2. Nitrites

Les nitrites consistent une étape important dans la métabolisme des compositions azotés. La présence de nitrites d'origine naturelle est très rare.

La teneur en nitrites est relativement très faible, il présente une valeur presque nulle au niveau du la majorité des puits qui sont acceptables aux normes de l'OMS (0,1 mg/l) à l'exception de puits P3 qui dépasse la norme (Fig. 23).

La cause de cette élévation est due probablement à deux critères, la première pollution de surface suite à l'utilisation intensive des engrais et l'élevage de cheptel, ou par une contamination par des rejets des eaux usées qui stagné dans le lit d'Oued M'Zab.

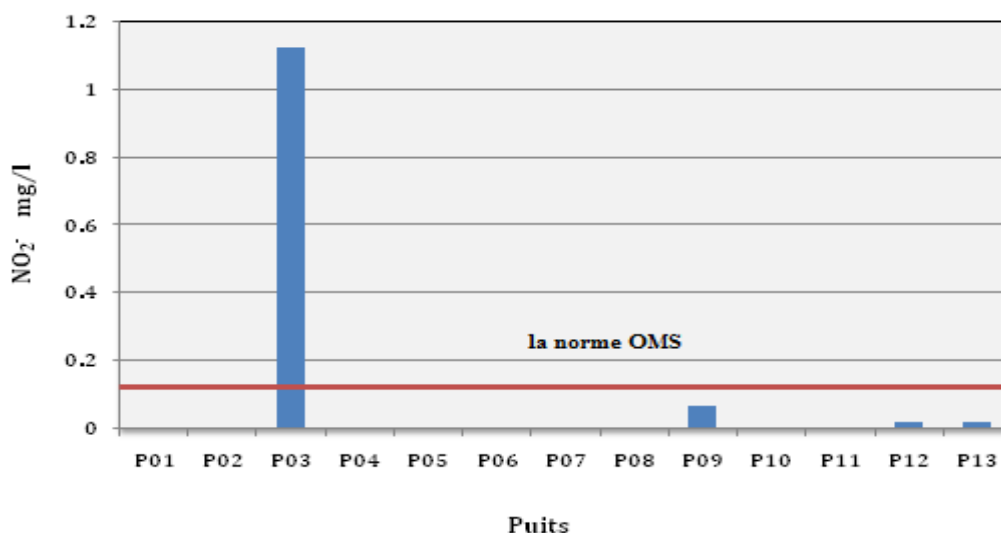


Figure 23 : L'évaluation des teneurs en Nitrite de l'ensemble des puits analysés

3.2.3. L'ammonium

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.

La figure 24 montre les variations de la concentration en ions ammonium des eaux des puits étudiées. Ces teneurs sont faibles voir nulles (0 et 0,11 mg/l), ils sont inférieures à la valeur admissible par les normes OMS (0,5 mg/l). Les puits qui présentent les valeurs peu élevées de l'ammonium, proviennent normalement d'une pollution diffuse (lessivage des sols), ou ponctuelle (rejets urbains et industriels) ceci à cause de l'infiltrations des eaux stagnes.

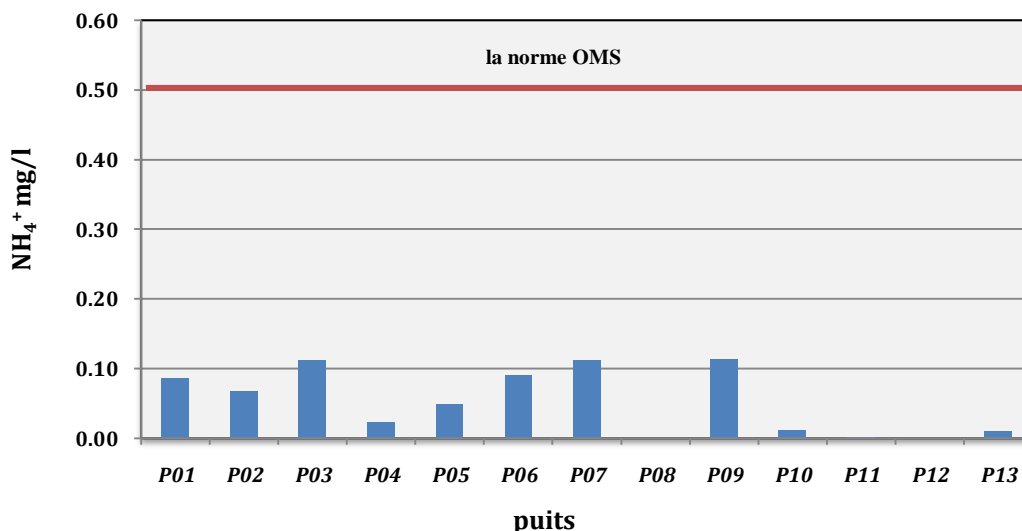


Figure 24 : L'évaluation des teneurs en ammonium de l'ensemble des puits analysés

3.2.4. L'ortho-Phosphate

L'origine des phosphates dans les eaux est liée aux rejets urbains ou à la dissolution des engrais chimiques.

Les concentrations en ortho-phosphates enregistrées au niveau des puits étudiés sont très faible à nulle comprises entre 0 et 0,18 mg/l (Fig.25). Elles restent toutefois nettement inférieures à la limite admissible par L'OMS (0,50 mg/l). Par conséquent, ce paramètre ne constitue pas un grand risque de pollution majeur pour les eaux de la nappe phréatique étudiée.

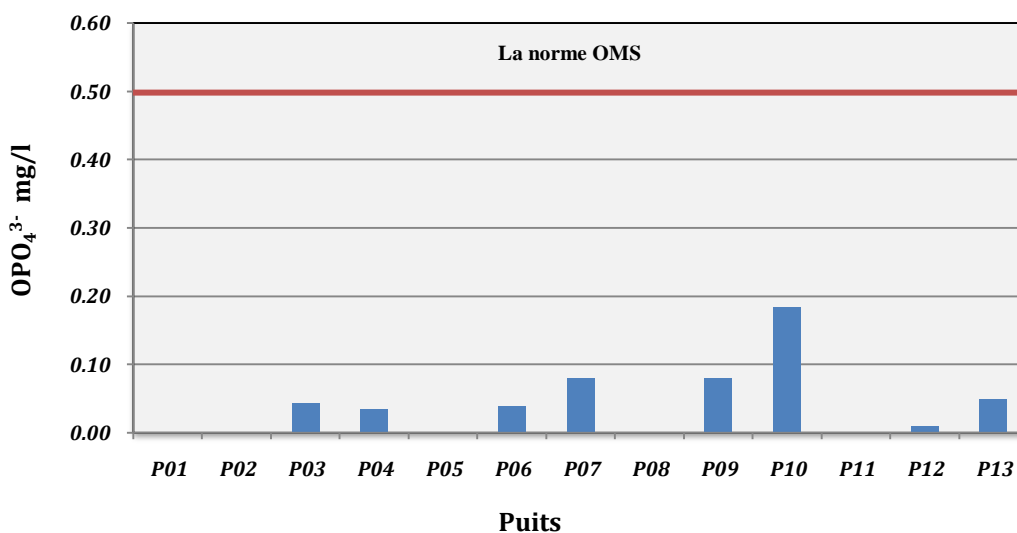


Figure 25 : L'évaluation des teneurs en ortho-phosphates de l'ensemble des puits analysés

Conclusion

Les teneurs en nitrate, nitrite, ammonium, et ortho-phosphate dans les eaux phréatiques de la Vallée de M'Zab présentent des valeurs inférieures aux normes tolérées par l'OMS, Par conséquent, les teneurs de ces paramètres ne sont pas assujetties à un grand risque de pollution.

3.3. Les paramètres physique

3.3.1. La température (T°)

Elle joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne et de l'évaporation des eaux. Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol.

Tableau 7 : Variations de la température

paramètre	Min	Max	Moy	Ecart type
Ghardaïa	15.2	18.1	15.9	0.8
Laghouat	16.4	17.3	16.8	0.3
Ouargla	18.0	24.0	19.6	2.7

Les eaux de la nappe phréatique, sont relativement hétérogène avec des moyennes de 15,5, 16,8 et 19,6 °C enregistrés successivement à Ghardaïa, Laghouat et Ouargla. Ces valeurs ne présentent pas des grandes variations, par des écarts type varient entre 0,3 et 2,7°C.

3.3.2. Le pH

C'est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau par la concentration en ions H⁺, il varie selon une échelle de 0 à 14, alors que 7 est le pH de neutralité

Tableau 8 : Variations du pH

Paramètre	Min	Max	Moy	Ecartype
Ghardaïa	6.8	8.1	7.4	0.4
Laghouat	7.2	7.6	7.4	0.2
Ouargla	7.2	7.9	7.5	0.3

Les valeurs de pH, mesurées dans les eaux de la nappe phréatique des trois régions paraissent de la neutralité avec un caractère plus ou moins alcalin, avec de faible écarte types (0,2 à 0,4). La moyenne de pH de ces eaux phréatiques varient de 7,4 à 7,5.

3.3.3. La conductivité

La conductivité électrique désigne la capacité de l'eau à conduire un courant électrique et elle est déterminée par la teneur en substances dissoutes, la charge ionique, la capacité d'ionisation, la mobilité et la température de l'eau. Par conséquent, elle renseigne sur le degré de minéralisation d'une eau.

Tableau 9 : Variations des conductivités électriques

Paramètre	Min	Max	Moy	Ecartype
Ghardaïa	3260.0	5570.0	4740.0	510.1
Laghouat	1935.0	3920.0	2904.2	847.8
Ouargla	5000.0	40000.0	13257.1	12852.2

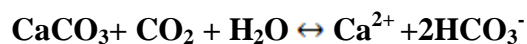
Les valeurs de la conductivité électrique enregistrées dans les trois régions, présentent des variations assez fortes (**Tab.9**), avec des moyennes de 2904,2, 4740 et 13257 $\mu\text{S}/\text{cm}$ enregistrés successivement aux régions de Laghouat, Ghardaïa et Ouargla.

Toutes les valeurs enregistrées de la conductivité indiquent une minéralisation élevée car elles sont toutes globalement dépassent les normes ($>1000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) de potabilité de l'OMS, avec des écarts type de 510,1 et 847,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à Ghardaïa et Laghouat, tandis que dans la région d'Ouargla les valeurs de la conductivité électrique indiquent une minéralisation excessive, avec un écarte type de 12852,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

3.4. Les paramètres chimiques

3.4.1. Le Calcium

Le calcium est l'élément présent en quantité appréciable dans la quasi-totalité des eaux superficielles, c'est un élément alcalino-terreux, un composant majeur de la dureté des eaux, sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés. Il provient essentiellement de la dissolution des roches carbonatées suite à la présence du gaz carbonique, selon l'équation suivante :



Il provient également des formations gypseuses ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) qui sont facilement soluble. Parfois les eaux arrivent à avoir des hautes teneurs en CaSO_4 et l'augmentation du SO_4 entraîne une augmentation de Calcium (Ca^{2+}).

Tableau 10 : Variations des concentrations du calcium

Paramètre	Min	Max	Moy	Ecartype
Ghardaïa	279.0	601.2	475.0	84.8
Laghouat	160.1	371.2	286.9	76.4
Ouargla	601.2	1202.0	858.8	243.5

Les eaux phréatiques présentent des teneurs en Ca^{+2} variant d'une région à l'autre (Tab.10), par moyenne de 286,9 mg/l à Laghouat, 475mg/l à Ghardaïa et 858,8 mg/l enregistré dans la région de Ouargla, avec des écarte type variant entre 76,4 et 84,8 mg/l.

3.4.2. Le magnésium

Le magnésium est un élément présent dans toutes les eaux naturelles, c'est un élément significatif de la dureté des eaux, la variation du magnésium dans les eaux est due à l'influence des formations carbonatées telles que les calcaires dolomitiques, d'une part, et les formations salifères d'autre part qui sont riche en Mg^{2+} .

Tableau 11 : Variations des concentrations du magnésium

Paramètre	Min	Max	Moy	Ecartype
Ghardaïa	99.6	563.3	289.3	108.0
Laghouat	52.1	153.8	104.3	36.7
Ouargla	77.7	658.2	339.3	278.6

La concentration moyenne observée dans la région de Laghouat (Tab.11), est dans les valeurs naturelles des eaux, par l'ordre de 104,3 mg/l, par contre à la région de Ghardaïa et Ouargla ces concentrations sont élevés, par moyenne de 289,3 et 339,5 mg/l.

3.4.3. Le Sodium

Le sodium toujours présent dans les eaux naturelles en proportions très variables, il provient essentiellement de lessivage des formations riche en NaCl (l'Halite).

Tableau 12: Variations des concentrations du sodium

Paramètre	Min	Max	Moy	Ecartype
Ghardaïa	370.0	715.4	520.3	95.6
Laghouat	57.5	211.5	122.3	68.8
Ouargla	27.7	203.6	99.3	68.1

Les teneurs en sodium observées dans les eaux phréatique (Tab.12) sont très hétérogènes, ils sont variés d'une région à une autre, ils marquent une moyenne de concentration de 520,3 mg/l à Ghardaïa, ce qui dépasse les normes de potabilité (200 mg/l), par contre les concentrations moyennes à Laghouat 122,3 mg/l et à Ouargla 99,3 mg/l ne dépasse pas les valeurs naturelles.

3.4.4. Le Potassium

La présence du potassium dans les eaux est liée principalement à l'altération des argiles potassiques et au lessivage des évaporites, en l'occurrence la Sylvite (KCl).

Il peut également avoir comme origine le lessivage des engrais potassiques sur les sols pauvres en humus.

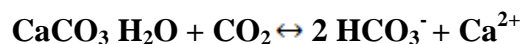
Tableau 13 : Variations des concentrations du potassium

Paramètre	Min	Max	Moy	Ecartype
Ghardaïa	15.0	50.0	29.7	10.6
Laghouat	3.0	350.7	66.9	139.1
Ouargla	27.7	203.6	99.3	68.1

Les teneurs en potassium observées dans les eaux (Tab.13) sont très hétérogènes, ils sont variées d'une région à un autre, ils dévoilent des valeurs relativement élevées, en dépassant les normes (20 mg/l), ils marquent moyennes de concentrations de 29,7, 66,9 et 99,3 mg/l successivement à Ghardaïa, Laghouat et Ouargla.

3.4.5. Les Bicarbonates

Ces origines sont liées à la dissolution des formations carbonatées (Calcaire, dolomite...etc.) les bicarbonates résultent de l'équilibre physico - chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique, selon l'équation suivante :



Le pH alcalins de l'eau inférieur à 8,3, maintiennent l'eau dans le domaine de stabilité vis-à-vis des bicarbonates dans la nappe phréatique.

Dans les eaux phréatique, les concentrations moyennes (Tab.14) en bicarbonates observées à la région de Ghardaïa (70,7 mg/l) et Laghouat (119,6 mg/l) ne dépassent pas les normes de potabilité (250 mg/l), par contre la concentration moyenne de la région de Ouargla (415,4 mg/l) dépasse largement les valeurs naturelles. Avec des variations entre 0 et 920,7 mg/l.

Tableau 14: Variations des concentrations des bicarbonates

Paramètre	Min	Max	Moy	Ecartype
Ghardaïa	18.3	97.6	70.7	23.0
Laghouat	91.5	154.9	119.6	26.2
Ouargla	0.0	920.7	415.4	334.0

3.4.6. Les Chlorures

Ils sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportions très variables, leur présence dans l'eau souterraine résulte de la dissolution des sels naturels par la dissolution de la sylvite (KCl) et de l'halite (NaCl) suivant les relations suivante :



Tableau 15: Variations des concentrations des chlorures

Paramètre	Min	Max	Moy	Ecartype
Ghardaïa	652.3	1106.1	888.1	148.4
Laghouat	243.2	528.1	325.9	112.4
Ouargla	520.0	20560.0	9022.5	8375.0

Les **chlorures** dans les eaux phréatique du trois régions, présentent des teneures très largement dépassant les normes de potabilité (200 mg/l), avec moyenne des concentrations de l'ordre 325,9, 888,1 et 9022,5 mg/l enregistrée successivement à Laghouat, Ghardaïa et Ouargla. Elles sont variées d'une région à l'autre, avec des écarts types de 112,4 mg/l à Laghouat, 148,4 mg/l à Ghardaïa, tandis que à la région d'Ouargla présente écarte type extrêmement variée dépasse 1900 mg/l.

3.4.7. Les Sulfates

La présence des sulfates est généralement liée au lessivage des formations évaporitiques, tel que le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) selon la relation au dessous et l'anhydrite (CaSO_4), ils peuvent provenir également de l'oxydation du baryum.



Tableau 16: Variations des concentrations des sulfates

Paramètre	Min	Max	Moy	Ecartype
Ghardaïa	563.8	2597.3	1753.0	717.8
Laghouat	456.3	1117.4	845.5	277.6
Ouargla	395.6	3606.3	1451.5	1130.0

Les concentrations moyennes des sulfates observées (Tab.16) dépassent largement les normes de potabilité (200 mg/l), elles atteignent des concentrations très élevés 845,5 mg/l à Laghouat, 1451,5 mg/l à Ouargla et 1753 mg/l à Ghardaïa. Elles présentent une augmentation nette le long du sens d'écoulement des eaux de la nappe.

Ces valeurs présentent des grandes variations, par des écarts type varient de 277,6 mg/l à Laghouat, 717,8 mg/l à Ghardaïa et 1130 mg/l à Ouargla.

3.5. Etude des relations inter-élément

A partir des analyses d'eau effectuées sur les eaux phréatique de Ghardaïa, Laghouat et Ouargla, nous avons effectuée une analyse statistique entre les éléments pris deux à deux (**Tab.17, 18 et 19**).

Cette analyse montre que la conductivité électrique est bien corrélée qu'avec les chlorures, les sulfatas à Ghardaïa et Laghouat, le magnésium et le calcium dans les trois régions. Par ailleurs le potassium, les bicarbonates et n'influent pas sur la CE.

Le Cl^- est nettement corrélé avec le Na^+ ($r= 0.78$) à Ghardaïa, pendant que à Laghouat corrélé avec le Ca^{2+} ($r=0,71$) et Mg^{2+} ($r=0,86$), cette corrélation peut être justifiée par la présence des sels solubles dans l'eau.

Le bicarbonate montre une moyenne corrélation avec le Ca^{2+} ($r=0,73$) à Ghardaïa et avec le Na^+ ($r=0,79$) à Laghouat, Cette forte corrélation peut être d'origine des formations carbonatées (Calcaire, dolomite) ou la présence des certains sels comme NaHCO_3 .

Tableau 17: Matrice de corrélation entre les éléments physico-chimiques Ghardaïa

Paramètre	CE	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²
CE	1							
SO ₄ ²⁻	0.515	1						
Cl ⁻	0.778	0.332	1					
HCO ₃ ⁻	0.358	0.098	0.324	1				
Na ⁺	0.601	0.311	0.857	0.568	1			
K ⁺	-0.010	0.421	0.141	-0.563	0.026	1		
Mg ⁺²	0.712	0.392	0.302	-0.060	-0.004	-0.119	1	
Ca ⁺²	0.593	-0.031	0.378	0.732	0.392	-0.600	0.386	1

Tableau 18: Matrice de corrélation entre les éléments physico-chimiques Laghouat

Paramètre	CE	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²
CE	1							
SO ₄ ²⁻	0.912	1						
Cl ⁻	0.867	0.725	1					
HCO ₃ ⁻	0.188	0.084	0.433	1				
Na ⁺	0.133	0.236	0.448	0.791	1			
K ⁺	0.542	0.454	0.288	-0.190	-0.337	1		
Mg ⁺²	0.962	0.948	0.860	0.312	0.336	0.359	1	
Ca ⁺²	0.875	0.869	0.712	-0.171	-0.052	0.308	0.854	1

Tableau 19: Matrice de corrélation entre les éléments physico-chimiques Ouargla

Paramètre	CE	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺ + Na ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²
CE	1						
SO ₄ ²⁻	-0.204	1					
Cl ⁻	-0.239	0.839	1				
HCO ₃ ⁻	-0.021	-0.202	0.258	1			
K ⁺ + Na ⁺	0.200	0.257	0.083	0.255	1		
Mg ⁺²	0.735	-0.005	-0.251	-0.161	0.547	1	
Ca ⁺²	0.813	-0.340	-0.212	0.472	0.466	0.715	1

3.6. Classification des eaux souterraines selon PIPER

La représentation des analyses chimiques sur ce type de diagramme permet d'avoir une idée globale sur la composition chimique des eaux.

Le principe consiste à représenter dans chaque triangle les quantités en réaction pour chaque cation ou anion après on obtient un point triple soulignant la prédominance d'un anion ou d'un cation. Ces deux points triples donnent un point critique représentant la nature chimique de l'échantillon considéré (Fig.26).

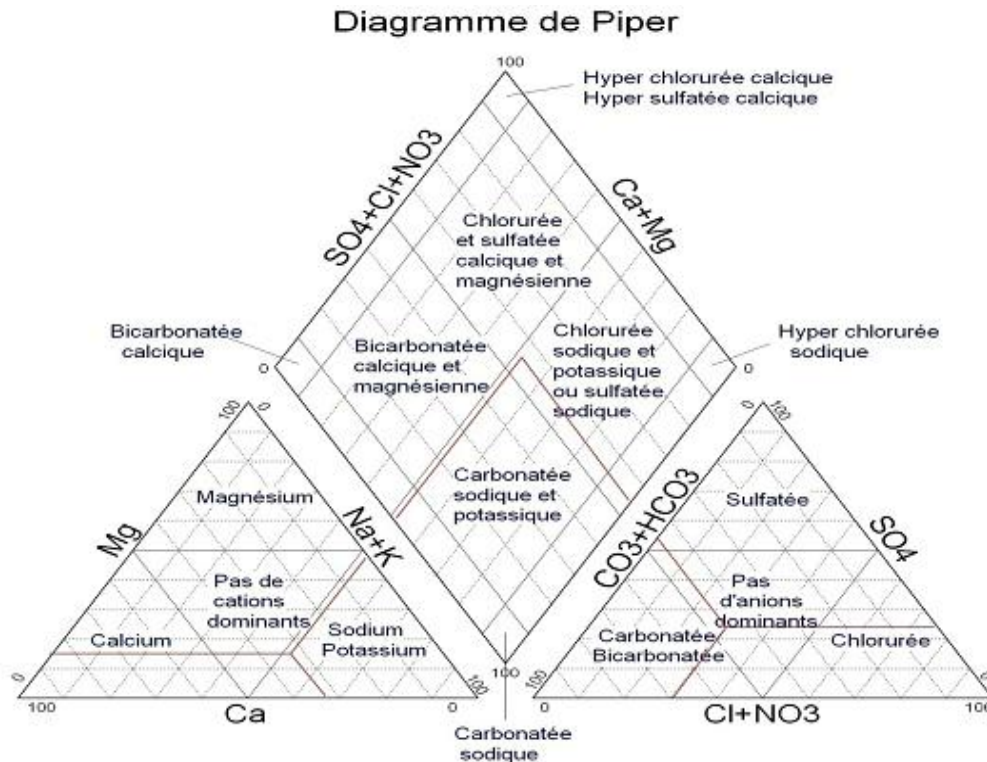


Figure 26: Représentation su diagramme PIPER

Les Figures 27, 28 et 29 montrent les faciès chimiques des échantillons analysés dans les trois régions Ghardaïa, Laghouat et Ouargla selon le diagramme de PIPER qui sont les suivants :

- ✚ Les trois régions présentent des faciès Chlorurés et sulfatés calcique et magnésique ;
- ✚ Faciès sulfatée magnésique à la région de Laghouat, Chlorurée magnésique et calcique à la région de Ouargla et faciès Chlorurée magnésique et calcique ou sulfatée magnésique et calcique à la région de Ghardaïa.

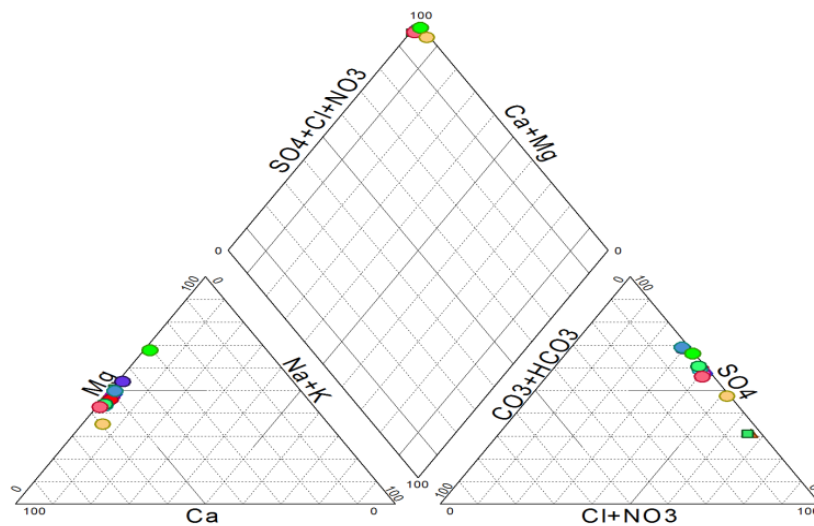


Figure 27: Représentation des analyses d'eaux de la région de Ghardaïa selon le diagramme de PIPER

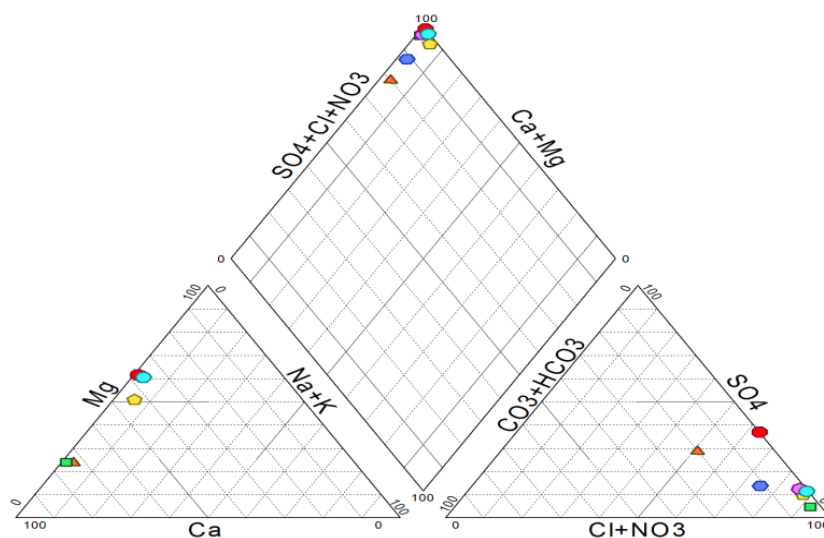


Figure 28: Représentation des analyses d'eaux de la région d'Ouargla selon le diagramme de PIPER

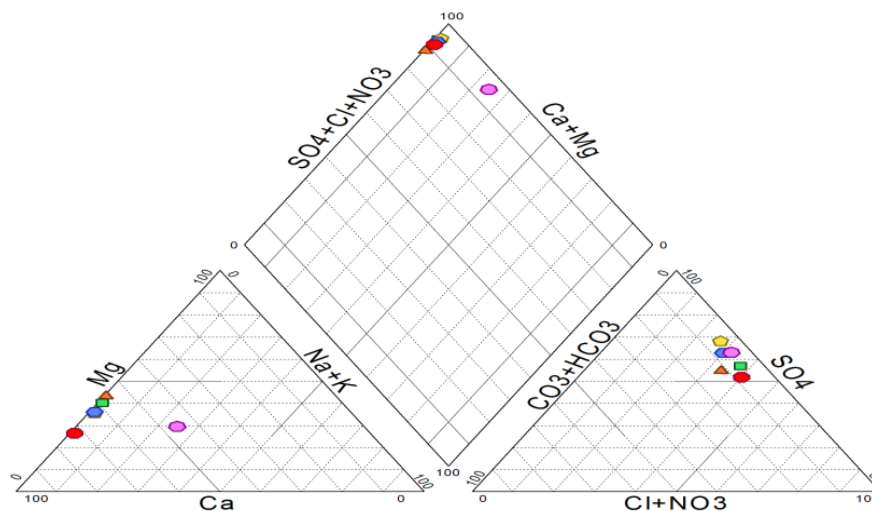


Figure 29: Représentation des analyses d'eaux de la région de Laghouat selon le diagramme de PIPER

3.7. Classification des eaux souterraines selon Schoeller-Berkaloff

La représentation des eaux sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff se fait selon un diagramme semi logarithmique. Ce diagramme permet la représentation graphique des analyses chimiques des échantillons et la lecture rapide des caractéristiques chimiques. Le faciès chimique de l'eau analysée est donné par l'association des plus fortes concentrations, coté anions et coté cations, entre anion d'une part et de cation d'autre part.

Les figures (30, 31 et 32) montrent les résultats des trois régions Ghardaïa, Laghouat et Ouargla d'une telle représentation des compositions en éléments majeurs des points d'eau dans chaque région sur ce diagramme. Selon le diagramme Schoeller-Berkaloff les eaux des régions sont classées comme suit:

Ghardaïa

- ✚ Eau à faciès sulfaté-calcique ($\text{SO}_4\text{-Ca}$) (P5, P6, P7, P8, P11) ;
- ✚ Eau à faciès sulfaté-magnésien ($\text{SO}_4\text{-Mg}$) (P3, P4, P9, P10) ;
- ✚ Eau à faciès chloruré-calcique (Cl-Ca) (P1, P12, P13) ;
- ✚ Un seul échantillon a un faciès chimique chloruré-magnésien (Cl- Mg) (P2).

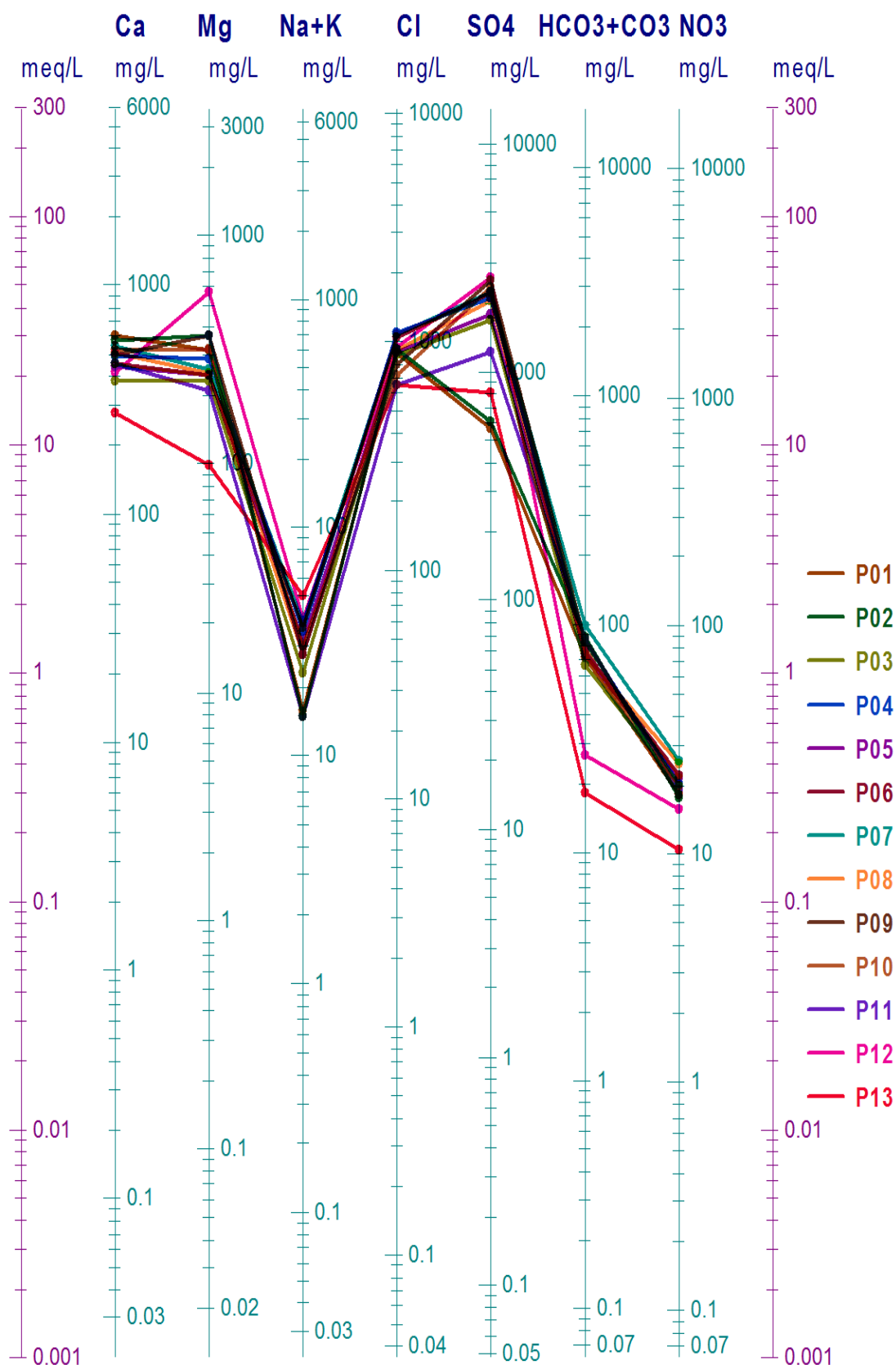


Figure 30 : Faciès chimiques des eaux de la région de Ghardaïa d'après le diagramme de Schoeller

Laghouat

✚ La majorité des puits d'eau à faciès sulfaté-calcique, sauf P5 à faciès sulfaté sodi-potassique.

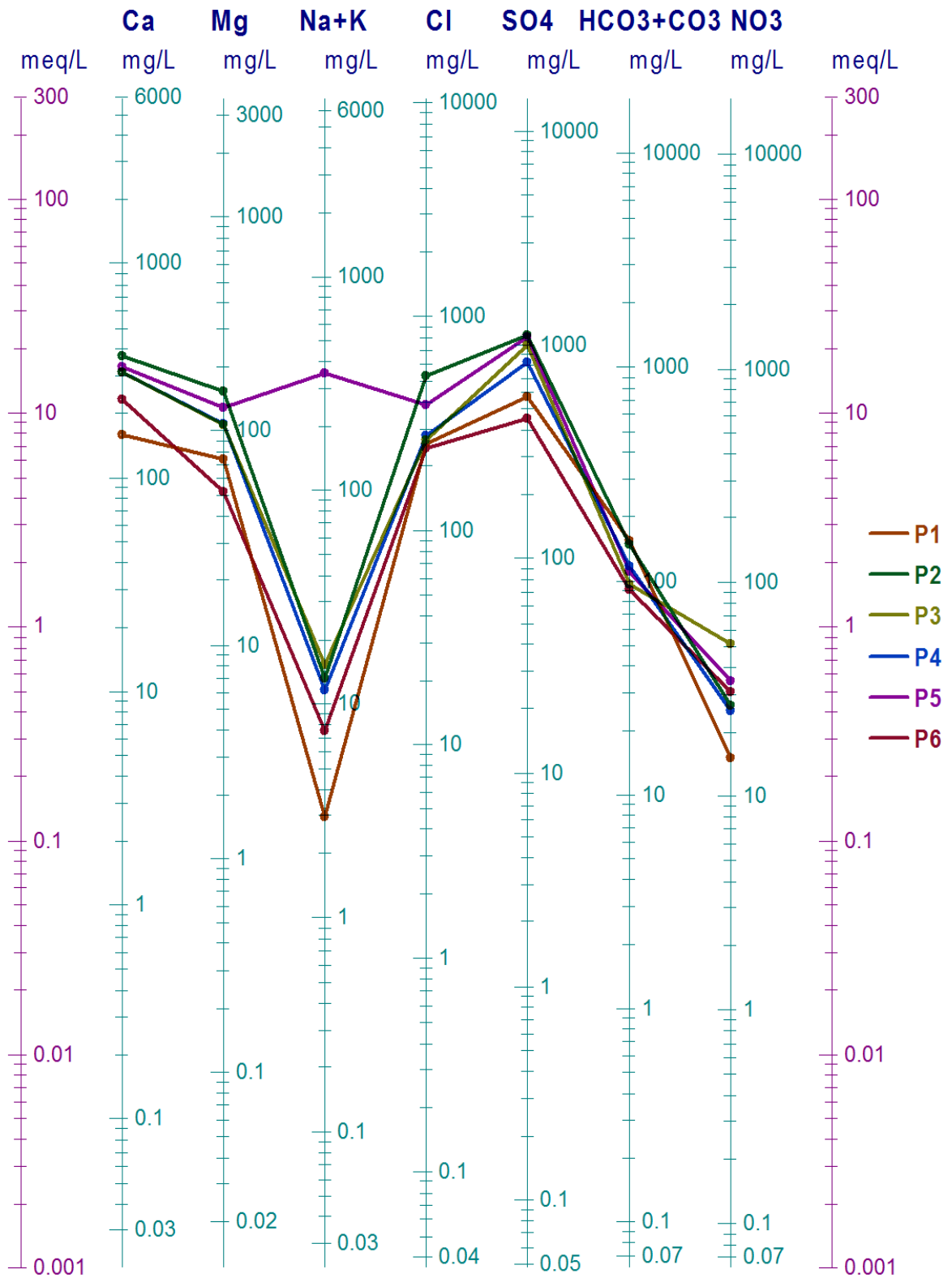


Figure 31 : Faciès chimiques des eaux de la région de Laghouat d'après le diagramme de Schoeller

Ouargla

- ✚ Eau à faciès chloruré-calcique (Cl-Ca) pour N' Goussa 1, 2 et 3;
- ✚ Eau à faciès sulfaté-magnésien (SO₄-Mg) pour les autre puits.

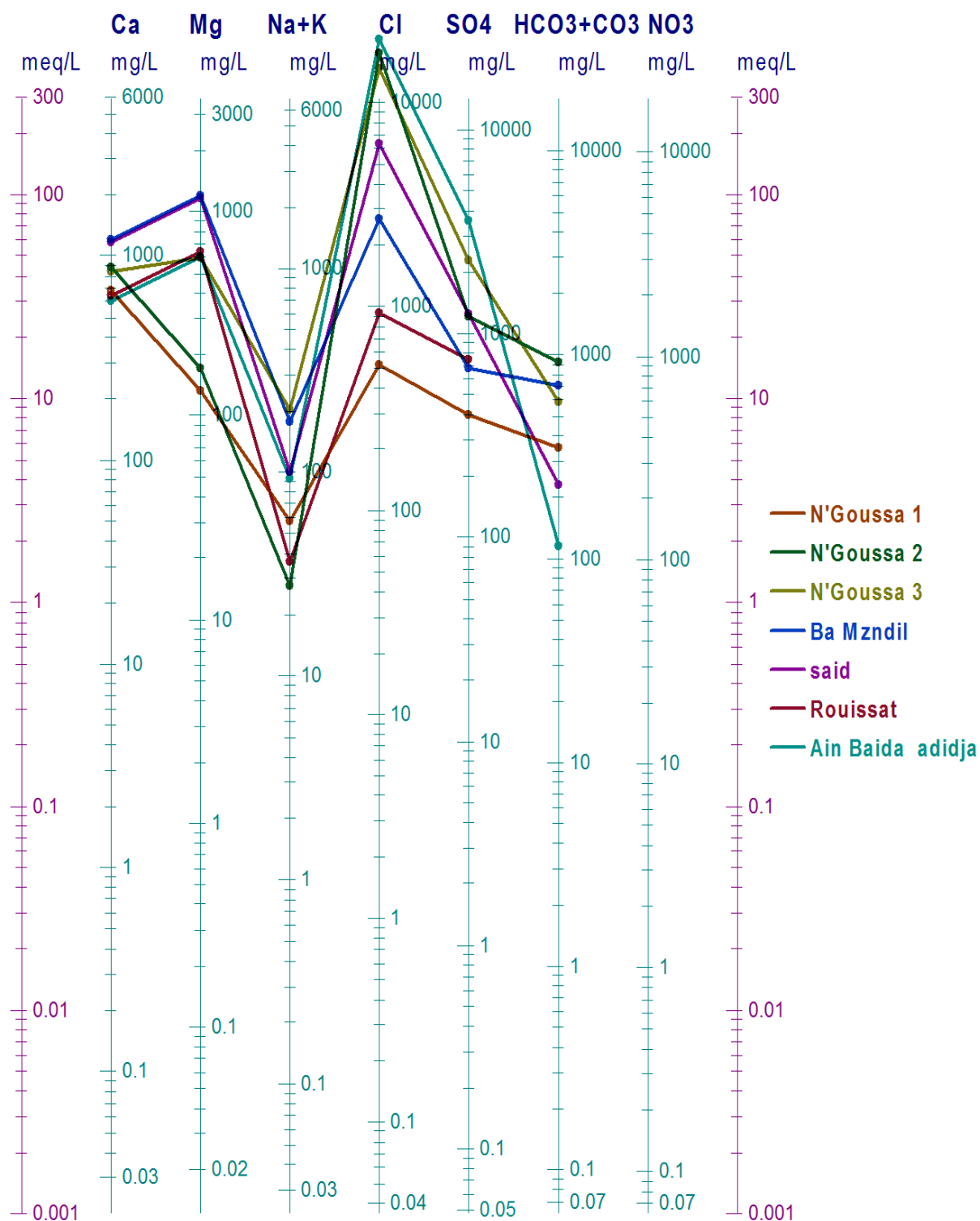


Figure 32 : Faciès chimiques des eaux de la région d’Ouargla d’après le diagramme de Schoeller

3.8. Evaluation de la qualité des eaux phréatiques pour la potabilité

3.8.1. Normes des concentrations maximales admissibles des éléments physico-chimique et chimique selon l'O.M.S

L'eau est la denrée alimentaire la plus contrôlée. La comparaison des paramètres physico-chimiques des eaux phréatique des régions Ghardaïa, Laghouat et Ouargla avec les normes fixées par l'OMS est présentée dans le Tab.20 :

Tableau 20 : Les normes physico-chimiques d'une eau potable selon l'OMS et les points d'eau dépassant les normes dans les puits analysés

paramètres physico-chimiques	unité	concentration maximale Admissible	Les points d'eau dépassant la norme (Ghardaïa)	Les points d'eau dépassant la norme (Laghouat)	Les points d'eau dépassant la norme (Ouargla)
pH	-	6,5- 8,5	0	0	0
Conductivité	µs/cm	2800	13	3	7
Dureté Totale	°F	50	13	6	7
Calcium	mg/l	200	13	5	7
Magnésium	mg/l	150	12	1	4
Sodium	mg/l	200	13	1	0
Potassium	mg/l	20	10	1	1
Sulfates	mg/l	200	13	6	7
Chlorures	mg/l	200	13	6	7
Bicarbonate	mg/l	250	0	0	4
Nitrates	mg/l	50	0	0	-
Nitrites	mg/l	0,1	0	0	-
Ammonium	mg/l	0,5	0	0	-
Phosphate	mg/l	0,5	0	0	-

Selon les normes internationales de l'O.M.S et à titre comparative (Tab.20), on peut tirer les conclusions suivantes :

- ✚ les valeurs de pH des eaux phréatique des trois régions sont toutes inférieures à la teneur maximale admissible de l'O.M.S ;
- ✚ **Conductivité électrique** : Tous les points d'eau analysés à Ghardaïa (13P) et Ouargla (7P), ont une conductivité supérieure aux normes admises par l'O.M.S. Ce qui témoigne d'une grande minéralisation des eaux de la nappe phréatique, tandis que à Laghouat 3 points d'eau sur 6 ont des conductivités inférieures aux normes admissibles.
- ✚ **Chlorures et Sulfates** : On observe que les teneurs en ces paramètres ne sont pas conformes aux normes tolérée par O.M.S dans les trois régions.

- ✚ **Calcium** : la totalité des points d'eau à Ghardaïa et Ouargla présentent un taux de calcium supérieur à la norme, tandis qu'à Laghouat un seul point a des taux inférieurs à la concentration maximale admissible par l'OMS.
- ✚ **Sodium** : la totalité des points d'eau à Ghardaïa présentent des concentrations supérieures à la norme tolérée par O.M.S, par contre à Ouargla la totalité des points d'eau présentent des concentrations inférieures, tandis qu'à Laghouat un seul point d'eau a une teneur supérieure à la norme admissible.
- ✚ **Potassium** : un seul point d'eau à Ouargla et Laghouat a une concentration en potassium supérieure à la norme tolérée par O.M.S, tandis que à Ghardaïa 3/13 points d'eau ont une concentration inférieures à la concentration maximale admissible.
- ✚ **Magnésium** : On observe que les teneurs en magnésium ne sont pas conformes aux normes de l'OMS par 10/13 points, à la région de Ghardaïa, par contre à Ouargla et Laghouat un seul point est supérieur à la norme.
- ✚ **Bicarbonates** : la totalité des puits analysés respectent les normes de l'OMS à la région de Ghardaïa et Laghouat par contre à Ouargla il y a 4 puits hors norme de potabilité.
- ✚ Tout les paramètres de pollution (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , OPo_4^{-3}) ne dépasse pas la teneur maximale admissible.

3.8.2. Nomes de degré hydrotimétrique total

La potabilité d'une eau peut être également évalué par la dureté ou le titre hydrotimétrie (TH) qui correspond à la somme des concentrations en calcium et en magnésium, il est exprimé en degré français et peut être calculé par la formule suivante:

$$\text{TH} = (\text{rCa}^{2+} + \text{rMg}^{2+}) \text{ (en méq/l)} \quad \text{ou} \quad \text{TH} = (\text{rCa}^{2+} + \text{rMg}^{2+}) \times 5 \text{ (en } ^\circ\text{F)}$$

$\text{rCa}^{2+} + \text{rMg}^{2+}$: désignent respectivement les quantités en réaction de calcium et de magnésium en méq/l.

Le tableau 21 montre que les eaux phréatiques des trois régions Ghardaïa, Laghouat et Ouargla sont très dures donc présente une mauvaise potabilité.

Tableau 21 : Potabilité en fonction de la dureté (OMS, 1994)

TH (° F)	0-7	22-7	22-32	32-54	>54
Dureté de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure
Nb de puits Ghardaïa	0	0	0	0	13
Nb de puits Laghouat	0	0	0	0	6
Nb de puits Ouargla	0	0	0	0	7

3.9. Évaluation de la qualité des eaux phréatique pour d'irrigation

3.9.1. Introduction

La plupart des problèmes qui se développent en agriculture irrigable proviennent de la composition chimique de l'eau d'irrigation, l'utilisation de telles variétés d'eau dans l'irrigation, aussi bien que la nécessité de prédire les problèmes qui peuvent se développer quand différentes eaux d'irrigation sont utilisées, ont créé le besoin pour un système de classification de la qualité de l'eau qui est complètement différent des systèmes utilisés pour l'industrie, la vie aquatique et la santé, etc. (**Taleb bahmed, 2008**).

Plusieurs schémas ont été proposé pour classer les eaux par rapport à leur qualité pour l'irrigation. L'eau n'a pas de qualité inhérente en soi excepté dans le contexte pour lequel elle est utilisée. En théorie, la qualité de l'eau se mesure aux caractéristiques qui la rendent plus ou moins apte à une utilisation donnée, c'est-à-dire à satisfaire les besoins de l'utilisation. Elle est définie par certaines caractéristiques physiques, chimiques et biologiques. Dans l'irrigation l'accent est mis sur les propriétés chimiques et physiques de l'eau et les autres facteurs sont rarement considérés comme importants (**Taleb bahmed, 2008**).

3.9.2. Risque de salinisation

La teneur totale en sels est un critère important pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation. Cette teneur peut être exprimée en termes de conductivité électrique en $\mu\text{S}/\text{cm}$. Généralement la teneur en sel des eaux d'irrigation joue un rôle important vis à vis des effets directs sur des végétaux et des risques de salinisation de sol.

Afin d'évaluer la qualité des eaux dans l'irrigation selon le risque de salinisation des exemples typiques de classifications suggérées par différents auteurs sont présentés dans le tableau 22.

- ✚ Classe C1: Satisfaisante pour toutes les cultures excepté les cultures sensibles;
- ✚ Classe C2: Généralement satisfaisante bien que quelques cultures sensibles seront affectées ;
- ✚ Classe C3 : Satisfaisante pour la plupart des grandes cultures, mais des conditions de salinité vont se développer si le lessivage et le drainage ne sont pas adéquats ;
- ✚ Classe C4 : Normalement non recommandée sauf si des cultures tolérantes sont cultivées comme les palmiers dattiers et si le lessivage et le drainage sont impératifs. (**Taleb bahmed, 2008**).

Tableau 22 : Classification de l'eau d'irrigation basée sur la concentration totale en sels, selon U.S.S.L, 1954 et Ayers et Westcot, 1976

Classe de salinité	US Salinity Laboratory de Riverside (1954)	Ayers et Westcot (1976)
	CE($\mu\text{S/cm}$)	CE($\mu\text{S/cm}$)
C1	100-250	<750
C2	250-750	750-1500
C3	750-2250	1500-3000
C4	>2250	>3000

La

salinité permet de déterminer quatre classes d'eau qui sont les suivantes:

- **Classe C1 (CE < 250 $\mu\text{S/cm}$):** Eaux utilisables pour l'irrigation de la plupart des terrains avec peu de chances d'apparition de salinité dans le sol. Aucun point d'eau analysé ne correspond à cette classe dans la région d'étude.

- **Classe C2 (250 < CE < 750 $\mu\text{S/cm}$):** Eaux utilisables avec un léger lessivage. Les plantes modérément tolérantes aux sels peuvent pousser dans la plupart des cas sans pratique spéciale de contrôle de la salinité. Aucun point d'eau analysé ne correspond à cette classe dans la région d'étude.

- **Classe C3 (750 < CE < 2250 $\mu\text{S/cm}$):** Eaux inutilisables pour les sols à drainage restreint. Les plantes ayant une bonne tolérance aux sels peuvent seules être cultivées. Cette classe contient deux points seulement à la région de Laghouat.

- **Classe C4 (CE > 2250 $\mu\text{S/cm}$):** Eaux inutilisables normalement pour l'irrigation. Exceptionnellement, elles peuvent être utilisées sur des sols très perméables avec un bon drainage et l'eau d'irrigation appliquée en excès pour assurer un fort lessivage du sol. Les plantes cultivées devront être très tolérantes aux sels. Cette classe représente tout la totalité des points d'eau à Ghardaïa et Ouargla, avec les 4 point d'eau resté de Laghouat qui ayant la CE >2250 $\mu\text{S/cm}$.

3.9.3. Risque d'alcalinisation

Le danger d'alcalinisation du sol est estimé en fonction du sodium adsorbable par le sol dont le résultat est de lui conférer de mauvaises propriétés physiques. Il a été distingué trois classes allant d'un danger faible à un risque fort.

Lorsque la concentration des ions Na^+ à l'état soluble dans le sol est importante, ces ions remplacent le plus fréquemment les cations Ca^{+2} dans le complexe absorbant. Une eau chargée en sels, peut provoquer cette action. Le risque est déterminé à partir de la valeur du sodium adsorbable

(Sodium Adsorption Ratio, SAR). Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé (**Taleb bahmed, 2008**). Nous avons trois classes qui se distinguent (Tab.22). Le SAR est donné par la formule suivante :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{1}{2}(Ca^{2+} + Mg^{2+})}}$$

La concentration de chaque ion est exprimée en méq/l. Nous portons pour chaque prélèvement d'eau, la valeur du SAR en fonction de la conductivité électrique à 25°C (**Fig.35, 36, 37**). Nous déduisons la classe à laquelle appartient l'eau.

Selon le taux d'adsorption de sodium (SAR) on a la classification suivante (**Tab.25**) :

- ✚ S1 : Eau à faible danger d'alcalinisation des sols ;
- ✚ S2 : Eau à danger d'alcalinisation assez appréciable ;
- ✚ S3 : Eau à danger d'alcalinisation important.

Tableau 23 : Classe de sodicité des eaux (U.S.S.L ,1954)

Classes	SAR
S1	<13
S2	13-23
S3	>23

D'après la figure 33, 34 et 35 nous remarquons que la totalité des points d'eau dans les trois régions disposent d'un faible danger d'alcalinisation des sols.

3.9.4. Détermination des classes d'irrigation

Les valeurs du S.A.R sont reportées en combinaison avec la conductivité électrique de l'eau sur le diagramme de Riverside. Ce diagramme est constitué par des classes qui permettent la détermination de la qualité des eaux pour l'irrigation. Il est modifié pour être utilisé d'une manière plus générale par l'addition de la classe C5 pour tenir compte des eaux sahariennes très salines qui sont supérieures à 5000 µS/cm (**Taleb bahmed, 2008**).

D'après les figures 33, 34 et 35 nous avons pu signaler la présence des classes suivantes :

- **C3S1**: Eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés, Cette classe contient trois points d'eau seulement de la région de Laghouat;
- **C4S1**: Eau convenant à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés. Cette classe comporte la majorité des point d'eau a Ghardaïa et le reste des point d'eau de Laghouat, avec deux points d'eau d'Ouargla;

- C5S1: eau de qualité médiocre, fortement minéralisée ne convenaient pas à l'irrigation. Cette classe contient 5 points d'eau à Ghardaïa et le reste des échantillons d'eau d'Ouargla.

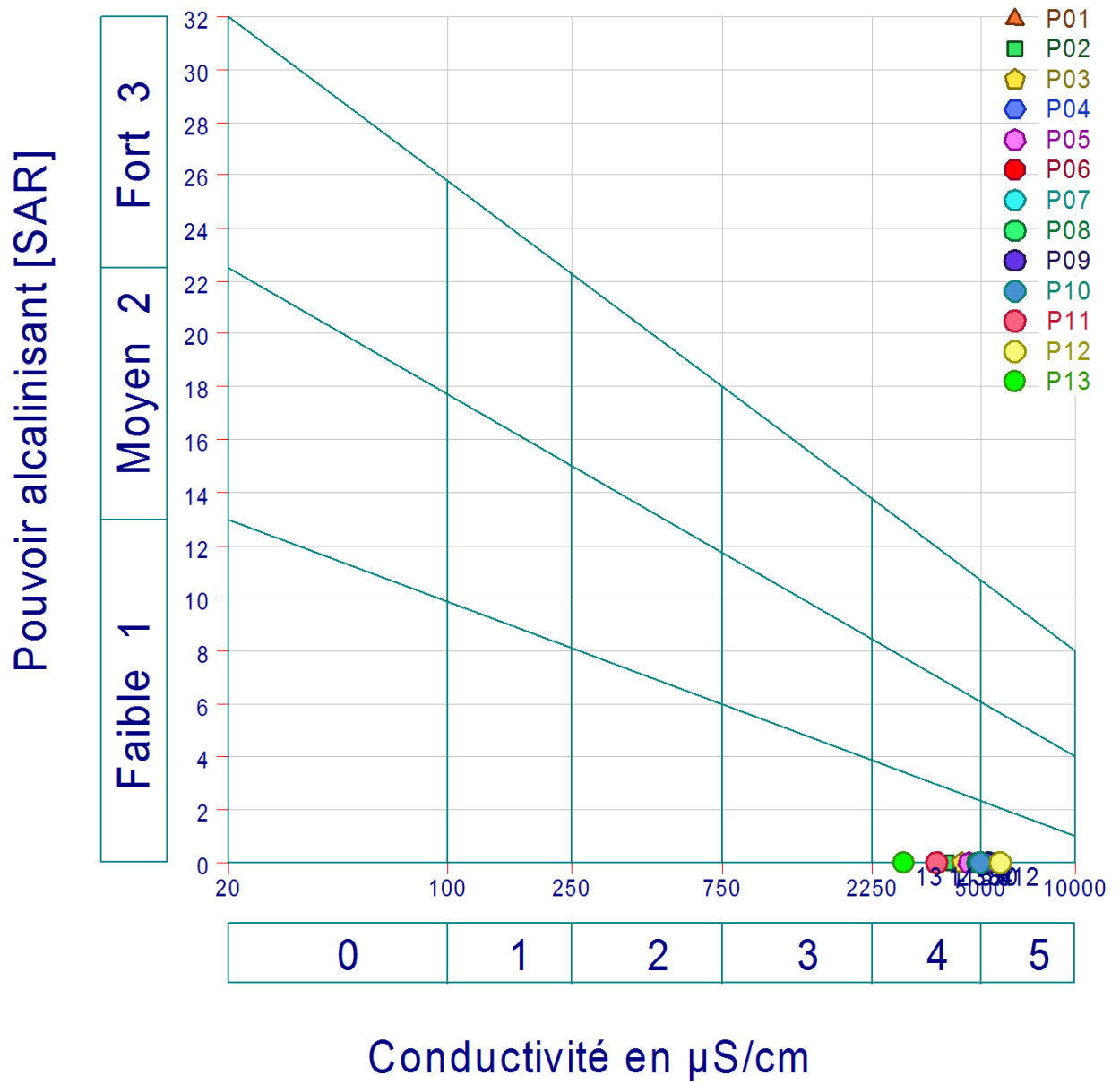


Figure 33 : Diagramme de classification des eaux d'irrigation des puits de Ghardaïa

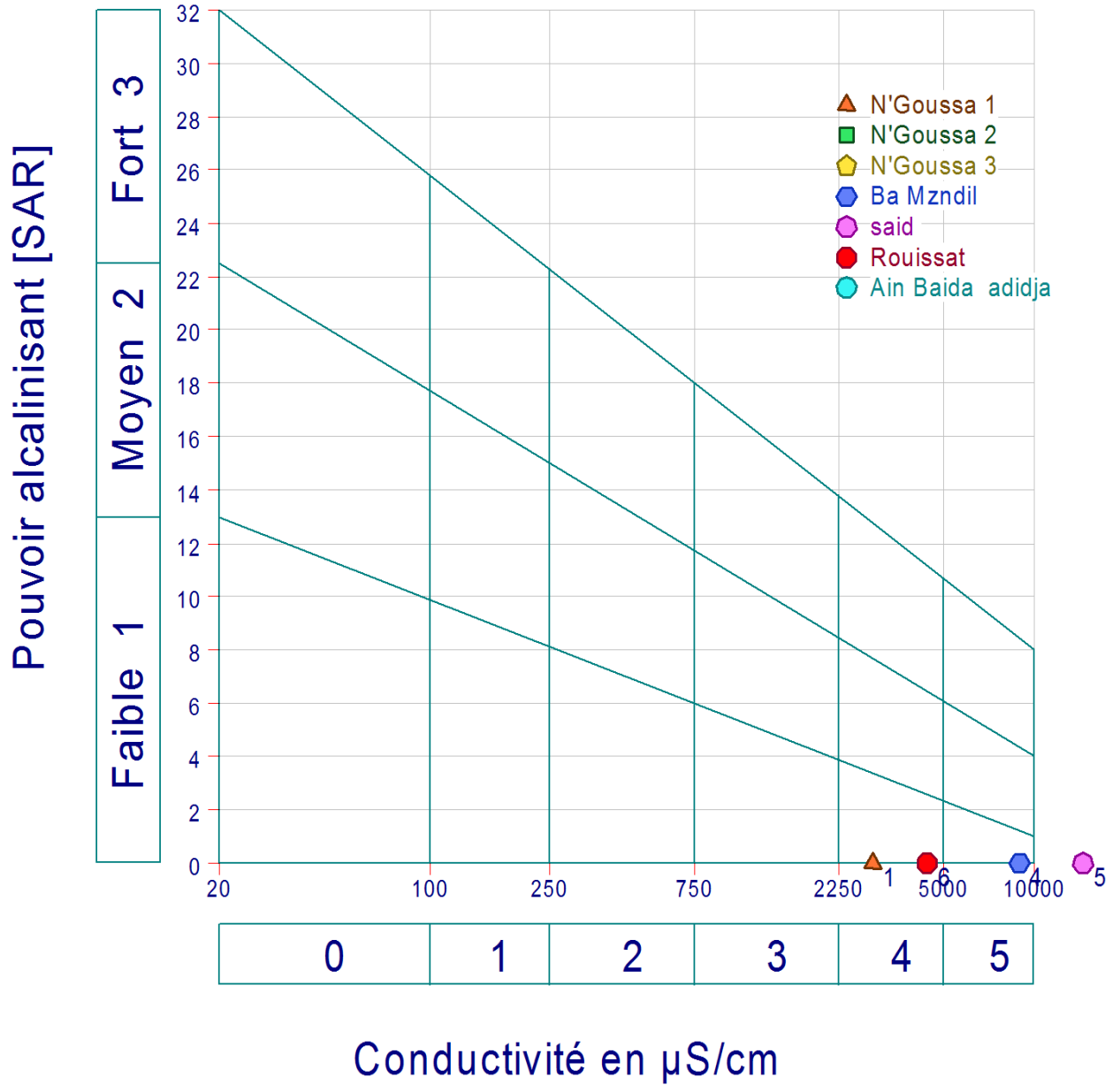


Figure 34 : Diagramme de classification des eaux d'irrigation des puits d'Ouargla

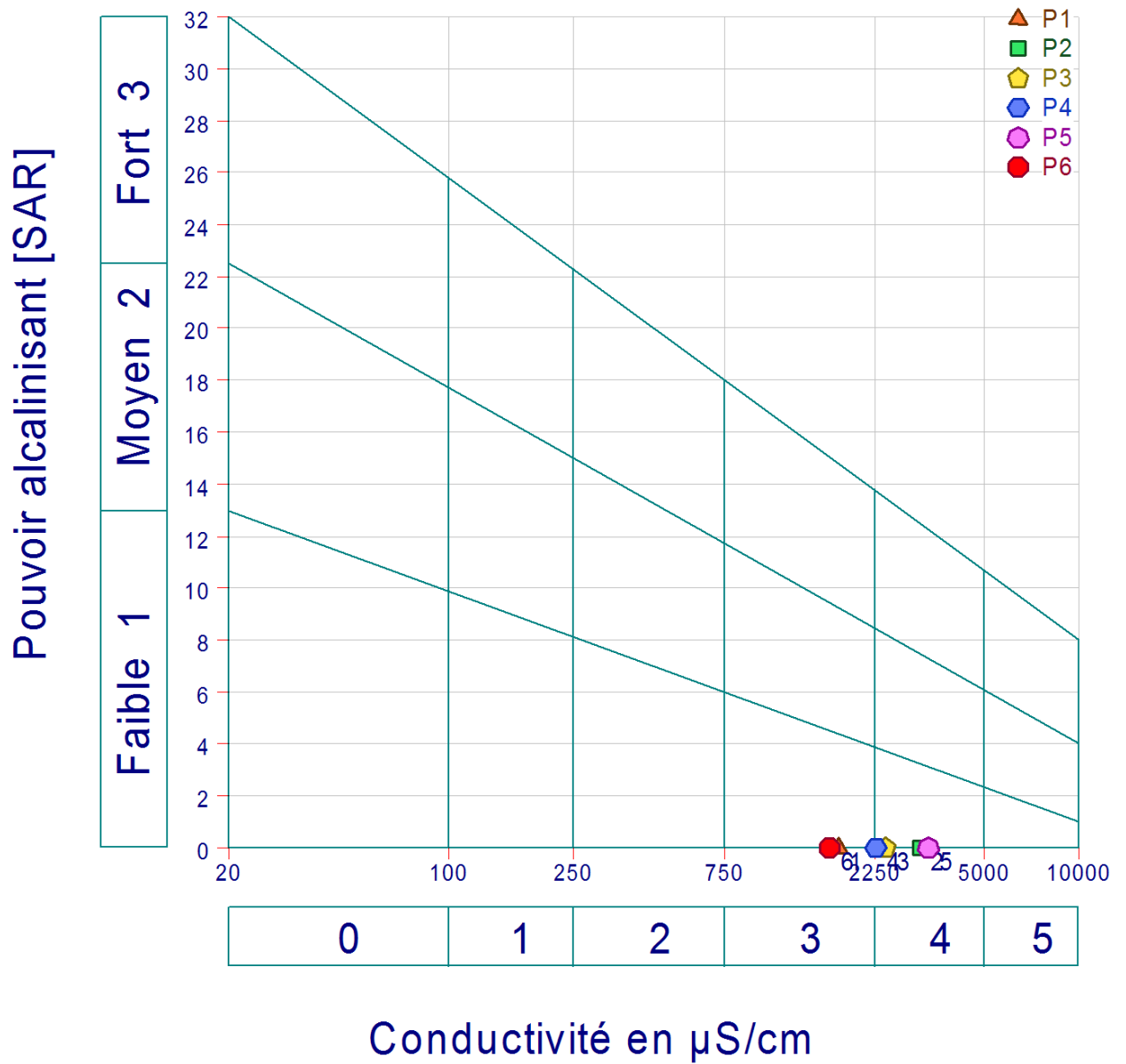


Figure 35 : Diagramme de classification des eaux d'irrigation des puits de Laghouat

Conclusion

les résultats d'analyses physicochimiques montrent que les eaux de la nappe phréatique de la vallée de M'Zab sont caractérisées par pH neutre et une conductivité élevés par rapport à la CE des eaux de Laghouat et Ouargla, le premier est moins élevé que le 2eme (sebkha et chotte), avec une grande augmentation de la concentration de quelques éléments chimiques tels que : (Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} Cl^- , SO_4^{2-}) et d'autres éléments presque nul tel que (NH_4^+ , NO_2^- et PO_4^-).

le faciès chimiques prédominant est le faciès Chlorurés et sulfatés calcique et magnésienne.

Donc a partir tous les classification utilisés dans cette étude (Reverside, Piper, Schoeller – Berkloff). On peut affermie le type des eaux de la région Ghardaïa, par comparaison avec les eaux de Laghouat et Ouargla. L'utilisation de ces eaux pour l'AEP sans traitement préalable est déconseillé pour la région de Ghardaïa et Laghouat, tandis que les eaux de Ouargla sont totalement refusée pour AEP, de point de vue agricole, les eaux phréatiques des trois régions ne conviennent généralement pas à l'irrigation mais pouvant être utilisé sous certaines conditions, pour certaines cultures dans certains sols.

CONCLUSION

Ce travail entrepris dans la vallée du M'Zab a porté principalement sur la caractérisation et l'évaluation hydrochimique de la nappe phréatique dans les communes de Ghardaïa et Bounoura. Pour répondre aux objectifs fixés nous portons les points suivants dans la conclusion qui en découle :

De point de vue climatique, la région d'étude se caractérise par un climat typiquement Saharien avec une pluviométrie moyenne annuelle de 101 mm; dont le mois le plus pluvieux est Septembre et le mois le plus sec est Juillet avec des valeurs respectives de 17 mm et de 2 mm.

L'identification géologique de la vallée du M'Zab a permis de mettre en évidence les formations aquifères, il s'agit notamment des alluvions quaternaires qui tapissent le fond de la vallée et des calcaires dolomitiques du Turonien.

La description hydrogéologique a porté sur la caractérisation de trois formations aquifères, il s'agit de la formation alluvionnaire Quaternaire, du milieu carbonaté du Turonien et des roches détritiques du Continental Intercalaire.

L'utilisation de différentes méthodes de classifications des eaux phréatiques de la vallée de M'Zab (Ghardaïa et Bounoura) telles que les classifications de Schoeller-Berkaloff et Piper montrent l'existence d'un faciès chimique dominant qui est le faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien, et par comparaison avec les eaux phréatiques de la région de Laghouat et Ouargla on a remarqué qu'ils ont le même faciès dominant. Le calcium est le cation dominant pour la majorité des eaux analysées à la région de Ghardaïa et Laghouat, et pour Ouargla le magnésium est le plus dominant. En revanche parmi les anions, les sulfates dominent dans la plupart des points d'eau à Ghardaïa et Laghouat, suivi par la région d'Ouargla les chlorures sont les anions dominant.

L'évaluation hydrochimique des eaux phréatique de la vallée de M'Zab (Ghardaïa et Bounoura) a révélé que la plupart des eaux sont chargées en sels et qu'elles présentent un danger de salinité allant du fort (C4) à excessif (C5). Quant à l'appréciation du danger d'alcalinité, les eaux se distinguent par la classe faible (S1), par comparaison avec les eaux phréatiques de Laghouat et Ouargla qu'ils ont la même classe. De point de vue potabilité, la majorité des eaux de la nappe phréatique sont de qualité médiocre et donc impropre à la consommation humaine.

L'analyse statistique de matrice de corrélation à la région de Ghardaïa montre que la conductivité électrique est fortement corrélée avec les chlorures, le sodium, le magnésium, et moyennement avec le calcium et les sulfates. Aussi une bonne corrélation est enregistrée entre $(\text{Na}^+ - \text{Cl}^-)$, $(\text{HCO}_3^- - \text{Mg}^{+2})$ et $(\text{K}^+ - \text{Ca}^{2+})$.

Nous avons tenté, par ce modeste travail, de contribuer à l'identification de la nappe phréatique du M'Zab mais ce qui reste à étudier est encore très vaste, et les problèmes menaçant sur

cette nappe sont nombreux, et pour garder cette richesse de toute type de pollution , nous recommandons par la suite de réaliser les études suivants :

- ✚ Une étude hydrochimique détaillée pour l'ensemble de la vallée du M'Zab.
- ✚ L'identification exacte du réservoir et principalement les épaisseurs des alluvions sur toute la vallée à l'aide des forages carottiers ou la géophysique.
- ✚ L'influence de l'irrigation et les rejets domestiques sur la qualité des eaux qui exige un suivi régulier des teneurs en éléments de pollution.
- ✚ Analyse des rejets industrielles et une séparation des réseaux d'assainissement industrielles et domestiques

La nappe alluviale du M'Zab peut être considérée comme une ressource d'eau permanente car elle est renouvelable mais elle est très vulnérable à la pollution ce qui nécessite un plan de réhabilitation et des mesures de protection et d'intervention en cas de contamination.

Enfin, il est souhaitable de poursuivre ce travail en faisant une extension spatiale de la zone d'étude, afin de mieux comprendre la variabilité spatiale de la salinité des eaux phréatiques dans la vallée du M'Zab.

ANNEXES

Annexe 01

les puits	X	Y	Z (m)	profondeur(m)	NP (m)
P01	565712	3595615	538	12.8	525,17
P02	565772	3595638	541	13.5	527,5
P03	566353	3593226	506	2.3	503,7
P04	566411	3593242	507	2.7	504,3
P05	566397	3593267	508	3.8	504,24
P06	566422	3593291	508	3.6	504,45
P07	566451	3593238	510	2.7	507,27
P08	566214	3593228	517	7.9	509,1
P09	562561	3595487	530	5	525
P10	562394	3595526	527	6.5	520,5
P11	562385	3595539	517	7.5	509,5
P12	562338	3595470	509	4	505
P13	564274	3594274	491	8	483

*Annexe 02***Les bulletins d'analyses des eaux de Ouargla**

La nappe phréatique

Daira : N'Goussa

Commune : N'Goussa

Localité : N'Goussa

Nappe captée : Phréatique

Profondeur : 1 à 2 m

Date d'analyse : Juin 2007

Paramètre		N'Goussa 1	N'Goussa 2	N'Goussa 3
PH		7,4	7,6	7,2
Conductivité	μs/cm	6 700	8 400	6 700
Température in situ	°C	24	18	18
Minéralisation totale	mg/l	2 300	20 800	19 300
Calcium	mg/l	681,3	881,7	841,6
Magnésium	mg/l	133,6	170,1	594,3
Sodium + Potassium	mg/l	57,4	27,4	203,6
Chlorures	mg/l	520	17 440	14 677,5
Sulfates	mg/l	395,6	1 203,9	2 286,1
Bicarbonates	mg/l	351,9	920,7	586,5
TAC	°F	28,8	75,4	48
Fer	mg/l	14,2	4,8	12,6
Zinc	mg/l	TRC	3,5	TRC

La nappe phréatique

Daira : Ouargla

Localité : Ouargla, Rouissat et Aïn Baïda

Profondeur : 1 à 2 m

Date d'analyse : Juin 2007

Paramètre		Ba-Mendil (Ouargla)	Saïd 1 (Ouargla)	Rouissat	Adjadja (Aïn Baïda)
PH		7,8	7,3	7,9	7,5
Conductivité	µs/cm	20 000	40 000	5 000	6 000
Température in situ	°C	18	18	18	23
Minéralisation totale	mg/l	5 700	10 000	2 800	26 100
Calcium	mg/l	1 202	1 162,3	641,28	601,2
Magnésium	mg/l	89,9	651,37	77,7	658,2
Sodium + Potassium	mg/l	177,2	100	36,2	92,8
Chlorures	mg/l	2 700	6 320	940	20 560
Sulfates	mg/l	673,4	1 250,5	744,7	3 606,3
Bicarbonates	mg/l	703,84	230,2	0	114,4
TAC	°F	57,6	18,8	0	91,3
Fer	mg/l	14,4	12,4	11,4	15,2
Zinc	mg/l	TRC	TRC	0,2	TRC

Annexe 03

Les Bulletins d'analyses des eaux de Laghouat

BULTIN D'ANALYSE N° 1					
Renseignement fondamentaux		puits N°1 Date de prélèvement : 09/03/2005			
Paramètre physico-chimique					
Température		°C			17,3
pH		-			7,4
Conductivité		µs/cm			2040
O ₂ dissous		mg/l			13,91
Degré de saturation		%			159,3
Turbidité		NTU			0,3
TDS		mg/l			1028
Salinité		‰			1,0
Rs		mg/l			1516
MG		mg/l			2170,56
Minéralisation					
Cations	méq/l	mg/l	mg/l	méq/l	Anions
Calcium	7,99	160,11	252,86	7,134	Chlorure
Magnésium	6,14	74,6	574,45	11,923	Sulfates
Sodium	8,4	193,2	154,86	2,52	Bicarbonates
Potassium	0,075	2,96	15,1	0,243	nitrites
Totale	22,60			21,82	Totale
Pourcentage d'erreur		1,75%			
Eléments indésirables					
Br ₂		mg/l			< 0,25
I ₂		mg/l			< 0,05
Cl ₂		mg/l			< 0,05
Paramètre de pollution					
Ammonium		mg/l			< 0,02
Nitrate		mg/l			15,1
Nitrite		mg/l			< 0,033
Autres paramètres					
TH		°F			70,65
TA		°F			0
TAC		°F			12,6
Autres mg/l					
SiO ₂					9,1

BULTIN D'ANALYSE N° 2					
Renseignements fondamentaux		puits N°2 Date de prélèvement : 09/03/2005			
Paramètre physico-chimique					
Température		°C			16,6
pH		-			7,4
Conductivité		µs/cm			3920
O ₂ dissous		mg/l			14,21
Degré de saturation		%			158,8
Turbidité		NTU			0,6
TDS		mg/l			2030
Salinité		‰			2,1
Rs		mg/l			3056
MG		mg/l			4237,52
Minéralisation					
Cations	mécq/l	mg/l	mg/l	mécq/l	Anions
Calcium	18,52	371,2	528,06	14,9	Chlorure
Magnésium	12,28	153,8	1117,36	23,26	Sulfates
Sodium	10,5	211,5	147,7	2,42	Bicarbonates
Potassium	0,34	13,2	26,6	0,42	nitrites
Totale	41,64			41	Totale
Pourcentage d'erreur		0,7%			
Eléments indésirables					
Br ₂		mg/l			< 0,25
I ₂		mg/l			0,05
Cl ₂		mg/l			< 0,02
Paramètre de pollution					
Ammonium		mg/l			< 0,026
Nitrate		mg/l			26,6
Nitrite		mg/l			< 0,033
Autres paramètres					
TH		°F			154,05
TA		°F			0
TAC		°F			12,1
Autres mg/l					
SiO ₂		14			

BULTIN D'ANALYSE N° 3					
Renseignement fondamentaux puits N°3 Date de prélèvement : 09/03/2005					
Paramètre physico-chimique					
Température		°C			16,9
pH		-			7,2
Conductivité		µs/cm			2700
O ₂ dissous		mg/l			13,82
Degré de saturation		%			155,3
Turbidité		NTU			0,1
TDS		mg/l			1377
Salinité		‰			1,4
Rs		mg/l			2120
MG		mg/l			2897,1
Minéralisation					
Cations	méq/l	mg/l	mg/l	méq/l	Anions
Calcium	15,6	312,62	264	7,4	Chlorure
Magnésium	8,77	106,55	1008,7	21	Sulfates
Sodium	6	138	97	1,6	Bicarbonates
Potassium	0,39	15,3	51,3	0,82	nitrates
Totale	30,76			30,82	Totale
Pourcentage d'erreur		0,1%			
Eléments indésirables					
Br ₂		mg/l			< 0,25
I ₂		mg/l			< 0,05
Cl ₂		mg/l			< 0,02
Paramètre de pollution					
Ammonium		mg/l			0,1161
Nitrate		mg/l			0,82
Nitrite		mg/l			0,033
Autres paramètres					
TH		°F			121,85
TA		°F			0
TAC		°F			8
Autres mg/l					
SiO ₂					11,2

BULTIN D'ANALYSE N° 4					
Renseignement fondamentaux puits N°4 Date de prélèvement : 09/03/2005					
Paramètre physico-chimique					
Température		°C			16,4
pH		-			7,6
Conductivité		µs/cm			3020
O ₂ dissous		mg/l			14,14
Degré de saturation		%			157,1
Turbidité		NTU			1
TDS		mg/l			1582
Salinité		‰			1,6
Rs		mg/l			1936
MG		mg/l			3279,72
Minéralisation					
Cations	méq/l	mg/l	mg/l	méq/l	Anions
Calcium	15,6	312,624	278	7,84	Chlorure
Magnésium	8,97	108,98	826,8	17,15	Sulfates
Sodium	2,55	58,65	116,3	1,9	Bicarbonates
Potassium	0,295	11,64	25,3	0,4	nitrates
Totale	27,41			27,29	Totale
Pourcentage d'erreur		0,2 %			
Eléments indésirables					
Br ₂		mg/l			< 0,25
I ₂		mg/l			< 0,05
Cl ₂		mg/l			< 0,02
Paramètre de pollution					
Ammonium		mg/l			< 0,02
Nitrate		mg/l			25,3
Nitrite		mg/l			< 0,033
Autres paramètres					
TH		°F			122,85
TA		°F			0
TAC		°F			9,5
Autres mg/l					
SiO ₂					11,5

BULTIN D'ANALYSE N° 5					
Renseignement fondamentaux puits N°5 Date de prélèvement : 09/03/2005					
Paramètre physico-chimique					
Température		°C			16,8
pH		-			7,3
Conductivité		µs/cm			3810
O ₂ dissous		mg/l			13,77
Degré de saturation		%			154,3
Turbidité		NTU			0,12
TDS		mg/l			973
Salinité		‰			2
Rs		mg/l			2924
MG		mg/l			4095,75
Minéralisation					
Cations	méq/l	mg/l	mg/l	méq/l	Anions
Calcium	16,5	330,66	389	10,97	Chlorure
Magnésium	10,67	129,64	1089,5	22,68	Sulfates
Sodium	3,27	75,21	110	1,8	Bicarbonates
Potassium	8,97	350,72	34,7	0,55	nitrates
Totale	39,41			36	Totale
Pourcentage d'erreur		4,52 %			
Éléments indésirables					
Br ₂		mg/l			< 0,25
I ₂		mg/l			0,05
Cl ₂		mg/l			< 0,02
Paramètre de pollution					
Ammonium		mg/l			< 0,02
Nitrate		mg/l			34,7
Nitrite		mg/l			0,007
Autres paramètres					
TH		°F			160,85
TA		°F			0
TAC		°F			9
Autres mg/l					
SiO ₂					14,8

BULTIN D'ANALYSE N° 6					
Renseignement fondamentaux puits N°6					
Date de prélèvement : 09/03/2005					
Paramètre physico-chimique					
Température		°C			16,8
pH		-			7,6
Conductivité		µs/cm			1935
O ₂ dissous		mg/l			13,61
Degré de saturation		%			152,8
Turbidité		NTU			0,46
TDS		mg/l			971
Salinité		‰			1,6
Rs		mg/l			41592
MG		mg/l			2080,125
Minéralisation					
Cations	méq/l	mg/l	mg/l	méq/l	Anions
Calcium	11,7	234,4	243,2	6,86	Chlorure
Magnésium	4,29	52,1	456,3	9,5	Sulfates
Sodium	2,5	57,5	91,5	1,5	Bicarbonates
Potassium	0,19	7,51	31	0,5	nitrates
Totale	18,86			18,36	Totale
Pourcentage d'erreur	1 %				
Eléments indésirables					
Br ₂		mg/l			< 0,25
I ₂		mg/l			< 0,05
Cl ₂		mg/l			< 0,02
Paramètre de pollution					
Ammonium		mg/l			< 0,02
Nitrate		mg/l			31
Nitrite		mg/l			< 0,009
Autres paramètres					
TH		°F			79,95
TA		°F			0
TAC		°F			7,5
Autres mg/l					
SiO ₂	9,5				

Annexe 04

Tableau des donnés de la région de Ghardaïa

les puits	Date	T°C	pH	CE ($\mu\text{s/cm}$)	SO ₄ ⁻ (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	TH (°F)	Mg ²⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	OPO ₄ ³⁻ (mg/l)
P01	16-02-2015	15.8	7.6	4810.0	563.8	0.1	0.0	18.1	893.4	70.8	490.0	15.8	2800.0	315.9	601.2	0.0
P02		16.0	7.4	5060.0	609.1	0.1	0.0	17.6	936.0	87.8	537.5	15.0	2930.0	364.5	573.1	0.0
P03	17-02-2015	16.2	8.1	4180.0	1687.4	0.1	1.1	19.9	879.2	65.9	500.0	23.0	1900.0	230.9	380.8	0.0
P04		16.0	7.6	5220.0	2127.7	0.0	0.0	20.1	1106.1	83.0	715.4	35.0	2420.0	289.2	493.0	0.0
P05		15.2	7.6	4480.0	1790.2	0.0	0.0	21.4	907.6	73.2	550.0	31.7	2120.0	247.9	440.9	0.0
P06		15.2	7.5	5510.0	2205.9	0.1	0.0	22.1	1049.4	75.6	650.0	36.7	2150.0	245.4	456.9	0.0
P07		15.5	7.6	5290.0	2247.1	0.1	0.0	25.6	1077.8	97.6	587.5	38.3	2420.0	260.0	541.1	0.1
P08		15.3	7.5	4600.0	2049.5	0.0	0.0	24.8	921.8	73.2	562.5	27.5	2300.0	250.3	509.0	0.0
P09	18-02-2015	15.2	7.2	4820.0	2510.5	0.1	0.1	19.8	794.1	83.0	500.0	27.5	2750.0	364.5	501.0	0.1
P10		15.5	7.3	4780.0	2345.8	0.0	0.0	18.1	723.2	78.1	450.0	30.0	2620.0	320.8	521.0	0.2
P11		15.6	7.3	4040.0	1234.7	0.0	0.0	19.1	652.3	85.4	420.0	15.0	2000.0	209.0	456.9	0.0
P12		18.1	6.8	5570.0	2597.3	0.0	0.0	15.8	951.4	26.7	431.0	40.0	336.8	563.3	420.8	0.0
P13		16.9	6.8	3260.0	820.3	0.0	0.0	10.5	653.2	18.3	370.0	50.0	110.6	99.6	279.0	0.1

Annexe 05

Quelques puits échantillonnés



**RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

1. **Achour. M, 2010** : Inventaire des Forages d'eau et Enquête sur Les Débits Extraits de La Wilaya de Ghardaïa **A.N.R.H**; Ghardaïa, Algérie ; p7-p11.
2. **Achour. M, 2011** : note de synthèse sur les premières mesures piézométriques en utilisant les nouveaux piézomètres captant la nappe du ci dans la wilaya de Ghardaïa **A.N.R.H** ; Ghardaïa, Algérie.
3. **Achour. M, 2014** : Vulnérabilité et protection des eaux souterraines en zone aride : cas de vallée de M'Zab Ghardaïa-Algérie mémoire de magister, université d'Oran. P4-p15- p19-p54.
4. **Achour. S, Youcef. L, 2001** : Excès des fluorures dans les eaux du Sahara septentrional oriental et possibilité de traitement. E.I.N. International, N°6, pp 47-54
5. **A.N.R.H, 2009** : Rapport de fin du sondage, forages de renforcement BERRIANE-DAYA-GHARDAIA-EL ATTEUF-METLIL, Rapport de SHAOLIN, Ghardaïa.
6. **A.N.R.H, 2010** : Rapport de fin du sondage, forage d'eau potable MOUDJAHIDINE - CNAS Rapport de SHAOLIN, Ghardaïa.
7. **Babker. R, 2010** : Contribution à l'étude hydrogéologique des zones arides exemple « la Vallée du M'Zab » Wilaya de Ghardaïa. Mémoire d'ingénieur, U.S.T.H.B., Alger, 133p.
8. **Bel. F, Cuche .D , 1970** : Etude des nappes du complexe terminal du bas Sahara. Données géologiques et hydrogéologiques pour la construction du modèle mathématique, D.H.W., Ouargla.
9. **Bellaoueur. A, 2008** : Etude hydrogéologique des eaux souterraines de la région de Ouargla Soumise à la remontée des eaux de la nappe phréatique et Perspectives de solutions palliatives (Sahara Nord-Est Septentrional - Algérie). mémoire de magister, Université El-Hadj Lakhdar – Batna.
10. **Bensaha. H, Bensaha. L, Achour. M, 2010** : Réflexion pour préserver l'environnement la vallée du M'Zab ; Ghardaïa, Algérie ; 13p
11. **Benzayet. B, 2010** : Evaluation hydrochimique des eaux souterraines de la vallée du M'Zab: Cas de Oued Labiod. Mémoire d'ingénieur, El Harrach, E.N.S.A. 19p-21p.
12. **Bouchahm. N, Achour. S, 2008** : Hydrochimie des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional algérien – Identification d'un risque de fluorose endémique. La houille blanche, N° 02, pp76-82.
13. **Boudjema. A, 1987** : Evolution structurale du bassin pétrolier triasique du Sahara Nord oriental (Algérie). Thèse Universitaire Paris XI Orsay, 290p.
14. **Busson. G, 1970** :Le Mésozoïque saharien. 2 ème partie : Essai de synthèse des données de sondages algéro-tunisiens. Publication de Centre de la Recherche des zones arides (C.N.R.S), Série Géologie, vol.2, n.11, 810p.
15. **Busson. G, 1989** : Dynamique sédimentaire de plate-forme épicontinentale: Le crétaé moyen du Sahara algéro-tunisien. Paris, Association des sédimentologues Français, 144p.

16. **C.D.T.N. 1992** : Etude hydrochimique et isotopique des eaux souterraines de la cuvette de Ouargla, rapport.
17. **Christiane. J, et Noel. J, 1999** : Microbiologie alimentaire . 5éme édition Aquitaine
18. **Daddi Bouhoun. M, 1997** : Contribution à l'étude de l'évolution de la salinité des sols et des eaux d'une région saharienne : cas du M'Zab. Thèse Magister, El-Harrach, I.N.A, 180p.
19. **Dedjell. Y, Bendrissou. R, 2011** : Approche qualitative des eaux de la nappes phréatique de la région de Ghardaïa : cas de la palmeraie est de la ville de Ghardaïa. 26p - 27p – p29.
20. **D.P.A.T, 2009** : annuaire statistique de willaya de Ghardaïa dernières modifications octobre.2012.
21. **kouidri. A, 2005** : Effets des rejets industriels sur la nappe phréatique de Laghouat, mémoire d'Ingénieur, université Amare Thelgi Laghouat.
22. **Kada. A, Dubost. G, 1975** : Le Bayaud à Ghardaïa. Bulletin de l'Agronomie saharienne, n.1, pp 29-61.
23. **Megdoud. M, 2003** : QUALITÉ DES EAUX DU SAHARA SEPTENTRIONAL Journées techniques et scientifiques sur la qualité des eaux du Sud, El Oued, les 19 et 20 mai 2003.
24. **Miourigh. M, 2011** : Evaluation hydrochimique des eaux souterraines de la vallée du M'Zab: Cas de l'Oued N'Tissa. Mémoire d'ingénieur, El Harrach, E.N.S.A. 26p -28p.
25. **ONM, 2014**: Office national de Météo.
26. **O.R.G.M, 1999** : Livret des substances utiles non métallique de l'Algérie; wilaya de Ghardaïa, Rapport de l'Offi. Rég. Géol. Min., Boumerdès, 34p.
27. **Rodier. J, 1996** : L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, Ed. Dunod, 8ème Edition, Paris, 1383p.
28. **Rodier. J, 2005** : Analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Éd. Dunod, Paris, 1383p.
29. **Rodier. J, 2009** : L'analyse de l'eau, 9 éme éd, Paris, 1579p
30. **Taleb Bahmed, 2008** : Evaluation hydrochimique des eaux souterraines de la vallée du M'Zab: Cas de la région d'El-Atteuf. Mémoire d'ingénieur, El Harrach, E.N.S.A. 16p.
31. **USSL, 1954** : Diagnostic and improvement of saline and alkali soil, Washington, Richards LA, 160 p.
32. **Sit web:**

<https:// Google earth.com/>

<https:// tutiempo.net/>

المخلص

يتميز وادي مزاب بمناخ جاف، في الواقع تعتبر المياه الجوفية المصدر الرئيسي لتلبية الاحتياجات الزراعية وتوفير المياه الصالح للشرب للسكان.

الغرض من هذا العمل هو تحديد خصائص مياه الجوفية في وادي مزاب، تحقيقاً لهذه الغاية، سلسلة من القياسات والتحليلات الفيزيائية والكيميائية للمياه الجوفية في وادي مزاب (بنورة غرداية) لثلاثة عشرة نقطة مياه، هذا يسمح بتمييز نوعية المياه الجوفية بالمقارنة مع المياه في منطقة الأغواط و ورقلة، لاستخدامها في الفلاحة وحتى لإمدادات مياه الشرب. أظهرت نتائج تحليل أن الملف الكيميائي السائد هو الملف الكوردي و الكبريتي، الكالسيوم والمغنيسيوم.

معظم المياه لديها قيم مرتفعة نسبياً للموصلية الكهربائية تتراوح بين 3260-5570 ميكروسيمانس/سم، أنها تشكل خطراً الملوحة المقابلة على الطبقات ريفرسايد التي يعرضها الرسم البياني، في تقييم خطر القلوية، تصنف المياه في فئة الخطر المنخفض.

أما من ناحية صلاحية مياه للشرب، فالمياه الجوفية المدروسة في وادي مزاب ذات نوعية رديئة، وبالتالي غير صالحة للاستهلاك البشري.

كلمات المفتاحية: الموصلية الكهربائية، غرداية، المياه الجوفية، سهل وادي مزاب.

Résumé

La vallée du M'Zab se caractérise par un climat aride. En effet les eaux souterraines sont considérées comme la source principale pour la satisfaction des besoins agricoles et l'alimentation en eau potable de la population. L'objet de ce travail est de caractériser les eaux de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab. A cette effet, Une campagne de mesures et d'analyses physico-chimiques sur les eaux phréatique de la vallée de M'Zab cas de Ghardaïa (Bougdmma) et Bounoura, portant sur 13 points d'eau a permis de caractériser la qualité des eaux phréatique et par comparaison avec les eaux de la région de Laghouat et Ouargla, en vue de leurs utilisation dans l'irrigation et même pour l'alimentation en eau potable. Les résultats d'analyse ont révélé le faciès chimique dominant est le faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien. La plupart des eaux présentent des valeurs relativement élevées de la conductivité électrique allant de 3260 à 5570 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Elles présentent un danger de salinité correspondant sur le diagramme de Riverside aux classes (C4) et (C5). pour l'appréciation du danger d'alcalinité, les eaux se distinguent par la classe du faible danger (S1). Du point de vue potabilité, les eaux étudiée de la nappe phréatique dans la vallée de M'Zab sont de qualité médiocre et donc impropre à la consommation humaine.

Mots clés: Conductivité électrique, Ghardaïa, Nappe phréatique, Vallée du M'Zab.

Abstract

The M'Zab's valley is characterized by an arid climate. In fact, groundwater is the main source for agricultural needs and drinking water of the local population. The objectif of this study is to characterize the waters of the shallow aquifer in the M'Zab's valley. In this way, a series of measurements and physico-chemical analysis of the shallow water in the M'Zab's valley (Ghardaïa-Bounoura) on 13 wells of water allowed to characterize the chemistry of groundwater by a comparison with water of the area of Laghouat and Ouargla, for use in irrigation and even for drinking water.

The chemical facies dominating is the chloride and calcium sulfate and magnesium. Most water have relatively high values of electrical conductivity ranging from 3260-5570 $\mu\text{S}/\text{cm}$. They present a hazard corresponding salinity on Riverside diagram classes (C4) and (C5). In assessing the danger of alkalinity, the waters are distinguished by the class of low hazard (S1). From drinking, the majority waters of the shallow aquifer of the M'Zab's valley are of bad quality and unfit for human consumption.

Key words: Electrical conductivity, Ghardaïa, M'Zab's valley, shallow aquifer.