

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA
FACULTÉ DES HYDROCARBURES, DES ÉNERGIES RENOUVEALABLES ET
DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

Département des Sciences de la Terre et de l'Univers.



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En Vue De L'obtention Du Diplôme de Master en Géologie

Option : Hydrogéologie

THEME

**Caractérisation hydro chimiques des eaux de la nappe libre
dans la région d'Oued Righ**

Soutenu publiquement par :

M^{elle} Naceur zineb

Le24 /05/2016

Devant le jury :

Président :	M. BOUSELSAL Boulem	M. A. A Univ. Ouargla
Promoteur :	M. BELKSIER Med Saleh	M. A. A Univ. Ouargla
Co-promoteur :	M. KECHICHED Rabeh	M. A. A Univ. Ouargla
Examineur :	BELLAOUER Abed Aziz	M. A. A Univ. Ouargla

في الجزائر يقع واد ريف في حوض الصحراء الشمالية وينتمي كذلك الى امتدادات الأنظمة البخارية للشمال الأفريقي. ينخفض هذا الواد على سطح البحر لتصل الى 20 متر تحت سطح البحر بالتقريب. تتميز هذه المنطقة بمناخ صحراوي جاف حيث تصل درجات الحرارة صيفا 50 درجة مئوية وتنخفض لتصل الى حدود الصفر درجة مئوية في فصل الشتاء. يغذي واد ريف عن طريق مياه السقي والتوزع الحضاري ومياه الآبار حيث ضعف سقوط الامطار يؤدي الى تلف الأنابيب وذوبان الطبقة المائية للمركب النهائي. قبل ان نمر على الطرق الأفضل لاستغلال الموارد المائية قمنا بدراسة المياه السطحية تبين بالتحليل الهيدروكيميائية أن نوعية المياه رديئة مع وجود تلوث وارتفاع نسبة الملوحة. إن ملوحة المياه والتي هي من أصل جيولوجي في تركيب تربة المنطقة هي أيضا في ازدياد بسبب الاستغلال المائي السيئ من قبل الإنسان سببه التلوث الحاصل عن طريق قنوات الصرف الصحي. في النتيجة المشكلة الرئيسية ليست في الكمية بل في النوعية لذلك يجب وضع قوانين واضحة وصارمة من اجل تحسين الاستغلال المائي لتحسين التركيبة النوعية للمياه وبحيث تضمن هذه القوانين معايير مياه الشرب العالمية قبل وضعها للاستهلاك البشري.

كلمات مفتاحية : الصحراء الشمالية-واد ريف - الجيب الحر - فرط الجفاف — الملوحة.

Résumé

En Algérie, la vallée Oued Righ est située dans le Sahara septentrional, font partie des grandes étendues, lagunaires de l'Afrique du Nord, l'altitude de ces vallée est inférieure au niveau de la mer environ (-20m). La région est aractérisée par un climat saharien, avec des températures qui dépassent les 50°C en période d'été, et des températures basses qui peuvent descendre jusqu'à 0°C en hiver. La vallée oued Righ est alimentée par les eaux d'irrigation et de distribution urbaine, les eaux des forages dont les tubages sont détériorés par les faibles précipitations et par les percolations des nappes de complexe terminale. Les pertes sont surtout le fait de l'évaporation. Dans l'ensemble, l'analyse hydrochimique a montré la très mauvaise qualité des eaux superficielles et l'existence d'une pollution anthropique se traduisant par des valeurs importantes en chlorures. La salinité des eaux, dont une partie est d'origine géologique s'accroît continuellement par une mauvaise gestion de la ressource. Cette salinisation de la ressource en eau est aggravée le plus souvent par les rejets domestiques (eaux d'assainissements) et les eaux de drainages, ce qui la rend impropre. On déduit que dans cette région il n'y a pas un problème de quantité mais plutôt de qualité, pour cela il faut exiger des rigoureux critères pour améliorer la qualité chimique de l'eau et garantir sa potabilité dans les normes internationales, avant de la mobiliser aux consommateurs particulièrement humains.

Mots clés : Sahara septentrional -Oued Righ- nappe phréatique- La salinité- hyperaride.

Absract

In Algeria, Oued Righ valley is located in the northern Sahara, is part of large areas, lagoon of North Africa, the altitude of the valley is below sea level about (-20m). The area is characterized by a Saharan climate, with temperatures that exceed 50 ° C in the summer period, and low temperatures that can drop to 0 ° C in winter. The Wadi Righ valley is fed by irrigation water and urban distribution, water boreholes casings are damaged by low rainfall and seepage of complex webs terminale. the losses are mainly the result of evaporation. Overall, the hydrochemical analysis showed the very poor quality of surface water and the existence of anthropogenic pollution resulting in high values of chlorides. The water salinity, part of which is of geological origin is increasing continuously by poor resource management. This salination of water resources is compounded mostly by domestic releases (remediation of water) and water drainage, which makes it unsuitable. We deduce that in this region there is no a problem of quantity but of quality, for that it must require rigorous criteria to improve water chemical quality and ensure potability in international standards before the particularly to mobilize human consumers.

Keywords : Northern Sahara -Oued Righ- tablecloth phréatique- The salinité- hyper.

DEDICACE

*Je dédie ce modeste travail à ceux qui me
Sont les plus chers au monde
A la mémoire de
Mon père qui nous a quittés,
Allah yarhmo, Je prie dieu le tout puissant de t'accueillir en son vaste paradis.
A ma très chère mère, qui a su m'élever,
Et m'orienter vers le droit chemin par la grâce d'allah,
C'est également l'exemple d'une mère généreuse qui s'est sacrifiée jour après jour
Pour notre bonheur, qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde
reconnaissance.
A mes très chers frère ibrahim et sœur chaimaa
A tous mes cousins sans exception
A toute ma famille
A toutes mes amies dont Amina, Djahida, Isra, Lora Flora, Amira, Ouanissa,
Messaoud, Fatima.*

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je souhaite exprimer ma gratitude et mes remerciements à tous les intervenants et à toutes les personnes universitaires, professionnelles ou autres qui, de près ou de loin, ont contribué à sa réalisation, en particulier :

Monsieur Mouhamed BELKESIER pour la confiance dont il m'a gratifiée en acceptant d'encadrer les travaux de ce mémoire en se préoccupant constamment de son avancement **Mr. Rabah KECHICHED** qui a accepté de diriger ce travail et a veillé au bon déroulement. Je le remercie vivement d'avoir toujours été là. Il n'a jamais épargné un effort, à me faire profiter de son expérience. Ses encouragements ont été nécessaires au bon déroulement du mémoire

Monsieur Boualem BOUSELSAL de l'Université Kasdi Merbah de OUARGLA, qui a bien voulu me faire l'honneur de présider le jury, je le remercie pour sa disponibilité et qu'il trouve ici toute ma gratitude.

Monsieur Abed Aziz BELLAOUER, de l'Université Kasdi Merbah de OUARGLA d'avoir accepté de juger ce travail et de participer au jury, qu'il me soit ainsi permis de le remercier sincèrement.

Je remercie aussi l'ensemble du personnel de l'A.N.R.H de Tougourt (Agence Nationale des Ressources Hydraulique), Mr. Salim, Mr.saleh, Mr ismail ,Mr Bentaleb et Melle Aicha et Meme Zakia et en particulier grand merci de **Mr SAYAH LMEBEREK Youcef**, qui a permis de faciliter l'exploitation de ce mémoire et pour leurs conseils .

Je témoigne mon amitié à tous mes collègues de la faculté des hydrocarbures des énergies renouvelables, des sciences de la terre et de l'univers de l'université de Kasdi Merbah – Ouargla pour les bons moments passés ensemble et les échanges scientifiques.

Je voudrais remercier, à travers ce mémoire, tous les enseignants du département de Géologie 2015/2016 qui nous ont constamment été d'un immense soutien tout au long de ce travail et j'adresse une pensée particulière à **Mr NEZLI Imad, Mr. MEDJANI Fathi, Mr. DJIDEL Mohammed, Mr. ZEDDOURI A., Mr. BENFARJELLA**, sans oublier **Mr. KADRI Mahdi**, pour tout l'encouragement qu'il m'a donné pour terminer ce travail

Avant de terminer, je dois remercier ma famille pour son encouragement, son soutien et sa patience.

SOMMAIRE

Dédicace	
Remerciements	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction général.....	01
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA REGION	
Introduction.....	03
I- Situation géographique.....	03
1-Situation géographique et administrative de la vallée d'Oued Righ.....	03
2- Géomorphologie et topographie.....	04
3- climat et végétation.....	05
4- Activités économique.....	06
5-Besoin /Ressources en eau.....	07
Conclusion.....	09
CHAPITRE II : GEOLOGIE ET CLIMATOLOGIE	
Introduction.....	10
1 Cadre géologique régional du Bas Sahara	10
2. Cadre stratigraphique et paléontologique de la région d'étude.....	12
2.1. Stratigraphie.....	12
2.1.1. Secondaire.....	12
a) Albien.....	12
b) Vraconien.....	12
c)Cénomaniens.....	12
d) Turonie.....	12
e) Sénonien.....	12
2.1.2.Tertiaire.....	12
a) Eocène.....	12
b) Miopliocène.....	12
2.1.3. Quaternaire.....	13
3. Tectoniques.....	15
3.1 Tectonique générale.....	15
3.2 Paléogéographie	17
4.climatologie.....	19
4.1. Représentation des stations utilisées.....	20
4.2. Analyse des paramètres climatiques.....	20
4.2.1.Précipitations.....	20
4.2.3. Diagramme pluvio- thermique	21
4.2.4. Humidité.....	22
4.2.5. Vitesse des vents.....	23

4.2.6. Durée d'isolation.....	24
4.2.7. La température.....	25
4.2.8. Evaporation	26
4.2.9. Indice d'Aridité de DEMARTONE.....	27
3. 2. BILAN HYDRIQUE.....	28
3. 2. 1. Estimation du bilan hydrique selon la formule de C.W.THORNTHWAITE.....	28
Conclusion	30

CHAPITRE III : HYDROGEOLOGIE

Introduction	34
1. Hydrogéologie régional.....	34
1.1. La nappe de continental intercalaire.....	35
1.2. Les nappes de complexe terminale.....	36
1.3. Nappe phréatique.....	37
Conclusion	39

CHAPITRE IV : HYDROCHIMIE

Introduction :.....	40
IV. Etude des paramètres physico-chimique.....	41
1. Etude paramètres physiques.....	41
1.1. Température.....	41
1.2. Résidu sec.....	41
1.3. Conductivité électrique.....	43
1.4.P.H.....	45
1.5. La dureté totale.....	47
2.Etude paramètres chimiques.....	47
2.1. Etude des cations.....	48
2.1.1. le Calcium.....	48
2.1.2.le Magnésium.....	50
2.1.3.le Sodium et le Potassium.....	52
2.2.Etude des anions.....	54
2.2.1.Chlorures.....	54
2.2.2. le Sulfates.....	56
2.2.3. les Bicarbonates.....	58
2.L'histogramme de concentration des différents éléments.....	60
3. Représentation graphique des données.....	61
3. 1.Aptitude des eaux à l'irrigation.....	61
3. 2.Diagramme de REVERSIDE.....	61
3. 3.Classification des eaux naturelles.....	62
3. 3.1.Classification de STABLER.....	63
3. 3.2.Classification de PIPER.....	66
4.Vulnérabilité à la pollution.....	66
5. Impacte de la nappe phréatique sur les autres nappes.....	67
Conclusion :.....	68
Conclusion générale.....	69
Bibliographie	70
Résumé	

Liste des Figures

Fig.1. situation géographique de la région d'Oued Righ	04
Fig. 2. Formation géomorphologique de la région d'Oued Righ	05
Fig.3. La carte géologique du bas Sahara	12
Fig.4.-Litho- stratigraphie synthétique de la région de d'Oued Righ	16
Fig.5 .Coupe géologique du Sahara septentrional	17
Fig.6. Carte des sous bassins versants du Sahara algérien et des stations météorologiques	21
Fig.7. Carte de situation des stations de mesure (ANRH Ouargla).....	22
Fig. 8. Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Touggourt	23
Fig.9. Variation des Humidités moyennes mensuelles à la station de Touggourt	24
Fig.10. Variation les vitesses de vent moyennes mensuelles à la station de Touggourt	25
Fig.11. Variation des durées d'insolation moyennes mensuelles à la station de Touggourt	26
Fig.12. Variation des températures moyennes mensuelles à la station de Touggourt	27
Fig.13. Variation des évaporations moyennes mensuelles à la station de Touggourt	29
Fig.14 .Diagramme Pluvio-thermique à la station de Touggourt.....	30
Fi g. 15 .Bilan d'eau selon la méthode de THORNTHWAITE - station de Touggourt.....	32
Fig.16 .Carte montrant les nappes aquifères du Sahara Algérien ; Le Continental Intercalaire et Le Complexe Terminal.....	34
Fig.17 .Coupe hydrogéologique transversale du "CI".....	35
Fig.18 . Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrionale	37
Fig.19. Carte d'isovaleurs Résidu sec de la nappe phréatique (Oued Righ).....	42
Fig.20. Carte d'isovaleurs de la conductivité en ms de la nappe phréatique (Oued Righ).....	44
Fig. 21. Carte d'isoteneur en Ca ⁺⁺ (g/l) de la nappe phréatique (Oued Righ).....	49
Fig.22 .Carte d'isoteneur en Mg ⁺⁺ (mg/l) de la nappe phréatique (Oued Righ).....	51
Fig.23. Carte d'isoteneur en Na ⁺⁺ , K ⁺⁺ (mg/l) de la nappe phréatique (Oued Righ).....	53
Fig.24. Carte d'isoteneur en Cl ⁻ (mg/l) de la nappe phréatique (Oued Righ).....	55
Fig.25. Carte d'isoteneur en So ⁴⁻ (mg/l) de la nappe phréatique (Oued Righ).....	57
Fig.26. Carte d'isoteneur en Hco ³⁻ (mg/l) de la nappe phréatique (Oued Righ).....	59
Fig. 27. Concentration moyenne des différents éléments majeurs dessous (nappe phréatique).....	60
Fig.28. Diagramme de Richards des eaux géothermales de la région de l'Oued Righ 2016.....	62
Fig.29.le diagramme de Stabler (la nappe libre 2016).....	65
Fig.30.le diagramme de Piper (la nappe libre 2016).....	66

Liste des Tableaux

Tab.1 : Récapitulatif des besoins et ressources en eau	07
Tab.2 : Population Débit AEP et débit d'irrigation des différente localités.....	08
Tab.3 : Les étapes probables de la tectonique dans le Sahara algérien	18
Tab.4 : Précipitations moyennes mensuelles interannuelles (1975-2014)).....	23
Tab.5 : Humidité relative moyenne mensuelle période d'observation (1975-2014)	24
Tab.6 : Vitesse des vents moyenne mensuelle période d'observation (1975-2013)	25
Tab.7 : La durée d'insolation moyenne mensuelle, période (1975-2014).	26
Tab.8 : représentant la variation des températures moyennes mensuelles à la station de Touggourt période 1975– 2014	27
Tab.9 : L'évaporation moyenne mensuelle, période (1975-2014).	28
Tab.10 : Données des précipitations et des températures moyennes mensuelles.	29
Tab.11 : Indice d'Aridité de DEMARTONE :	30
Tab.12 : Bilan hydrique selon la méthode de THORNTHWAITE pour la station de Touggourt durant la période (1975-2014).....	31
Tab.13 : Synthèse hydrogéologique régionale des différents aquifères.....	38
Tab.14 : Les valeurs de PH de la nappe phréatique dans la région d'Oued Righ	46
Tab.15 : Potabilité en fonction de la dureté.....	47
Tab 16 : Classification de STABLER des eaux de la nappe phréatique).....	64

Liste des abréviations

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

CI : continental intercalaire.

CT : complexe terminal.

OMS : organisation Mondial de Santé.

Introduction général

En Algérie, la zone saharienne, aride, couvre les deux tiers de la superficie du pays. Malgré le caractère hyperaride du climat, cette région renferme deux grands systèmes aquifères dans son sous-sol :

- ☞ les nappes du « Continental Intercalaire », sont très profondes dans le bassin nord oriental, et contenant des eaux chaudes et souvent très minéralisées,
- ☞ les nappes du « Complexe Terminal », sont moins profondes mais salées.

La région d'Oued Righ est une région plus anciennement cultivées et l'une des mieux connues du Sahara septentrional. Elle s'étend sur une longueur de 150 km Sud – Nord et une largeur allant de 20 à 30 km. Est- Ouest.

Elle est constituée d'une cinquantaine d'oasis qui compte totalement environ 16000 ha cultivés et plus d'un million et demi de palmiers dattiers.

Les nappes superficielles (phréatiques) du Sahara sont alimentées par les pluies, les crues des oueds et les eaux de drainage, ou encore par les fuites dans les forages exploitants les nappes sous-jacentes du système aquifère (CT et CI).

Le but de ce mémoire est de présenter l'hydrochimie de cette nappe aquifère pour résoudre certains problèmes locaux.

Cette étude s'articule sur les chapitres suivants :

❖ **Cadre général** :

Expose les activités économiques de la région, l'aspect agricole, les besoins en eau.

❖ **Géologie et Hydroclimatologie** :

J'ai basé sur des données climatologiques de la période (1975-2014).

Décrit la colonne stratigraphique locale et les formations susceptibles d'être aquifères.

❖ **L'hydrogéologie** :

Définit les différents complexes aquifères existants dans la région.

❖ **L'hydrochimie** :

Basée sur les analyses obtenues par les prélèvements sur le terrain **mars 2016** et les données précédentes.

❖ **Conclusion générale.**

Introduction

Dans ce chapitre ; nous allons réaliser une présentation de la zone d'étude en particulier sa situation géographique et son contexte géologique. Ceci va aider l'interprétation des résultats obtenus dans la partie spéciale de ce mémoire.

I. Situation géographique

1-Situation géographique et administrative de la vallée d'Oued Righ

Notre région se situe au SUD-EST de l'Algérie, plus précisément au Nord-Est

Du Sahara sur la limite Nord du Grand Erg Oriental, et la bordure Sud du massif des Aurès (Castany G., 1980), elle commence au Sud par le village d'El Goug (Touggourt) et se termine sur une distance de 150 km plus au Nord vers le village d'Oum-Thiours (100 km de la wilaya de Biskra), la largeur de la zone varie entre 20 et 30 km.

Elle s'étend sur un axe Sud- Nord entre les latitudes $32^{\circ}54'$ à $39^{\circ}9'$ **Nord**, et longitudes $05^{\circ}50'$, $05^{\circ}75'$ **Est** (Castany G., 1967)

Administrativement la vallée d'Oued Righ fait partie de deux wilaya : (Ouargla et Oued Souf) ; passant par six daïras, du Sud vers le Nord : Témacine, Touggourt, Sidi Slimane, Mégarine appartiennent à Ouargla, Djamaa, El Meghaier à la wilaya d'El Oued, elle est limité par :

- la wilaya de Biskra et la commune de Tolga. au Nord
- les oasis d'Ouargla. au Sud-Ouest
- la vallée d'Oued Souf a l'est

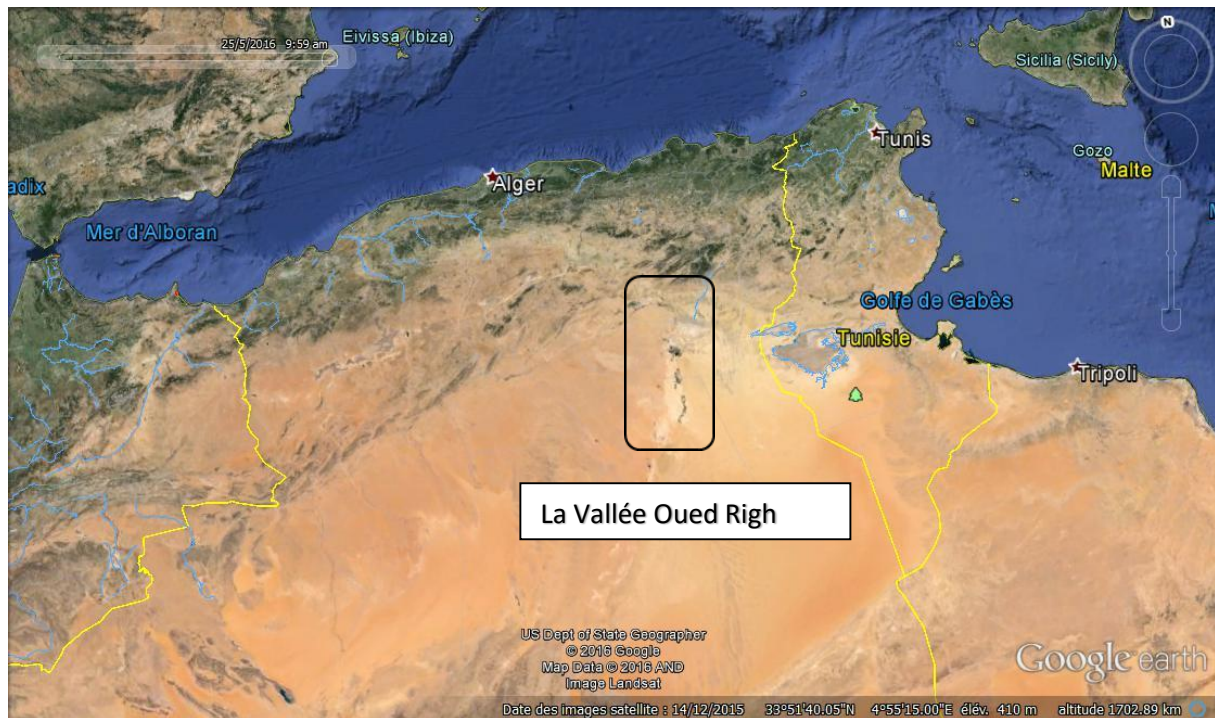


Fig.1. situation géographique de la région d'Oued Righ (Google Earth 2016)

2- Géomorphologie et topographie

Cette région est connue sous le nom du Bas Sahara, à cause de sa basse altitude notamment dans la zone du chott au Nord où les altitudes sont inférieures au niveau de la mer.

La région d'Oued Righ est topographiquement plus ou moins aplatie (plaine).

Le point le plus élevé 105m est situé à Touggourt et -20m à Ourir pour le point le plus bas, l'altitude moyenne est de 46m, et la pente est 1‰. (Fig.02)

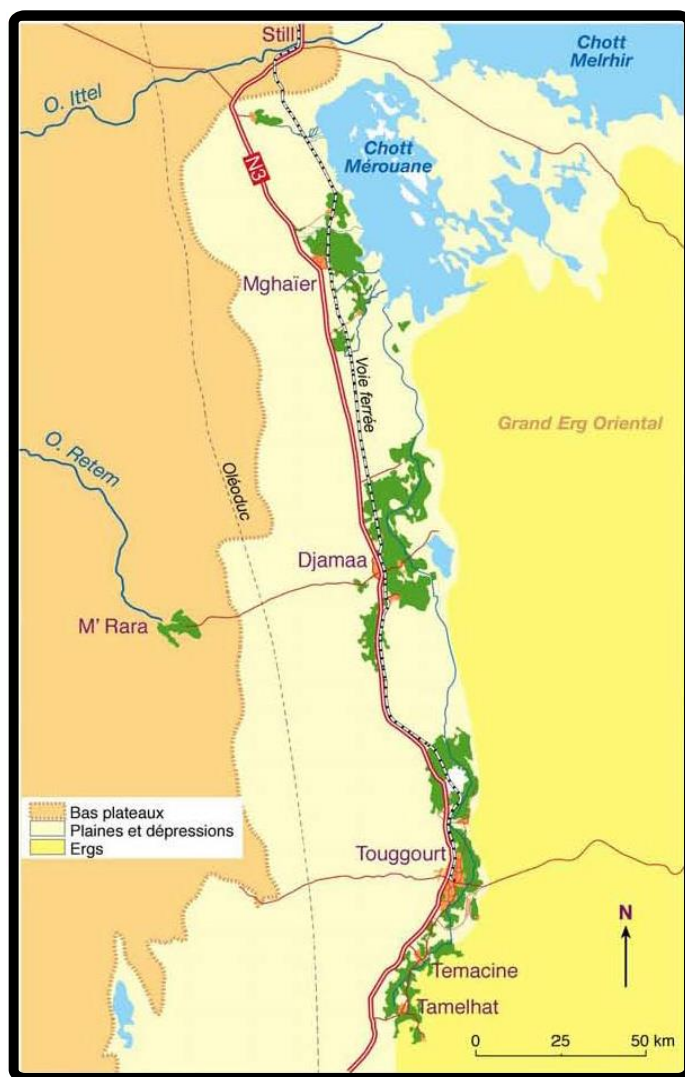


Fig. 2. Formation géomorphologique de la région d'Oued Righ (Ballais ,2010).

Cette région à une morphologie homogène, elle se présente comme une dépression (large fossé) orienté Sud-Nord, composée d'une véritable mer de sable et de dunes qui s'étendent sur la plus grande partie et quelques plaines composées de sable et d'alluvions.

La variation des côtes est nettement remarquable, Elle descend régulièrement de **90m** à Goug, atteint la cote **0 m** à El Meghaier et **(-20m)** à Ourir, passant par la cote de **45 m** à Djamaa. (Benabdasadok.D, et Guettiche.S, 2007).

3- climat et végétation

Le climat est typiquement saharien, caractérisé par une forte aridité où la pluviométrie est aléatoire, ce qui ne favorise pas le développement de la végétation

La température est très élevée en été et une humidité très faible.

La culture du palmier dattier reste la principale activité dans la région d'Oued Righ, elle est développée et occupe entre 10% à 15 % de la superficie de la région.

4- Activités économiques

La vallée regroupait **50** oasis couvrant **15000** hectares en **1988 (I.N.R.AA)**

Le domaine agricole qui était jadis la principale activité est un peu délaissé actuellement à cause du faible rendement des palmiers dû aux effets néfastes de la « salinisation » des eaux et des sols, des phénomènes de : la remontée de la nappe phréatique, le vieillissement des palmiers »...etc. de plus les sociétés pétrolières offrent des emplois plus rémunérés.

Les dernières statistiques (**1988**) montrent que l'agriculture n'occupe dans notre région d'étude qu'une faible main d'œuvre **38%**, étant donné le contexte climatique hyperaride, l'agriculture est très consommatrice d'eau.

Parmi les espèces cultivées ; la variété de « Deglat Nour » prédomine, suivie par « Ghars », « Degla Bayda ».

On note aussi l'existence d'élevage et quelques espèces animales typiques (généralement Ovins et Caprins), les chèvres sont élevées pour leur lait et les brebis pour leur chair.

Dans le domaine de l'industrie, il existe plusieurs petites usines surtout des briqueteries implantées à proximité de la source de matière primaire, ainsi que des complexes de transformations hydrocarbures, [DTP], transformation des plastiques (département de transport et production) ; fabrique d'aluminium, ainsi que des entreprises de conditionnement de dattes.

Le tourisme existe aussi, de par l'existence de quelques repères touristiques comme les oasis, le lac de Temacine, les anciennes Medinas, les tombeaux des rois...etc. Et surtout la Zaouia Tidjania qui accueille de nombreux visiteurs chaque année

5-Besoin /Ressources en eau

Les prélèvements d'eau dans cette région s'élèvent environ à **350** millions de m^3 /an, provenant essentiellement des deux complexes, celui du complexe terminal (CT) et celui du continentale intercalaire (CI).

Tab.1 : Récapitulatif des besoins et ressources en eau

COMPLEXES	CT	CT	CI	CT+CI
USAGE/	Irrigation	AEP	AEP	Total
Nombre de forage exploité	338	4	7	349
Nombre de forage non exploité	89	13	/	102
Nombre total de forage	427	17	7	451
Débit Q hec/m/an	210	02	30	243Hm3/An

(Source ANRH Ouargla) 20016

Tab.2 : Population Débit AEP et débit d'irrigation des différente localités

Localités	Populations	Dotation en l/j/h	AEP L/S	Irrigation L/S
B.Amor	12345	150	50	1234.5
Temacine	15802	170	70	687.82
Nezla	42477	200	120	1590.44
Touggourt	37237	200	120	417
Tebesbest	30597	200	120	535.26
Zoaouia	16200	200	120	543.52
Megarine	11452	200	120	653.84
S/Slimane	7152	240	120	663
S/Amrane	9018	60	60	2655.43
Djamaa	34798	186.66	140	3462.1
Tindla	8049	220	30	986.71
S/khlil	5934	145	76	565.48
Meghaier	39432	111.66	120	2111.35
Oum Tiour	10500	125	30	742
Total	280993	2408.32	1296	16848.45

(Source ANRH Ouargla) 2016

Dans la région de l'Oued Righ, le débit extrait destiné à l'A E P est supérieur aux besoins. La dotation journalière mesurée est en moyenne de **(172,02 l/j/h)** qui dépassent les normes de l'**Organisation de la santé (OMS)** [100-150 l/j/h], de même le débit extrait destiné à l'irrigation est supérieur aux besoins actuels. La dotation mesurée pour l'agriculture est en moyenne **1.12L/S/Hec**, elle dépasse les normes **1L/S/Hec** pour les plantes mixtes et **0.7L/S/Hec** pour les palmiers.

Conclusion

La région d'Oued Righ montre des altitudes qui s'abaissent progressivement et régulièrement du Sud vers le Nord, d'où le rôle d'un collecteur de toute les eaux d'origine diverses et lointaines aboutissant à l'exutoire naturel.

Elle couvre une superficie de **3186.78** km² et sa population est de **280993** habitants.

Cette région est caractérisée par un climat hyperaride marqué par des températures élevées, de faibles précipitations annuelles.

L'exploitation des différents systèmes aquifères fait dans notre région que le manque d'eau ne se pose pas. En revanche, les rejets d'eau domestiques et le surplus d'irrigation posent d'énormes problèmes.

CHAPITRE I :
PRESENTATION DE LA
REGION

Introduction

Le rôle de la géologie est essentielle en hydrogéologie, il permet la description lithologique et stratigraphique des formations et d'identifier celles susceptibles d'être aquifères.

Le climat affecte une bonne partie des activités humaines, telle que la production agricole, la production et la consommation d'énergie, l'utilisation de certaines ressources telles que l'eau, les aspects nécessaires de l'environnement relevant immédiatement de la climatologie.

L'objectif de ce chapitre est l'étude des aspects géologiques à différentes échelles d'étude : échelle générale de la forme saharienne, celle restreinte au bas Sahara et celle locale propre à la zone d'Oued Righ, et les paramètres hydro climatologiques représentatifs du climat régnant dans la zone d'étude.

1. Cadre géologique régional du Bas Sahara

Pour étudier la géologie de la zone d'études, nous étendrons le champ d'investigation à tout le Bas-Sahara, en raison de l'ampleur des phénomènes géologiques, stratigraphiques et tectoniques caractérisant la région.

Nous distinguant de bas en haut trois **(03)** ensembles :

- Les terrains Paléozoïques affleurent au Sud entre les plateaux de Tadmait et Tingher et le massif du Hoggar.
- Les terrains du Mésozoïques et Cénozoïques constituent l'essentiel des affleurements des bordures du Bas Sahara.
- Des dépôts continentaux de la fin de Tertiaire et du Quaternaire, occupent le centre de la cuvette.

La prospection géophysique et les sondages pétroliers ont précisé la profondeur du socle Précambrien (Furon, 1968) qui se situe 3000 et 5000 m. il s'ensuit que les dépôts sédimentaires font environ 4500 m d'épaisseur.

Le long du versant Sud, existe une immense fosse de subsidence dans laquelle l'épaisseur maximum des sables et d'argiles de l'Oligocène et du Mio-Pliocène serait d'environ 2000m ; l'épaisseur maximum des séries post-albiennes est d'environ 3000m.

Dans cette étude nous nous intéressons surtout à la couverture sédimentaire Post Paléozoïque, qui renferme les principaux aquifères du Sahara

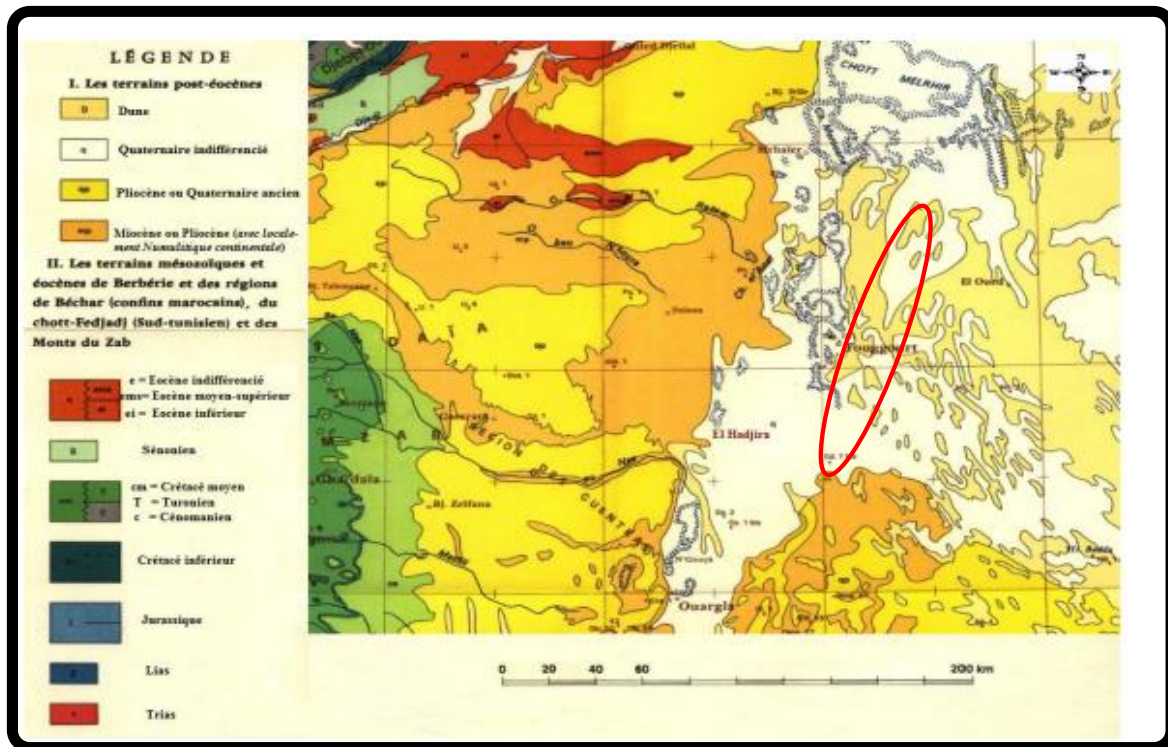


Fig.3. La carte géologique du bas Sahara (d'après G-Busson G, 1967)

2. Cadre stratigraphique et paléontologique de la région d'étude

2.1. Stratigraphie

La stratigraphie de région d'Oued Righ est caractérisée par une série de formations géologiques allant du Cambrien au Quaternaire. Nous présentons ici, une description des formations géologiques qui intéressent le domaine hydrogéologique en particulier celles, allant du Mésozoïque au Quaternaire. D'après (Kilian, 1931 et CRNA, 1991) ; la litho-stratigraphie de Oued Righ est composée de :

2.1.1. Secondaire

a) Albien

Il se présente comme une série très épaisse formée d'une alternance de couches gréseuses avec des passées d'argiles schisteuses.

b) Vraconien

Il est constitué d'une alternance irrégulière de niveaux argileux et dolomitiques, d'argiles sableuses et plus rarement de passées de grès à ciment calcaire.

c) Cénomanién

Il se présente en une épaisseur considérable qui diminue progressivement vers le Nord et il affleure dans la zone atlasique. Le Cénomanién est composé essentiellement de dépôt lagunaire marneux à prédominance des couches d'anhydrite et parfois même de sel.

d) Turonien

Le Turonien est représenté par un dépôt marin, calcaro-marneux.

e) Sénonien

Il est essentiellement à dominance de calcaire blanc avec une alternance de marne et de couches de gypse. Il est formé de deux ensembles très différents du point de vue lithologique : le Sénonien lagunaire, à la base et le Sénonien carbonaté, au-dessus.

2.1.2. Tertiaire

a) Eocène

On distingue deux ensembles lithologiques ; l'Eocène carbonaté à la base, l'Eocène évaporitique au-dessus.

- *Eocène inférieur carbonaté* : L'Eocène carbonaté se caractérise lithologiquement qui le rend difficile à distinguer du Sénonien. La présence des nummulites est le seul critère de différence. Les calcaires ont tendance à prédominer par rapport les dolomies et les évaporites. Ces derniers sont beaucoup plus rares que dans le Sénonien, sinon totalement absentes. Les calcaires à silex rencontrés au sommet du Sénonien carbonaté se poursuivent dans l'Eocène. La puissance de cette formation varie entre 100 et 500 mètre.
- *Eocène moyen évaporitique* : Il est formé par une alternance de calcaire, d'anhydrite et de marnes. Son épaisseur atteint une centaine de mètres sous les Chotts (Bel et Cuche, 1969). Dans l'oued Righ, la nappe des calcaires semble être située dans un niveau carbonaté appartenant à l'Eocène évaporitique.

b) Miopliocène

Bel et Demargne (1966) distinguent de bas en haut quatre niveaux dans ces dépôts lenticulaires : (Castany G., Margat J., 1977)

- *Niveau 01* : argileux, peu épais, il existe uniquement dans la zone centrale du Sahara Oriental suivant une bande Nord-Sud. Ces argiles constituent une barrière très peu perméable entre la nappe du Sénonien et de l'Eocène carbonaté et celle des sables de niveau 02.
- *Niveau 02* : grés-sableux, c'est le niveau le plus épais et le plus constant à sa base on trouve parfois des graviers, alors que le sommet se charge progressivement en argiles pour passer au niveau 03. Il atteint 400 m au Sud de Gassi Touil. Le niveau 02 est le principal horizon aquifère du Miopliocène.
- *Niveau 03* : C'est une formation argilo sableuse dont les limites inférieures et supérieures sont assez mal définies. Cette couche imperméable n'existe que dans certaines zones ; elle est épaisse et constante que dans la région des chotts.
- *Niveau 04* : C'est le deuxième niveau sableux du Miopliocène. Parfois en continuité avec le niveau 02. Le sommet de niveau 04 affleurant sur de grandes surfaces et souvent constitué par une croûte de calcaire gréseux (croûte Hamadienne). L'épaisseur de cet horizon est de l'ordre de 300 m.

2.1.3. Quaternaire

Il est essentiellement sableux, à la base des couches d'argile et d'évaporites semi-perméables. Cette formation Quaternaire est à l'origine de la formation de la nappe phréatique alimentée principalement par l'infiltration des eaux des oueds et surtout par percolation des eaux en excès lors des périodes d'irrigation.

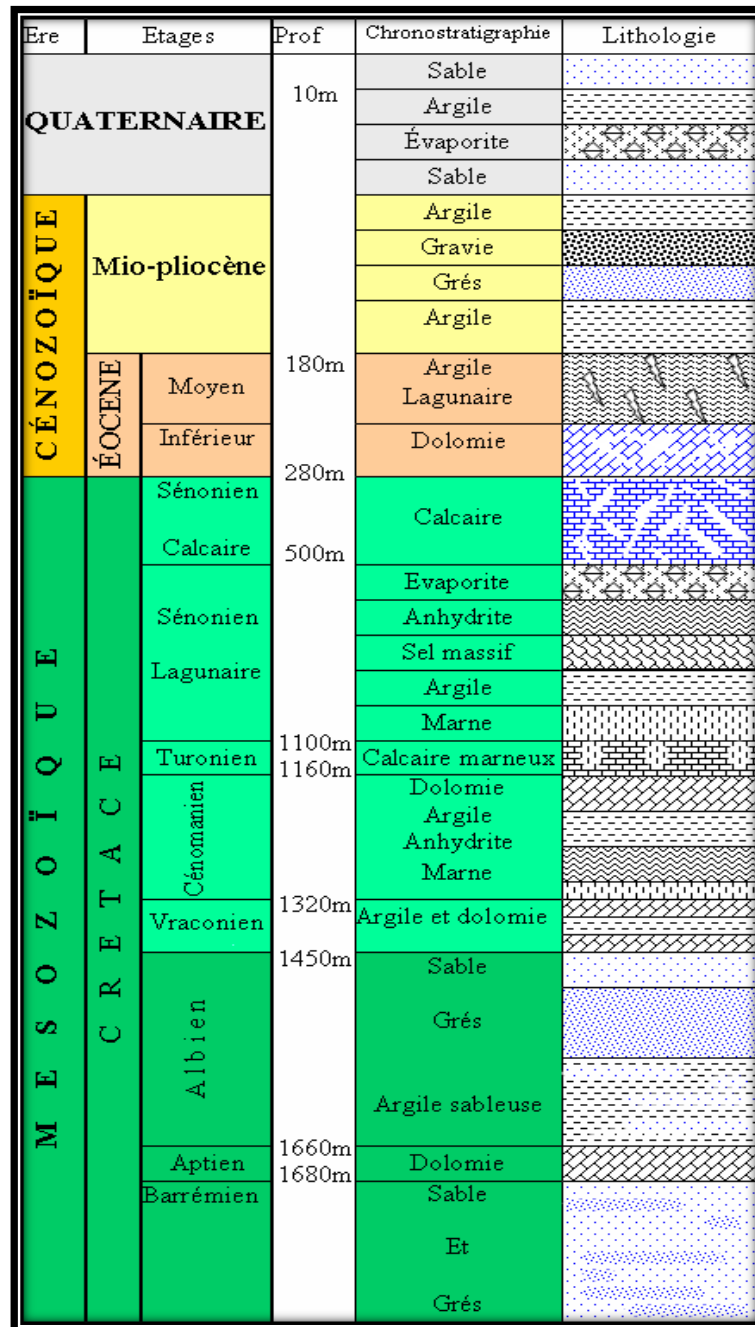


Fig.4.-Litho- stratigraphie synthétique de la région de d'Oued Righ (Helal et Ourihane, 2004)

Les formations géologiques sont décrites du plus ancien au plus récent :

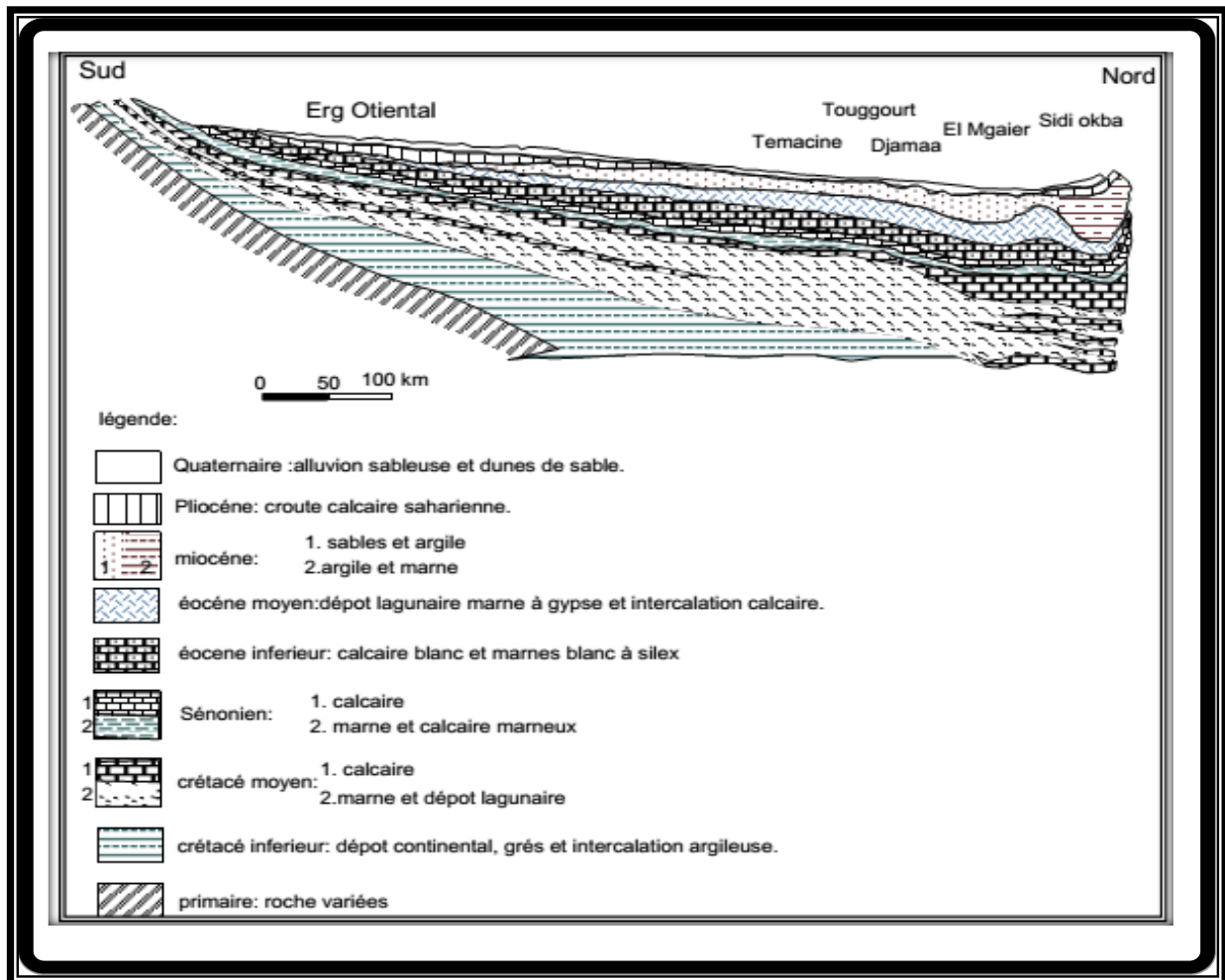


Fig.5 .Coupe géologique du Sahara septentrional d'après UNESCO1972.

3. Tectoniques

3.1 Tectonique générale

La géométrie actuelle des formations du Continentale Intercalaire et du Complexe Terminal du Sahara est caractérisée par l'absence des déformations tectoniques importantes.

La chaîne des Maghrébides qui a subi plusieurs phases orogéniques au Tertiaire, va avoir des contre coups sur la Plate-forme saharienne :

- Les mouvements de l'Eocène moyen à supérieur, sont bien nets, la phase du Miocène inférieur lui succède et donne naissance au Tell et aux Aurès.
- Enfin, la phase Plio-Quaternaire qui s'insère avec les précédentes dans la phase Alpine, d'où l'apparition des fractures de direction Est-Ouest forment la surrection du massif des Aurès et l'affaissement de la partie Sud « Sillon Sud Aurèsien », ces fractures régissent l'écoulement des eaux souterraines d'où la naissance des chotts tel que chott Merouane et chott Melguig. La flexure Sud Atlasique de direction Est-Ouest sépare deux domaines distincts, c'est ainsi qu'on peut avoir au Nord des points culminants « Monts des Aurès » et au Sud les points les plus affaissés.
- Nous présentons un tableau récapitulatif des étapes probables des tectoniques dans le Sahara algérien (d'après R.Karpoff 1952).

Tab.3 : Les étapes probables de la tectonique dans le Sahara algérien (Karpoff, 1952)

Age	Style
1-Antecambrien	Plis très aigus, failles.
2-Paléozoïque	Mouvements amples d'axes est-ouest Formations de chaînes orientés N-S, NNE-SSW ou NW-SE sur des axes antécambriens
3-Poste Eocène et Ante Miocène	Rejeu des structures hercyniennes avec leur orientation Ancienne
4-Post-Miocène	Premiers plis d'axe NW-SE
5-Post Pliocène	Mouvements peut être dans la région Nord seule Plis en Genous de l'Aurès d'axe E-W
6-Fini Quaternaire Ancien	Plis affectant le Mio Pliocène seul ou accompagne du Quaternaire ancien, suivant deux axes orthogonaux Dont l'axe NW-SE est le principal.
7-Neolithique	Mouvements de grande amplitude à plis faibles et Localisés.

3.2 Paléogéographie

Bel et Demargne, en 1966 ont reconstitué l'histoire paléogéographique du Quaternaire de la vallée de l'oued Righ comme suit :

- Effondrement de la fosse pré atlasique (centre de la région actuelle des chotts) et entaillage de profondes et larges vallées (dont celle de l'oued Righ) dans la couverture Mio-Pliocène de la périphérie.
- Surélévation locale du sol, avec détachement de l'oued Righ de l'oued Igharghar et de son affluent l'oued Mya.
- Descente lente et continue de la région des grands chotts avec d'énormes apports fluviaux et éoliens en transformant l'oued Righ en nappe souterraine et en ne laissant que quelques chotts (les actuels en surface).

Le Cénomanien est caractérisé par l'influence marine importante traduit par un milieu marin, tantôt franc, tantôt lagunaire (le Turonien supérieur et le Sénonien inférieur paraissent régressifs)

Au cours de cette époque, un affaissement marque l'effondrement progressif de la partie centrale de la zone saharienne par un dépôt lagunaire .suivit d'une période d'arrêt au cours du Sénonien supérieur et l'Eocène inférieur.

Une réapparition d'un dépôt lagunaire qui comble définitivement la dépression de la cuvette saharienne.

Une élévation de l'ensemble, suivit d'un nouveau mouvement de descente selon l'axe de l'Oued Righ, cet exhaussement permet d'expliquer l'absence de l'Oligocène dans le Sahara.

Cet affaissement brusque du centre de la cuvette (région actuelle des chotts). Les cours d'eau venant de l'Ouest et du Sud entaillant de larges et profondes vallées dans la couverture Mio- Pliocène.

L'Oued Righ est Oued Igharghar formaient probablement alors un seul grand Oued avec Oued Mya comme affluent.

Un comblement partiel de la région effondré et des vallées qui l'entaillent et l'exhaussement local du se là la suite duquel l'Oued Righ se sépare de l'Oued Igharghar.

Un affaissement lent de la région des grands chotts est comblement de la vallée de l'Oued Righ à la suite d'importants apports pluviaux et éoliens. Ces apports finiront par ennoyer l'Oued.

- ✓ Les caractéristiques paléogéographiques du Sahara Oriental, du mésozoïque à l'actuel sont :
 - l'existence d'une plateforme très régulière, sur laquelle toute variations du niveau de la mer, provoquent des changements remarquables dans la sédimentation.
 - l'existante d'une mer peu profonde à partir de laquelle se produisent plusieurs transgressions dont une des plus importantes à celle de Cénomaniens.
 - la régression définitive de la mer à la fin de l'Eocène qui s'accompagne de l'érosion d'une partie des calcaires de l'Eocène et du régime continental qui a remplacé le régime marin.

4. climatologie

La carte ci-dessous configure les différents sous bassins versants du Sahara algérien, ainsi que les principales stations météorologiques actuellement en activité.

Selon cette carte, basée sur le découpage hydrologique adopté par l'ANRH, La zone étudiée appartient au sous bassin versant N° :04, incluse dans grand bassin saharien N°13

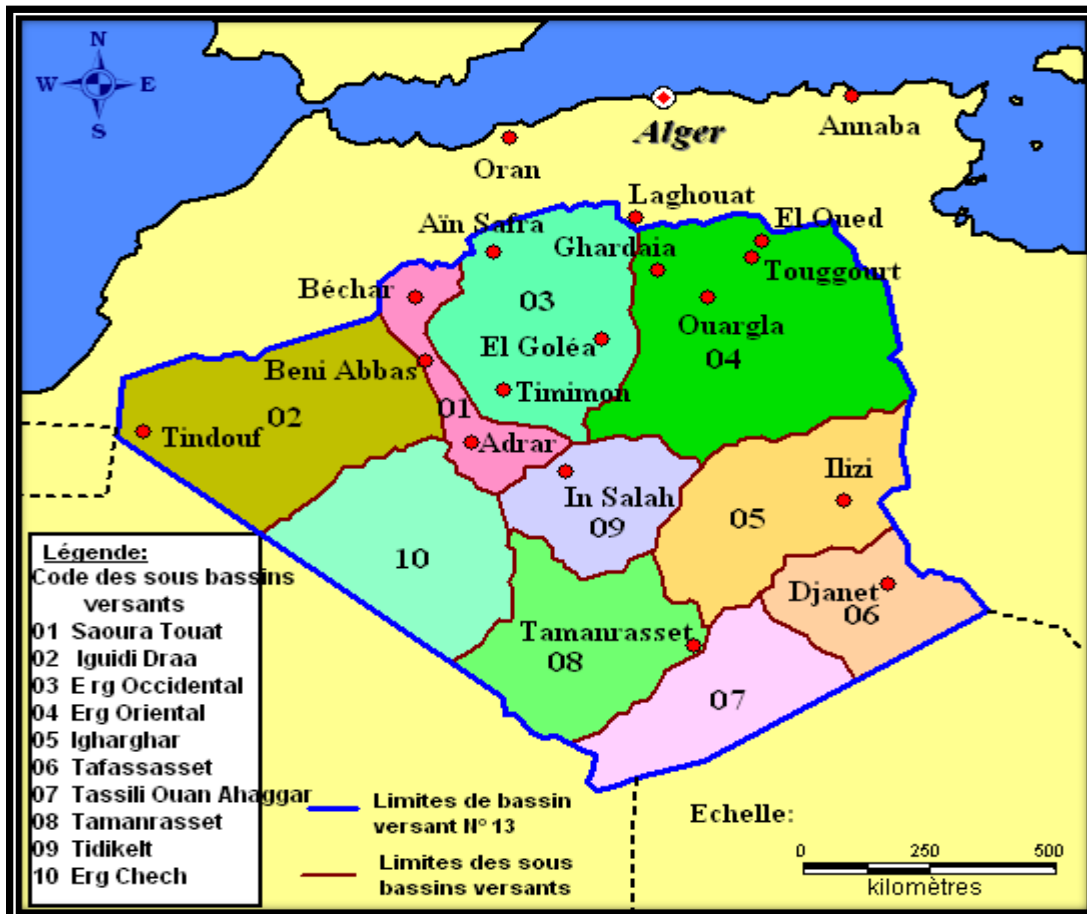


Fig.6. Carte des sous bassins versants du Sahara algérien et des stations météorologiques d'après cahier de sécheresse, N 1/98(Internet)

4.1. Représentation des stations utilisées

Nous nous sommes basées sur des données climatologiques portées sur l'intervalle des années hydrologiques (1975-2014) selon les paramètres enregistrés par la station de Touggourt dont les coordonnées sont les suivants :

Latitude : 33°11'N

Longitude : 06°13'E

Attitude : 85m

Nous analyserons successivement les valeurs mensuelles et annuelles des précipitations, température de l'air, l'humidité relative et évaporation, vitesse du vent, insolation....etc.

4.2. Analyse des paramètres climatiques

4.2.1. Précipitations

La précipitation c'est une phase par des phases de cycle d'eau, les précipitations sont tous les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, se forme liquide (ex : pluie) ; que se forme solide (ex : neige).

Le tableau ci-dessous donne la précipitation moyenne, mensuelle observée durant la période (1975-2014).

Tab.4 : Précipitations moyennes mensuelles (1975-2014)

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Des	Jan	Fève	Mars	Avril	Mai	Juin	Jouit	Aout
p (mm)	6,2	7,06	9,8	6,02	14,6	4,62	9,28	5,86	6,6	1,37	0,78	2,41

Précipitations moyennes annuelles (1975-2014) 6.21 mm

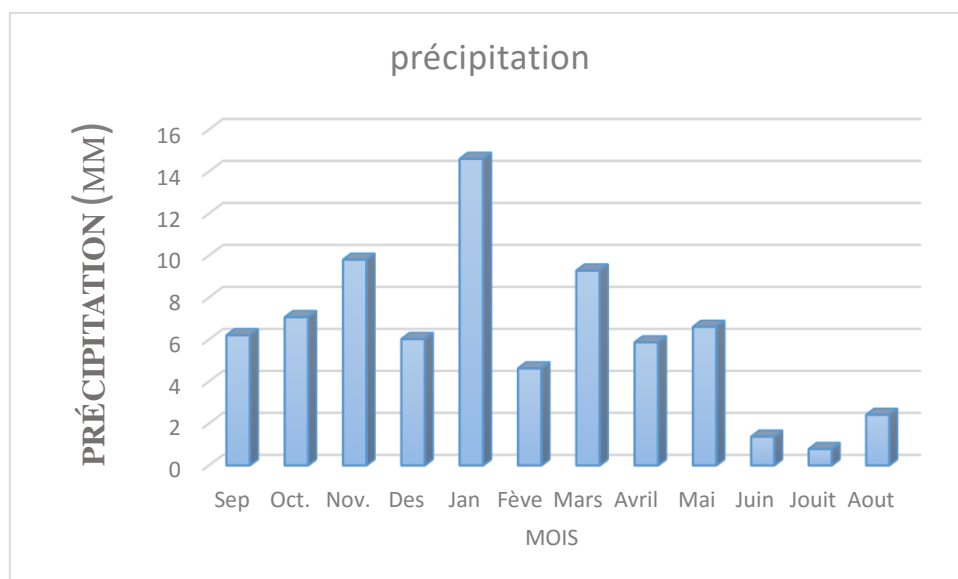


Fig. 8. Histogramme de variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Touggourt durant la période (1975-2014)

L'histogramme de précipitations moyennes mensuelles montre que les précipitations se produisent du mois de **Novembre** à **Mars** surtout au mois de **janvier** (**14,6mm**), alors que le reste de l'année est relativement sec (particulièrement au mois du **juillet** **0,78mm** et au **juin** **1,37mm**).

4.2.3. Diagramme pluvio- thermique

Les valeurs des précipitations et des températures enregistrées au niveau de la station Touggourt durant la période (1975-2014), permettent l'établissement du diagramme pluviothermique (Fig.14). Suivant Gaussen et Bagnouls, un mois sec est celui où le total moyen des précipitations (mm) est inférieur ou égale au double de la température moyenne (°C) du même mois. Le diagramme pluviothermique montre que la période sèche est étendue sur les douze mois de l'année dans la zone d'étude.

Tab.5 : Données des précipitations et des températures moyennes mensuelles.

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc	Jan	Fève	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août
2T	58,64	46,00	32,00	23,08	29,30	26,04	33,48	41,88	52,14	62,76	68,38	67,46
pr	6,20	7,06	9,80	6,02	14,68	4,62	9,28	5,86	6,60	1,38	0,78	2,41

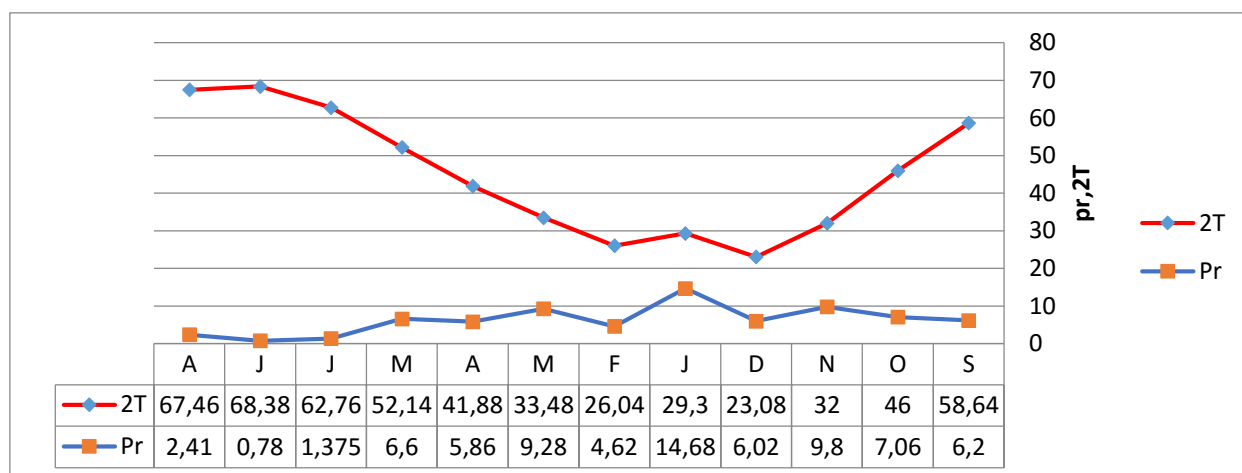


Fig.9. courbe de Pluvio-thermique à la station de Touggourt durant la période (1975-2014).

4.2.4. Humidité

Humidité relative est un facteur important pour caractériser un climat. Sa variation dépend en partie de la température de l’air et des caractéristiques hygrométriques des masses d’air.

Tab.6 : Humidité relative moyenne mensuelle période d’observation (1975-2014)

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Jouit	Août
H %	43,68	51,12	60,31	64,94	64,23	54,65	48,6	43,5	39,52	34,40	32,25	33,83

Humidité relative moyenne annuelles (1975-2014) 47.58 %

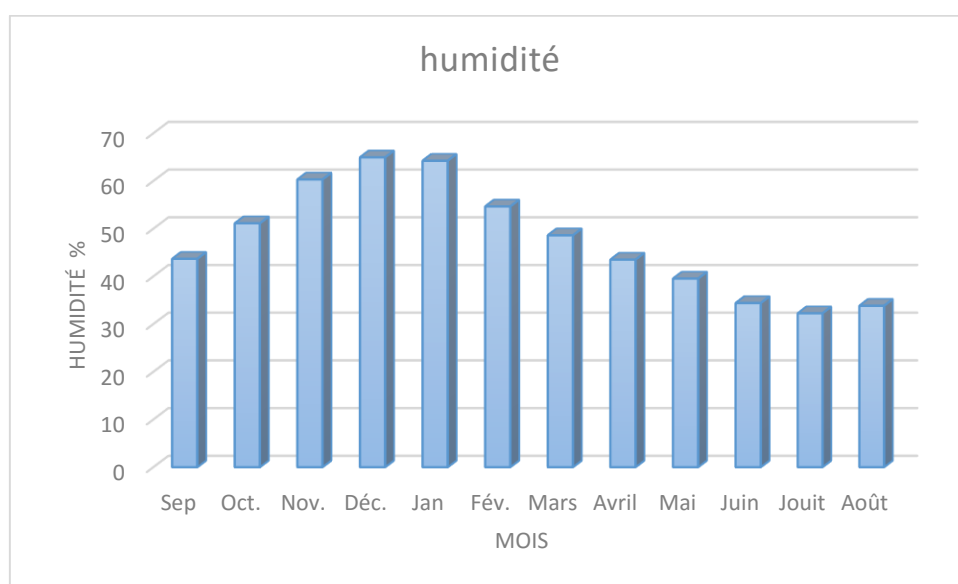


Fig.10. Histogramme variation des Humidités moyennes mensuelles à la station de Touggourt durant la période (1975-2014).

Dans notre zone d'étude avec un remarque les valeurs d'humidité nous avons vu que les résultats de humidité moyenne mensuelle est homogènes qui variant entre 64.23% et 32.25%, elle enregistrée de pourcentage fréquente au mois de Décembre et pourcentage réduite au mois de Juillet.

4.2.5. Vitesse des vents

Le vent assure le remplacement de l'air plus ou moins saturé au contact de la surface évaporant par des nouvelles couches ayant une température et une humidité généralement plus faibles. Il favorise donc l'évaporation, d'autant plus que sa vitesse et sa turbulence sont grandes.

Tab.7 : Vitesse des vents moyenne mensuelle période d'observation (1975-2013)

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Jouit	Août
Vitesse de v m/s	2,93	2,70	2,71	2,46	2,62	2,89	3,47	4,05	4,09	3,72	3,29	3,05

Vitesse des vents moyenne annuelles (1975-2013) 3.18 m/s

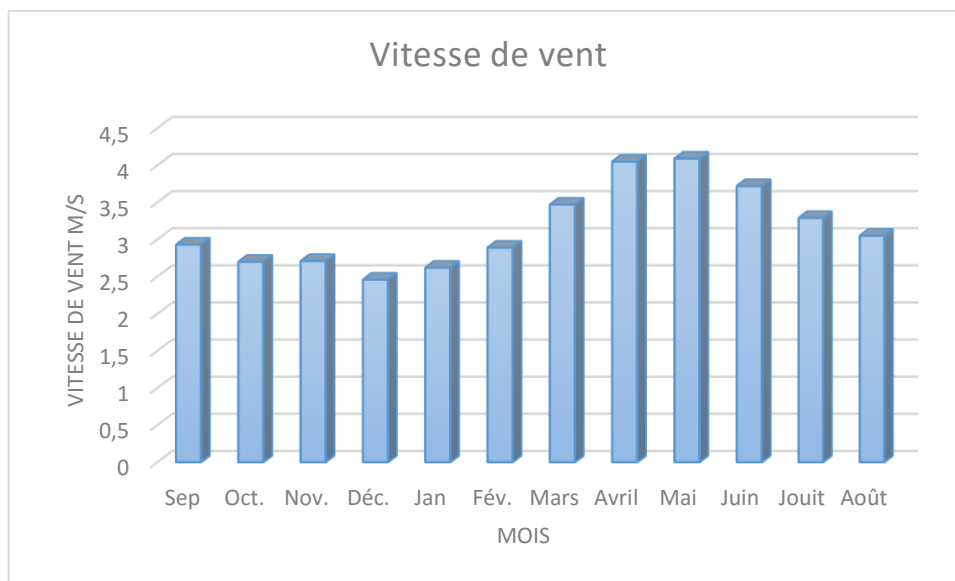


Fig.11. Histogramme variation les vitesses de vent moyennes mensuelles à la station de Touggourt durant la période (1975-2013).

4.2.6. Durée d'isolation

La durée d'insolation dépend de la période durant que le soleil pourra briller, cette insolation reste effective quand le ciel est dégager de nuage.

Dans notre zone d'étude nous avons calculons la durée d'insolation moyenne mensuelle au cours de 40 ans et les résultats enregistrés dans le tableau suivant :

Tab.8 : La durée d'insolation moyenne mensuelle, période (1975-2014).

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Des	Jan	Fève	Mars	Avril	Mai	Juin	Jouit	Août
Inso h	279,6	266,8	241,2	234,9	233,8	237,31	268,69	286,1	316,7	326,3	358,3	336,8

La durée d'insolation moyenne annuelles, période (1975-2014) 282.2 mm

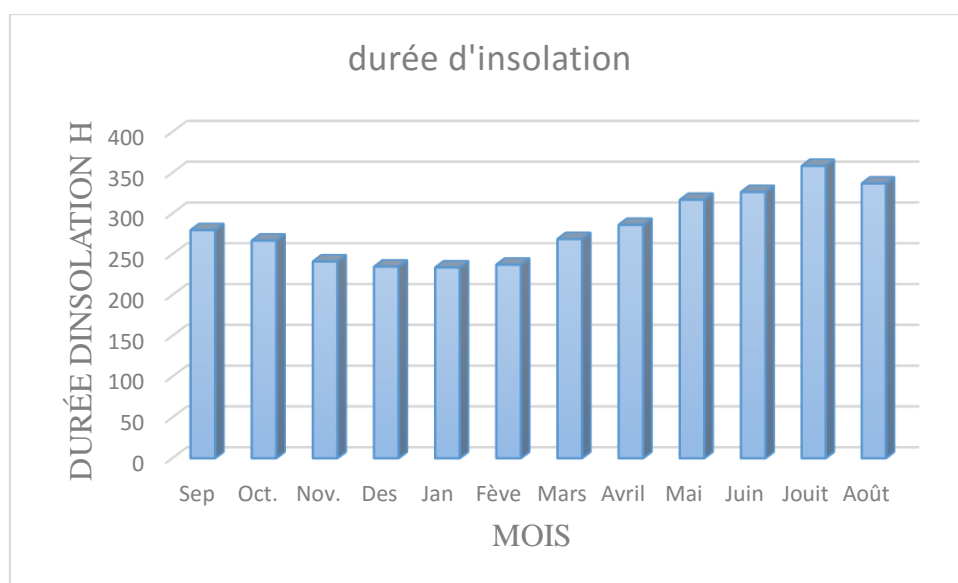


Fig.12. Histogramme variation des durées d'insolation moyennes mensuelles à la station de Touggourt durant la période (1975-2014).

Dans la région de Touggourt accepte une quantité de rayonnement solaire très forte ; qui atteindrent une durée d'insolation au maximum 358.3 en heures à mois de Juillet et une valeur minimum de durée d'insolation 233.8 en heures (tab.7).

En remarque que la durée d'insolation au d'année par la période de (1975-2014) généralement considérable et ciel été briller à la plupart de temps dans station de Touggourt.

4.2.7. La température

La température est un facteur climatique qui dépend essentiellement le changement de phase de l'eau et résulte les rayonnements solaires qui influent sur l'eau de surface de la terre par l'augmentation de l'évaporation.

A partir des statistiques hydro-climatiques de station de Touggourt en remarque les trois types de température : La température maximum et la température minimum, la température moyenne, les résultats de ces températures enregistrées dans le tableau suivant :

Tab.9 : représentant la variation des températures moyennes mensuelles à la station de Touggourt période 1975– 2014

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Des	Jan	Fève	Mars	Avril	Mai	Juin	Jouit	Août
Tmax°	35,4	29,4	22,3	18,17	16,9	19,5	23,1	27,6	32,8	38,0	41,05	40,58
Tminc°	22,08	16,30	9,69	5,73	4,57	6,38	9,84	13,77	18,60	23,50	25,99	25,69
Tmoyc°	29,32	23,00	16,00	11,54	14,65	13,02	16,74	20,94	26,07	31,38	34,19	33,73

La température moyenne annuelle (1975– 2014) 21.71 c°

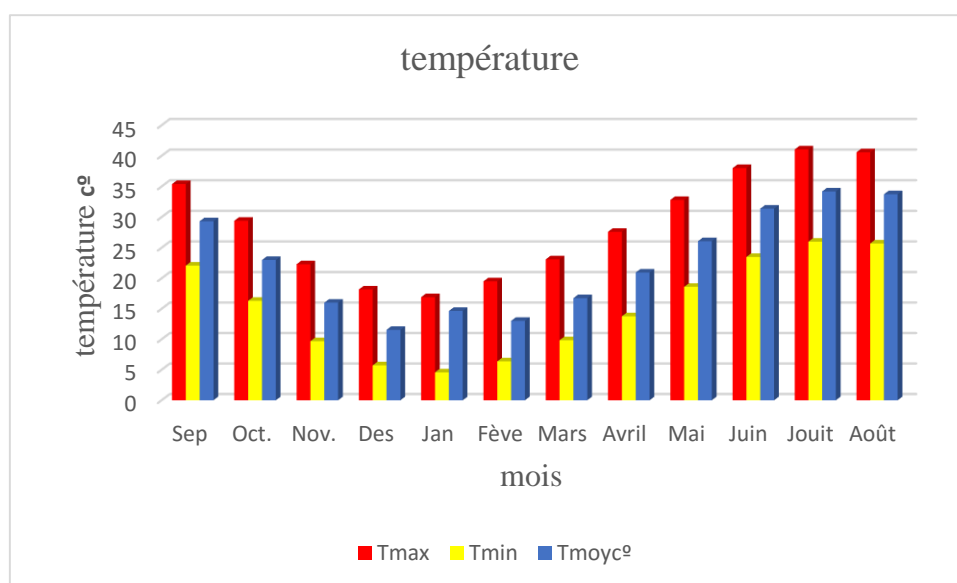


Fig.13. Histogramme variation des températures moyennes mensuelles à la station de Touggourt durant la période (1975-2014).

Selon les résultats de tableau et histogramme nous ne concluons que les températures :

-Température maximum est très fréquente au mois de Juillet avec une valeur de 41,05°C et réduit au mois de Janvier avec une valeur de 16,9°C.

-Température minimum est très fréquente au mois de Janvier avec une valeur de 25,99°C et réduit au mois de Juillet par une valeur de 4,57°C.

-Température moyenne est très fréquente au mois de Juillet se trouve valeur de 34,19°C et réduite au mois de Janvier par une valeur de 14,65°C.

On a remarqué que les températures se trouvent les valeurs max au mois de Juillet et les valeurs min au mois de Janvier.

Ainsi que la température à la cours d'année est enregistrée la grande quantité au mois de Juin-Juillet-Aout c'est-à-dire la température est augmentée en été.

4.2.8. Evaporation

L'évaporation est une des composants fondamentaux du cycle hydrologique et son étude est essentielle pour connaitre le potentiel hydrique d'une région.

On distingue l'évaporation et évapotranspiration que diviser en deux :

Evapotranspiration réel (ETR).

Evapotranspiration potentiel (ETP).

Tab.10 : L'évaporation moyenne mensuelle, période (1975-2014).

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc	Jan	Fève	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août
Eva (mm)	293,8	207,0	129,5	115,0	109,9	138,2	217,2	276,6	343,4	402,9	431,9	406,7

L'évaporation moyenne annuelle, période (1975-2014) 256 mm

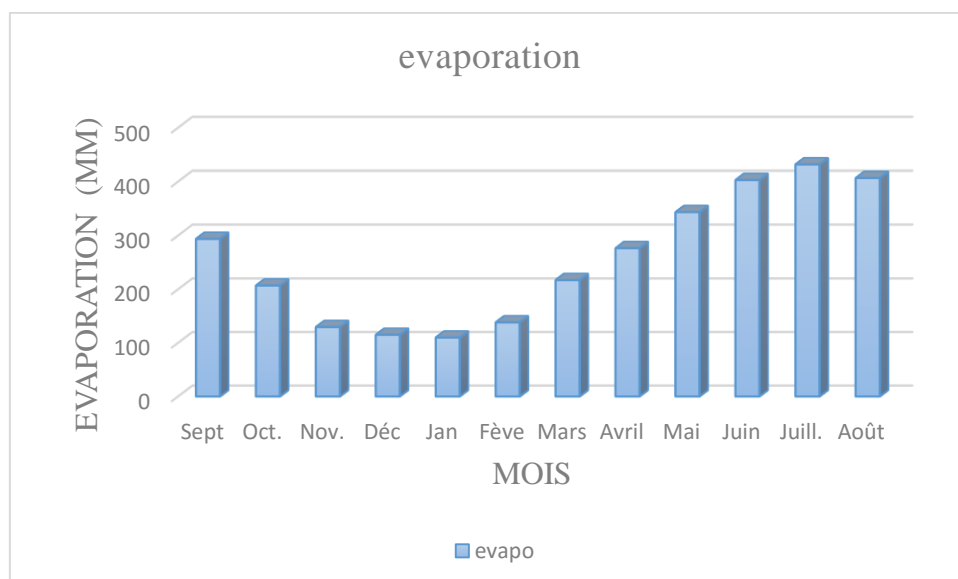


Fig.14. Histogramme variation des évaporations moyennes mensuelles à la station de Touggourt durant la période (1975-2014).

En remarque par l'observation d'histogramme, la quantité de l'évaporation de la région de Touggourt est fréquente qui enregistrée l'évaporation maximale au mois de Juillet avec une valeur de **431,9** mm et l'évaporation minimale au mois de Décembre atteindre 115.0 mm.

4.2.9. Indice d'Aridité de DEMARTONE

D'après DEMARTONNE l'indice de l'aridité est exprimé comme suit :

$$I = P/T + 10$$

Avec :

I : Indice d'aridité de DEMARTONNE.

P : Les précipitations moyennes annuelles.

T : La température moyenne annuelle.

Tab.11 : Indice d'Aridité de DEMARTONE :

Valeur de l'indice	Type de climat
00 < I < 05	Hyperaride
05 < I < 10	Aride
10 < I < 20	Semi-aride
20 < I < 30	Semi-humide
30 < I < 55	Humide

$$I=4.182/6.76+10=0.249$$

Selon le tableau précédent et à partir de valeur l'indice nous concluons que le type de climat de station de Touggourt est un climat hyperaride.

3. 2. BILAN HYDRIQUE

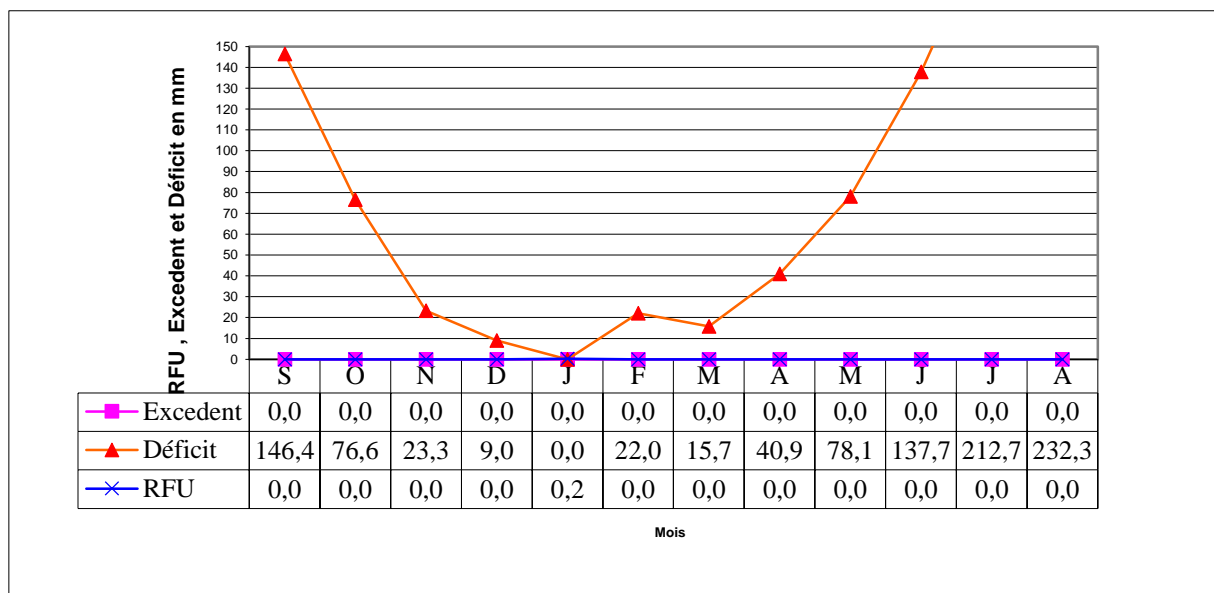
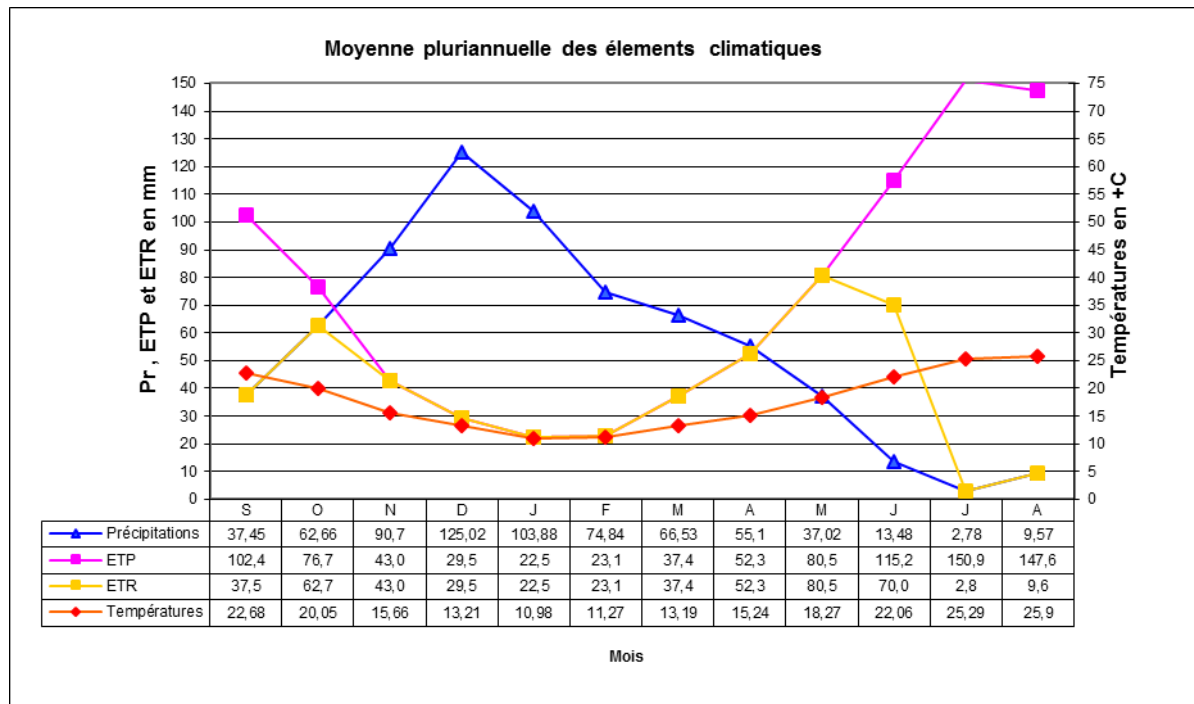
3. 2. 1. Estimation du bilan hydrique selon la formule de C.W.THORNTHWAITE

Le tableau ci-dessous résume le bilan d'eau pour la station de Touggourt, établis selon la méthode de Thornthwaite (Tableau. 12) :

- L'ETP atteint son maximum au mois de Juillet avec 247,3 mm, et la valeur minimale
- au mois de Décembre avec 11,54mm.
- L'ETR annuelle est de l'ordre de 74,7 mm, avec une valeur maximale au mois
- de Janvier 14,7 mm et valeur minimale au mois de Juillet avec 0,8 mm.
- L'excédent est nul durant toute l'année et le déficit agricole annuel est 1105,5mm.

Tab.12 : Bilan hydrique selon la méthode de THORNTHWAITE pour la station de Touggourt durant la période (1975-2014).

MOIS	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	29,3	14,6	1,03	152,6	6,2	-146,4	-1,0	0,0	0,0	6,2	146,4	0,0
O	23	10,1	0,97	83,7	7,06	-76,6	-0,9	0,0	0,0	7,1	76,6	0,0
N	16	5,8	0,86	33,1	9,8	-23,3	-0,7	0,0	0,0	9,8	23,3	0,0
D	11,5	3,5	0,81	15,0	6,02	-9,0	-0,6	0,0	0,0	6,0	9,0	0,0
J	11	3,3	0,87	14,5	14,677	0,2	0,0	0,2	0,2	14,5	0,0	0,0
F	14,7	5,1	0,85	26,9	4,62	-22,2	-0,8	-0,2	0,0	4,8	22,0	0,0
M	13	4,3	1,03	25,0	9,28	-15,7	-0,6	0,0	0,0	9,3	15,7	0,0
A	16,7	6,2	1,10	46,8	5,86	-40,9	-0,9	0,0	0,0	5,9	40,9	0,0
M	20,9	8,7	1,21	84,7	6,6	-78,1	-0,9	0,0	0,0	6,6	78,1	0,0
J	26,1	12,2	1,22	139,1	1,375	-137,7	-1,0	0,0	0,0	1,4	137,7	0,0
J	31,4	16,1	1,24	213,5	0,78	-212,7	-1,0	0,0	0,0	0,8	212,7	0,0
A	33,7	18,0	1,16	234,8	2,41	-232,3	-1,0	0,0	0,0	2,4	232,3	0,0
Annuel	20,6	107,9		1069,6	74,7	-994,9				74,7	994,9	0,0



Fi g. 15 .Bilan d'eau selon la méthode de THORNTHWAITE - station de Touggourt durant la période (1975 – 2014).

Conclusion

La région de l'Oued Righ se présente comme une cuvette synclinale du Bas Sahara qui fait partie d'une large fosse de direction N-S.

Tous les terrains, depuis le Cambrien jusqu'au Tertiaire sont dissimulés en grande partie sous le Grand Erg Oriental. Seuls quelques affleurements sont observés, sur les bordures.

La prospection géophysique et les sondages pétroliers ont précisé la profondeur du socle Précambrien, située entre **3000** et **5000 m** .il s'ensuit que les dépôts sédimentaires ont environ **4000 m** d'épaisseur.

- Les terrains **Paléozoïques** affleurent au Sud, entre les plateaux de Tadmait et Tinhert et le massif du Hoggar.

- Les terrains des **Mésozoïques** et du début du Cénozoïque constituent l'essentiel des affleurements des bordures.

- les dépôts continentaux **Tertiaires** et **Quaternaires** occupent le centre de la cuvette.

La série géologique permet de distinguer deux ensembles hydrogéologiques, Post Paléozoïques importants : **le Continental Intercalaire** et **le Complexe Terminale**.

Dans ce chapitre nous avons abordé l'aspect climatique de la région de l'Oued Righ caractérisée par un climat désertique. On hyperaride :

Les précipitations sont faibles et irrégulières, de l'ordre **6.21 mm** et ne jouent aucun rôle dans la recharge directe des nappes, à l'exception de quelques orages violents qui génèrent des ruissellements.

L'évapotranspiration potentielle calculé par la formule de **THORNTHWAITE** nous donne **1069,6 mm** pour la période, l'évapotranspiration réelle est de **74,7 mm** pour la même période, tan disque l'évapotranspiration réelle calcule par la formule de turc est de l'ordre de **4.405 mm**, pratiquement toute l'eau précipitée retourne vers l'atmosphère.

Les températures sont élevées **22,54 c°** en moyenne annuelle et **34,19 c°** au mois le plus chaud, ce qui explique la forte évaporation.

L'humidité relative moyenne annuellement est de **47,58%**, avec **64,94%** mois de **décembre** et **32,25** au mois de **juillet**.

CHAPITRE II :
GEOLOGIE ET
CLIMATOLOGIE

Introduction

L'étude hydrogéologique, comprend à préciser la structure géométrique des nappes aquifères, par la réalisation des coupes hydrogéologiques des zones d'étude, si cette réalisation des coupes conduisent par l'établissement des différents forages.

Dans notre chapitre nous avons cité l'hydrogéologie de la partie Sud-Est du pays (Oued Righ).

1. Hydrogéologie régionale

Le bassin sédimentaire du Sahara Septentrional constitue un vaste bassin hydrogéologique d'une superficie de **780000 km²**. On distingue deux grands ensembles Post-Paléozoïques, constituant deux systèmes aquifères séparés par d'épaisses séries argileuses ou évaporitiques de la base du Crétacé Sud.

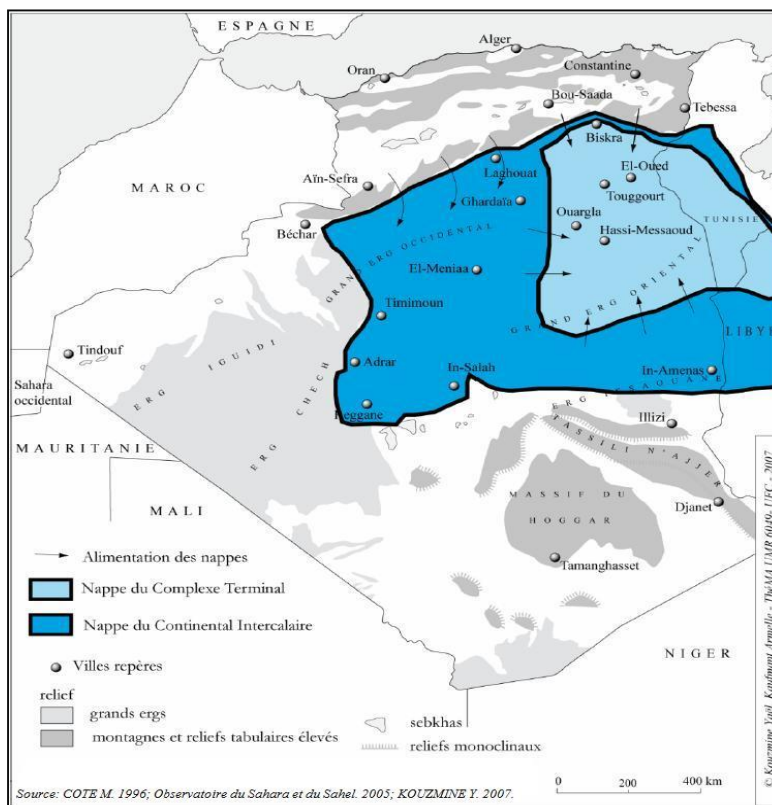


Fig.16 .Carte montrant les nappes aquifères du Sahara Algérien ; Le Continental Intercalaire et Le Complexe Terminal (in KOUZMINE Y.2007)

1.1. La nappe de continental intercalaire

Le continental intercalaire occupe l'intervalle stratigraphique comprise entre la base du Trias et sommet du l'Albien .se reservoir e à un volume considerable du à la fois à son extention sur tout le Sahara septentrional (600.000 Km²) et son épaisseur est 1000 m au Nord Ouest du Sahara, la nappe du CI est une reservoir d'eau douce (mineralisation totale généralement (<3.5g/l), alimentée pendant les periodes pluvienses du quaternaire.

Les eaux du continental intercalaire sont caractérisées par:

- 1- Une temperature qui dépasse 50°C sauf les hauts endroit où l'aquifer est proche de la surface du sol.
- 2- La mineralisation de l'eau oscille entre 1 et 2 g/l de résidu sec
- 3- L'alimentation se fait par ruissellement à la périphérie du reservoir tout en long et à l'extrémité des Oueds qui descendent des montagnes de l'Atlas Saharien de Dahra Tunisienne du plateau de tadmaït et tinher et les pluies exceptionnelles
- 4- L'écoulement des eaux de cette nappe se fait dans la partie occidentale du Nord vers le sud et dans la partie orientale de l'Ouest vers l'Est et du Sud vers le Nord.

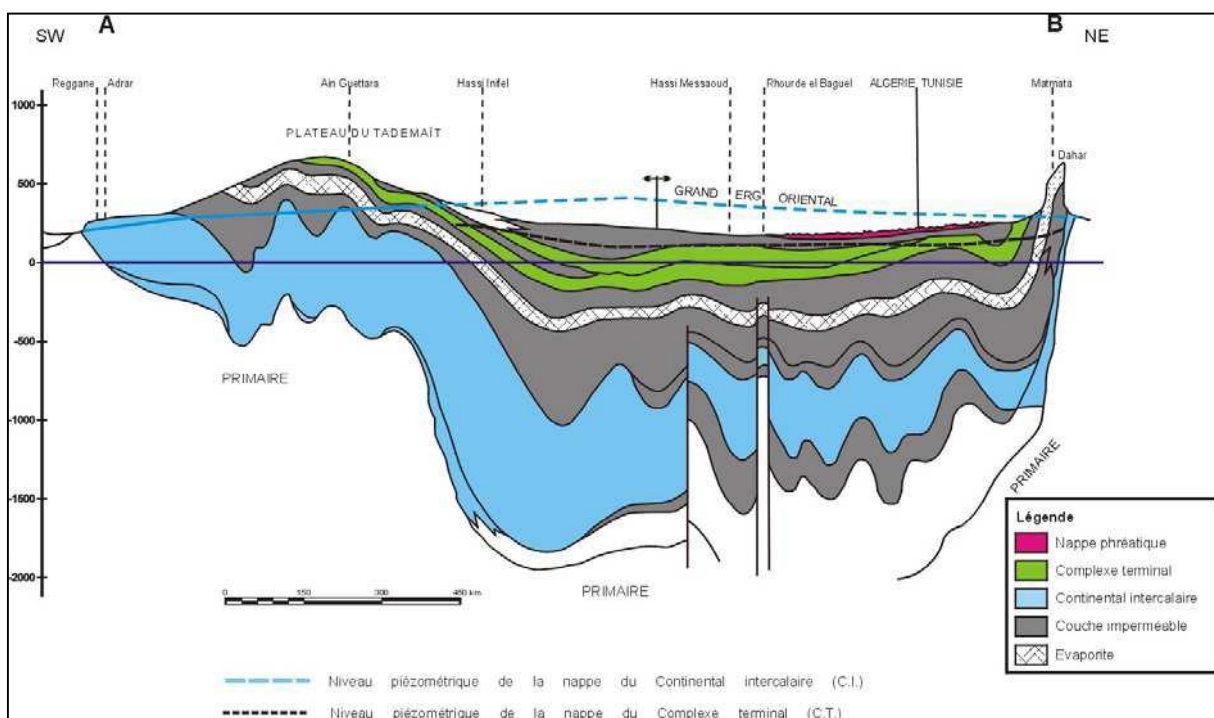


Fig.17 .Coupe hydrogéologique transversale du "CI" (UNESCO, 1972)

1.2. Les nappes de complexe terminale

Le complexe terminale est constitué de deux grandes ensembles , continentale au soumetmarin à la base.

Les dépôts continentaux sont pressantés par des sables de taille variable, intercales des lentilles argileuses parfois évaporitiques d'âge moi-pliocène.

les formations marines sont essentiellement carbonatées, déposées au cours de la transgression marine de Senno-éocène.

- **La première nappe de sable**

Elle est contenue dans des sables à grains fins et moyens rouges, plus ou moins argileux avec rare passage de calcaire. La profondeur de son toit varie entre 40 et 80 m; et son épaisseur varie entre 10 et 50 m.

- **La deuxième nappe de sable**

Elle tourne dans les terrains constitués de sable jaune et de gravier siliceux faiblement marneux. Son épaisseur est de 15 à 50 m et sa profondeur varie entre de 100 à 300 m. Elle est la plus exploitée dans la région de Oued Righ.

- **La nappe de calcaire (sénonien carbonaté)**

Elle est constituée par des calcaires blancs siliceux de l'éocène. La profondeur du toit de cette nappe varie entre 160 et 200 m. les calcaires du sénonien deviennent moins exploités

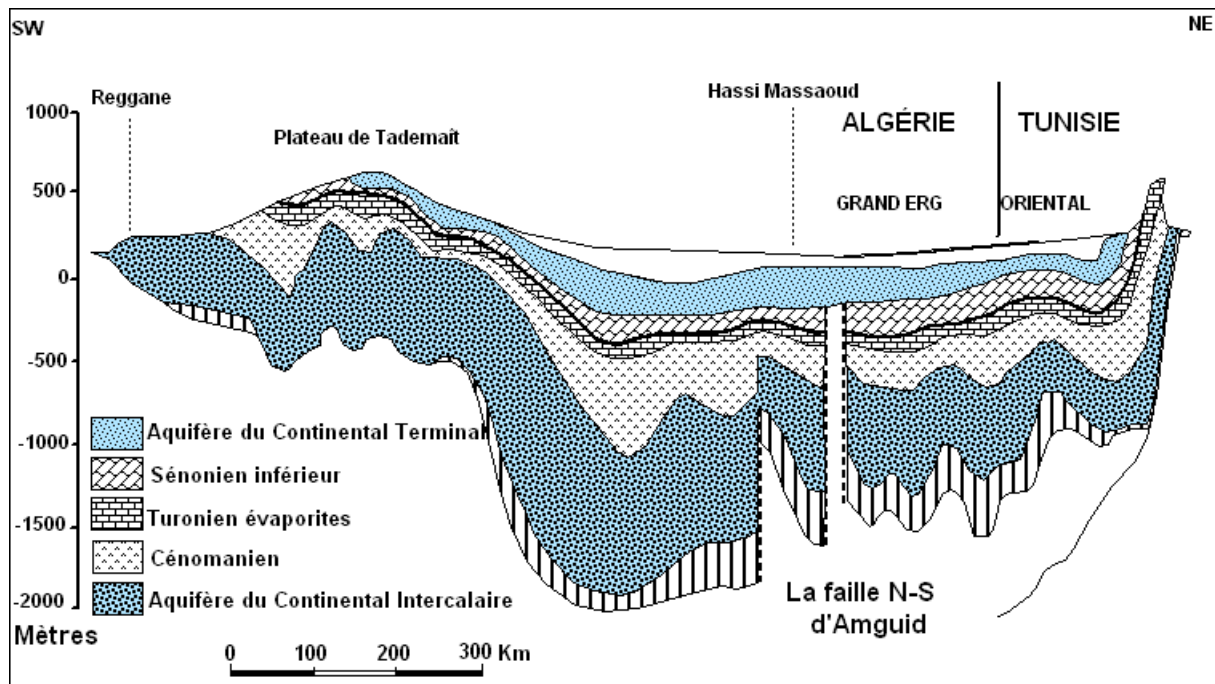


Fig.18 . Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrionale (UNESCO1972).

1.3. Nappe phréatique

La nappe phréatique est contenue dans les sables fins à moyens d'âge quaternaire, contenant des cristaux de gypse. Elle s'épaissit du sud vers le nord et sa puissance moyenne est de 20mètre. Caractérisée par des eaux à forte salinité. La nappe phréatique est principalement alimentée par les eaux d'irrigation et de distribution urbaine, les eaux des forages dont les tubages sont détériorés par les faibles précipitations et par les percolations des nappes de complexe terminale. Les pertes sont surtout le fait de l'évaporation.

Tab.13 : Synthèse hydrogéologique régionale des différents aquifères (sans échelle).

ERE	Etage		Lithologie	Nature Hydrogéologique
Q u a t e r n a i r e			Sables.	Nappe superficielle (la nappe phréatique)
			Argiles, évaporites.	Substratum (imperméable)
T e r t i a i r e	Mio-Pliocène		Sables.	1 ^{ère} nappe des sables (Complexe Terminal).
			Argiles gypseuses	(semi-perméable)
		Pontien	Sables, graviers et grès	2 ^{ème} nappe des sables (Complexe terminal).
	Eocène	Moyen	Argiles lagunaires	Substratum
		Inférieur		Nappe des calcaires
S e c o n d a i r e	Crétacé	Sénonien calcaire	Dolomies et calcaires	(Complexe Terminal).
		Sénonien lagunaire	Evaporites, argiles	Substratum
		Cénomanién	Argiles, marnes	Substratum
		Albien		Nappe albienne
		Barrémien	Sables et grès	(Continental Intercalaire).

Conclusion

Dans le bassin de l'Oued Righ, il existe deux systèmes aquifères :

- Le premier profond étendu, dit le Continentale Intercalaire (**CI**), constitué en grande partie par des sables et des grès d'âge Albien
- Le deuxième est multicouche, peu profond, moins étendu que le premier dit Le Complexe Terminal (**CT**), constitué de deux ensembles différents :
 - L'un marin constitué par les calcaires d'âge Sénonien-Eocène **CT3**
 - L'autre continentale constitué par des sables, graviers et des grès d'âge Mio-Pliocene caractérise la **1^{ère}** et la **2^{ème}** nappe du Complexe Terminal (**CT1**) (**CT2**)

Un aquifère superficiel qui surmonte ces deux ensembles dit nappe Phréatique contenue dans les sables fins à moyens d'âge Quaternaire à récent.

CHAPITRE III :
HYDROGEOLOGIE

Introduction

L'hydrochimie est un moyen dans un cadre géologique, d'étudier les relations de l'eau souterraine et superficielle avec l'environnement où elle se trouve.

Cette étude a été effectuée à partir des analyses de 22 échantillons prélevés du

Ont été déterminés les paramètres physico-chimiques suivants :

- La température (c°).
- Le résidu sec (mg/l).
- La minéralisation (mg/l).
- La conductivité (ms/cm).
- Les anions Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- .
- Les cations Ca^{++} , Mg^{++} , (Na^+ , K^+).
- Le potentiel d'hydrogène (P.H).
- La dureté totale.

Les résultats des analyses chimiques sont portés dans des tableaux et portés sur des cartes et diagrammes.

Le but de notre étude est de :

- 1) Déterminer la répartition quantitative des différents éléments majeurs et étudier éventuellement les relations pouvant exister entre les différentes nappes exploitées
- 2) D'apprécier les différents paramètres ayant une influence sur l'évolution de la qualité des eaux du secteur d'étude.
- 3) Déterminer les principaux faciès chimiques des eaux, les comparer et faire ressortir les meilleures eaux à l'utilisation.

Le choix des lieux de prélèvement des échantillons est basé sur la répartition spatiale des différents points d'eau de façon à couvrir tout le secteur étudié (variation horizontal).

1. Etude des paramètres physico-chimique

1.1. Etude paramètres physiques

.1.1.1 Température

La température joue un rôle très important dans la solubilité des sels et des gaz, elle permet de différencier les eaux qui circulent en surface de celles qui circulent en profondeur ou le mélange entre les eaux.

L'augmentation de la température est fonction de la profondeur (1°C pour 35m).

La température moyenne des eaux de la nappe phréatique est de l'ordre de 20°C, et celle de l'air est de 24, 8°C.

On constate que la température de l'eau est pratiquement la même que celle de l'air ; Ce qui montre

, l'interaction complète entre la nappe et l'air.

1.1.2. Résidu sec

C'est la totalité des sels dissous dans l'eau et suspensions (organiques et minérales) obtenues par peser (évaporation à 110°C durant 24 heures) exprimée en mg/l, c'est donc la minéralisation totale de l'eau.

D'après la carte d'iso teneur du résidu sec de la nappe phréatique, on constate une augmentation du Sud vers le Nord avec le sens d'écoulement jusqu'à atteindre la valeur maximale **7.8 g/l** à El Bared au nord et Megarine au sud de centre, passant par une valeur minimale de **2.6 g/l** au niveau des puits de sidi mahdi de périphérique.

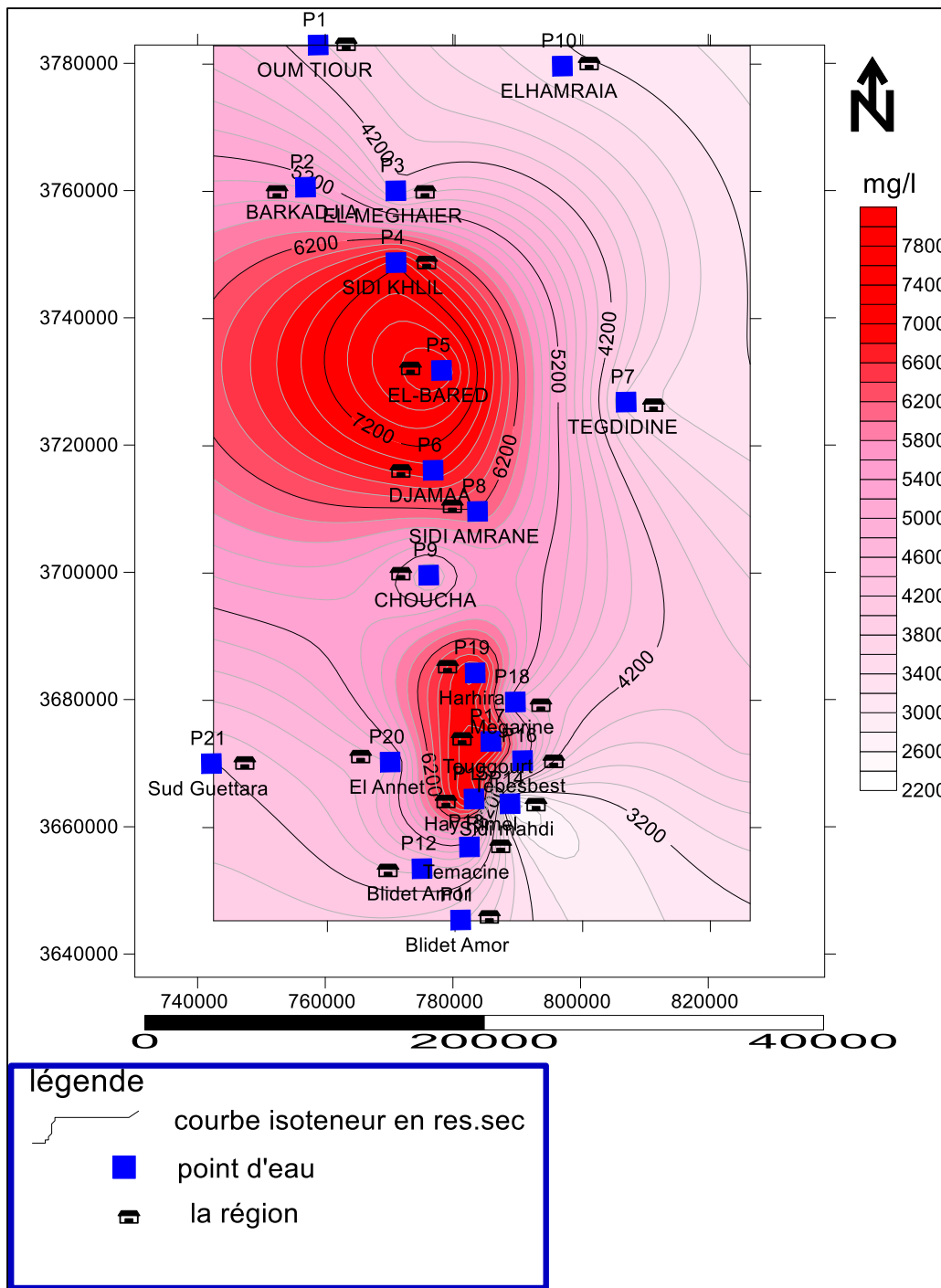


Fig.19. Carte d'isovaleurs Résidu sec de la nappe phréatique (Oued Righ).

1.1.3. Conductivité électrique

La conductivité électrique est un moyen important d'investigation en hydrogéologie. Sa mesure est précise et rapide .sa variation est liée à la nature des sels dissous et leur concentration.

Pour la nappe phréatique de la région d'étude, la valeur de conductivité varie entre **2,4 ms/cm** et **7,6 ms/cm**.

Elles sont importantes en El Bared au Nord et en megarine au sud, diminuent de centre vers le périphérique de la vallée.

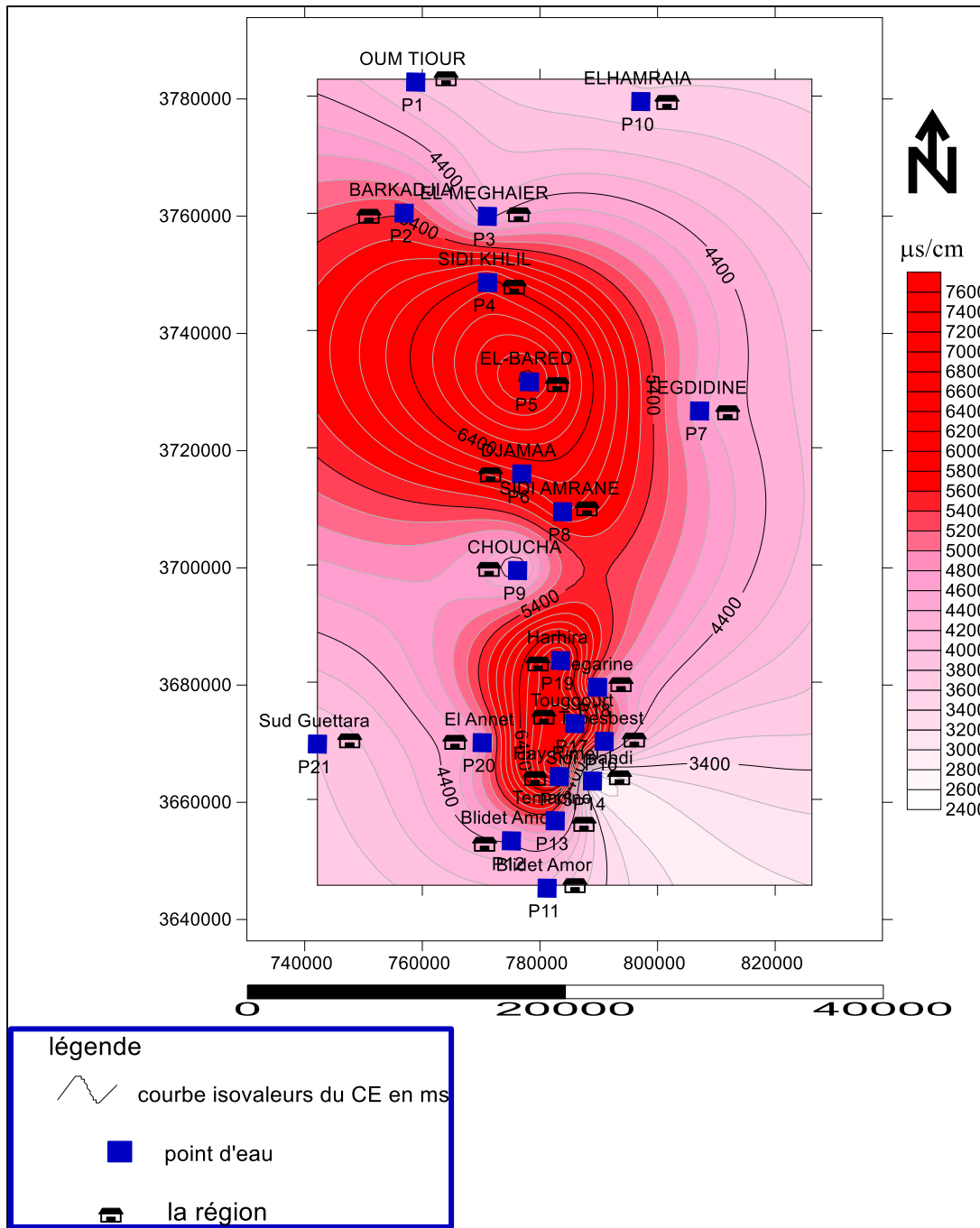


Fig.20. Carte d’isovaleurs de la conductivité en ms de la nappe phréatique (Oued Righ).

1.1.4. P.H

Le pH correspond à la concentration d'ions hydrogènes, il mesure l'acidité ou la basicité d'une eau, sa valeur varie en fonction de l'action de la force ionique :

- Milieu neutre **pH=7.**
- Milieu acide **pH<7.**
- Milieu basique **pH>7.**

Les valeurs de pH sont très proches, entre **7** et **8**.mais dans la plupart des puits de la nappe phréatique les eaux sont légèrement alcalines.

Tab.14 : Les valeurs de PH de la nappe phréatique dans la région d'Oued Righ

Localité	pH
OUM TIOUR	8,36
BARKADJIA	8,2
EL-MEGHAIER	8,17
SIDI KHLIL	8,2
EL-BARED	8,1
DJAMAA	8,27
TEGDIDINE	8,21
SIDI AMRANE	8,41
CHOUCHA	7,66
ELHAMRAIA	8,35
Blidet Amor	7,65
Blidet Amor	8,35
Temacine	8,49
Sidi mahdi	8,37
Hay Rimel	8,38
Tebesbest	8,28
Touggourt	8,43
Megarine	8,28
Harhira	7,99
El Annet	8,36
Sud Guettara	8,2
Sud Guettara	8,17

1.1.5. La dureté totale

Le degré hydrotimétrique ou titre hydrotimétrique, indique la teneur totale des concentrations classiques de Ca^{++} et Mg^{++} exprimé en degré français, ou 1°f correspond à **10 mg** de carbonates dans un litre d'eau, $1^{\circ}\text{f} = 10 \text{ mg/l}$ de $\text{CaCO}_3 = 0,2 \text{ me}^-/\text{l}$.

Elle est calculée par la formule suivante :

$$\text{DHT } (^{\circ}\text{F}) = (\text{r Ca}^{++} + \text{r Mg}^{++}) \times 5$$

Donc, on peut classer les eaux d'après leur dureté totale (d'après CASTANY, page 243).

Tab.15 : Potabilité en fonction de la dureté

Degré °f	0-3	3-15	15-30	>30
Eau	Très douce	douce	Dure	Très dure

Dans l'ensemble les eaux analysées présentent un $\text{th} > 200^{\circ}\text{f}$.

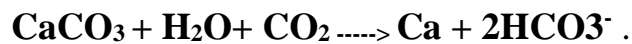
1.2. Etude paramètres chimiques

La nature des eaux dépend des roches traversées lors de leurs circulations dans les formations aquifères et du temps de séjour qui permet de s'enrichir en sels minéraux.

1.2.1. Etude des cations

1.2.1.1. Le Calcium

C'est un élément de la dureté totale, la dissolution du calcium résulte principalement de l'infiltration des eaux dans les formations carbonatées, cette dissolution est due principalement à la présence du gaz carbonique. Ce gaz provient de l'atmosphère en raison de l'activité bactérienne qu'il génère :



Les teneurs de Ca^{++} de la nappe phréatique sont comprises entre **260 mg/l** comme valeur minimale à sidi mahdi, elles vont atteindre la valeur maximale **480 mg/l** à El Bared au Nord et megarine au sud de la carte.

D'après la carte, on constate aussi que les teneurs en Ca^{++} augmentation du centre vers le périphérique de la carte sont remarquables.

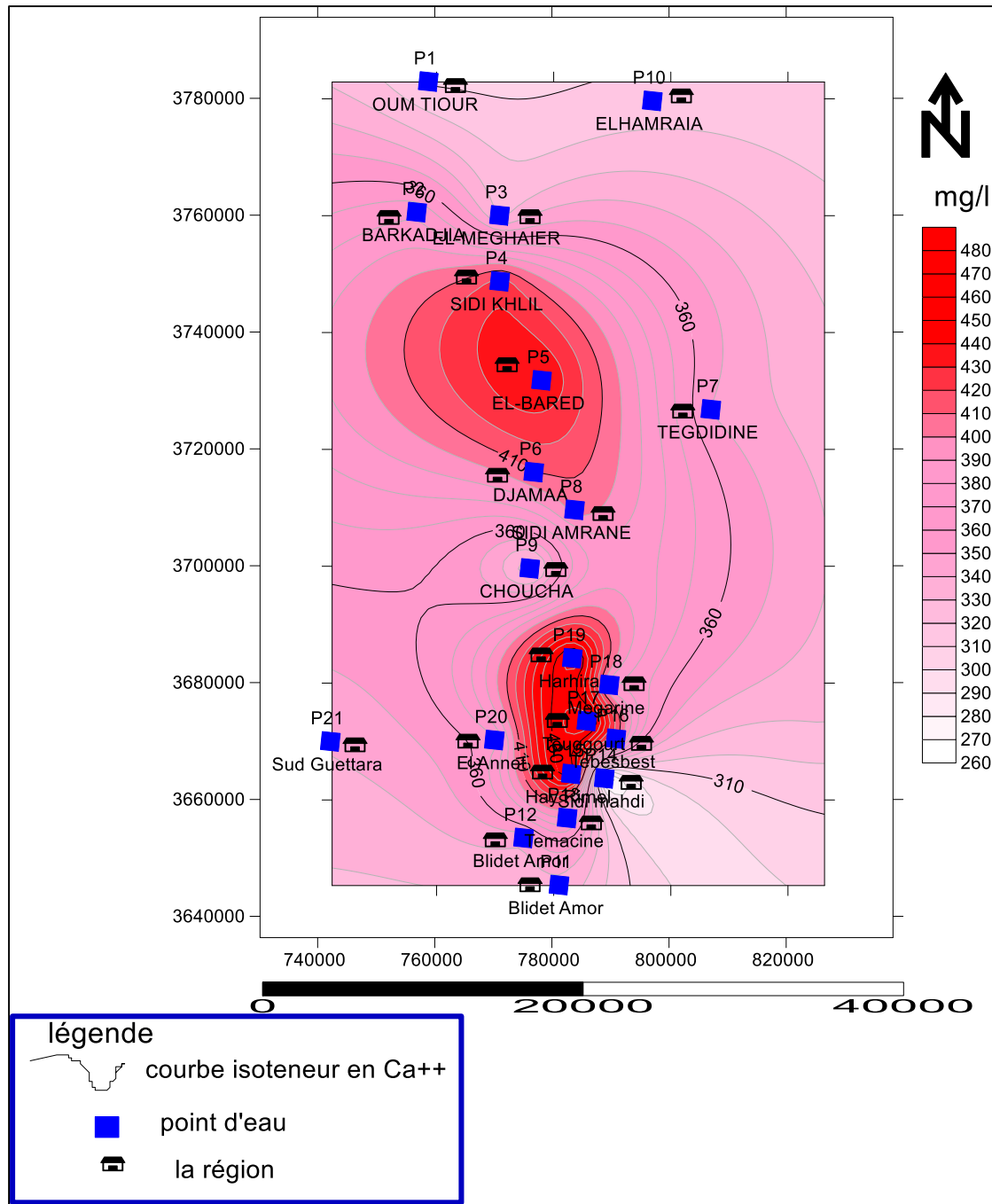


Fig. 21. Carte d'isoteneur en Ca^{++} (g/l) de la nappe phréatique (Oued Righ)

1.2.1.2. Le Magnésium

Ces ions proviennent de la dissolution des roches magnésiennes du gypse et des minéraux ferromagnésiens et surtout de la mise en solution des dolomies et des calcaires dolomitiques.

D'après la carte d'iso teneurs de Mg^{++} , on constate que les valeurs de concentration de Mg^{++} sont augmentées au sud à **580 mg/l** de Harhira et le nord de Choucha, dans la carte remarqué l'augmentation de la teneur au centre et sa diminution jusqu'au périphérique.

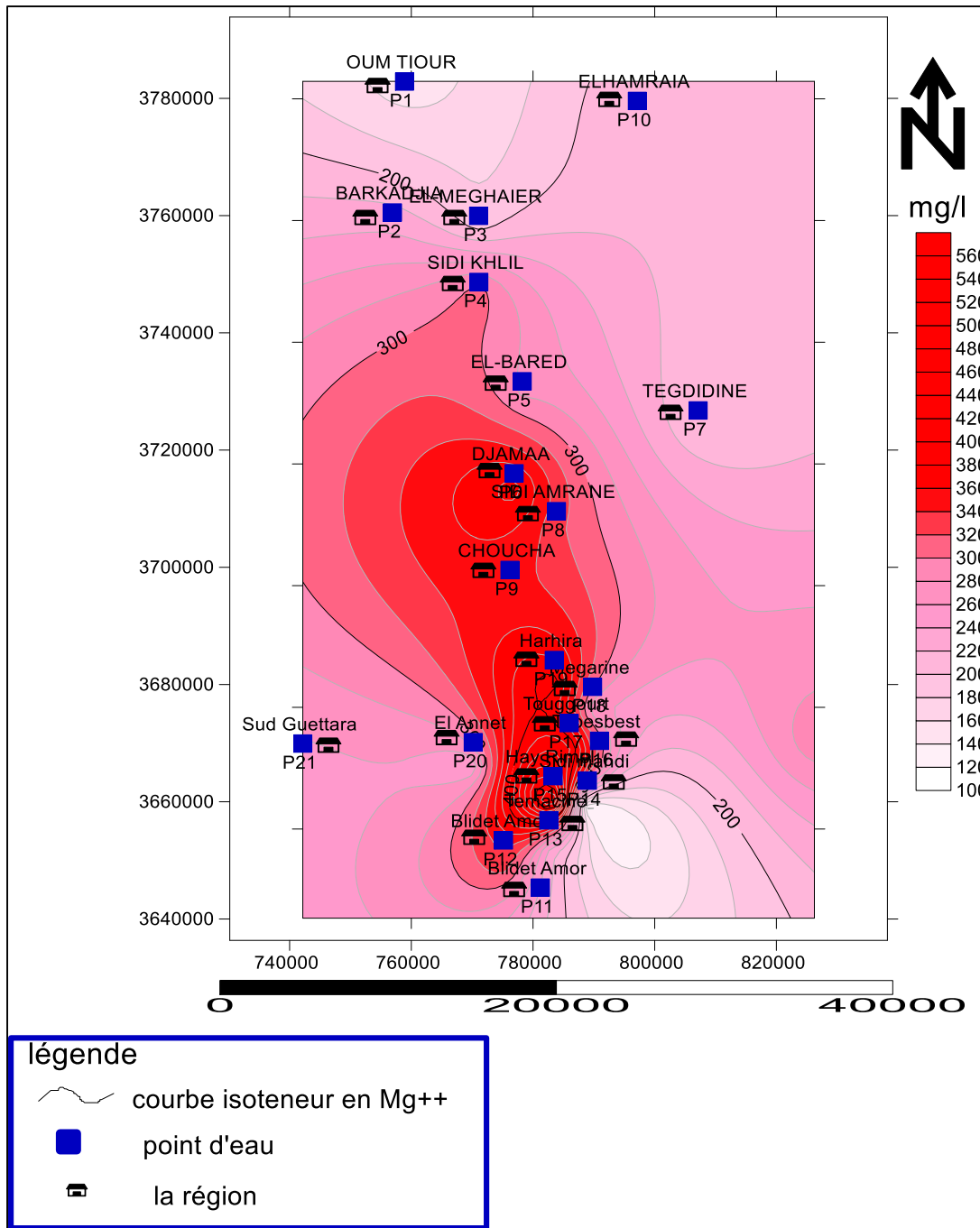


Fig.22 .Carte d'isoteneur en Mg^{2+} (mg/l) de la nappe phréatique (Oued Righ)

1.2.1.3. Le Sodium et le Potassium

Le sodium et le potassium sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportion variable. Le sodium peut prévenir du lessivage des formations géologiques riches en **NaCl** ; le potassium est beaucoup moins abondant que le sodium, rarement présent dans l'eau.

D'après la carte d'iso teneurs de (**Na⁺**, **K⁺**), on peut distinguer deux parties :

Au Sud : on constate que les teneurs en **Na⁺**, **K⁺** augmentent du centre vers le périphérique avec à Harhira au centre de la carte, une valeur maximale de **1250 mg/l** et à sidi mahdi au périphérique de la carte une valeur minimale **250 mg/l**.

Au Nord : on constate que les teneurs en **Na⁺**, **K⁺** augmentent du centre vers le périphérique avec à El Bared au centre de la carte, une valeur maximale de **1250 mg/l** et à Oum Tiour au périphérique de la carte une valeur minimale **600 mg/l**.

L'augmentation des valeurs au centre de la vallée est due aux eaux chargées provenant de la dissolution des sels de la croûte superficielle par les eaux d'irrigations.

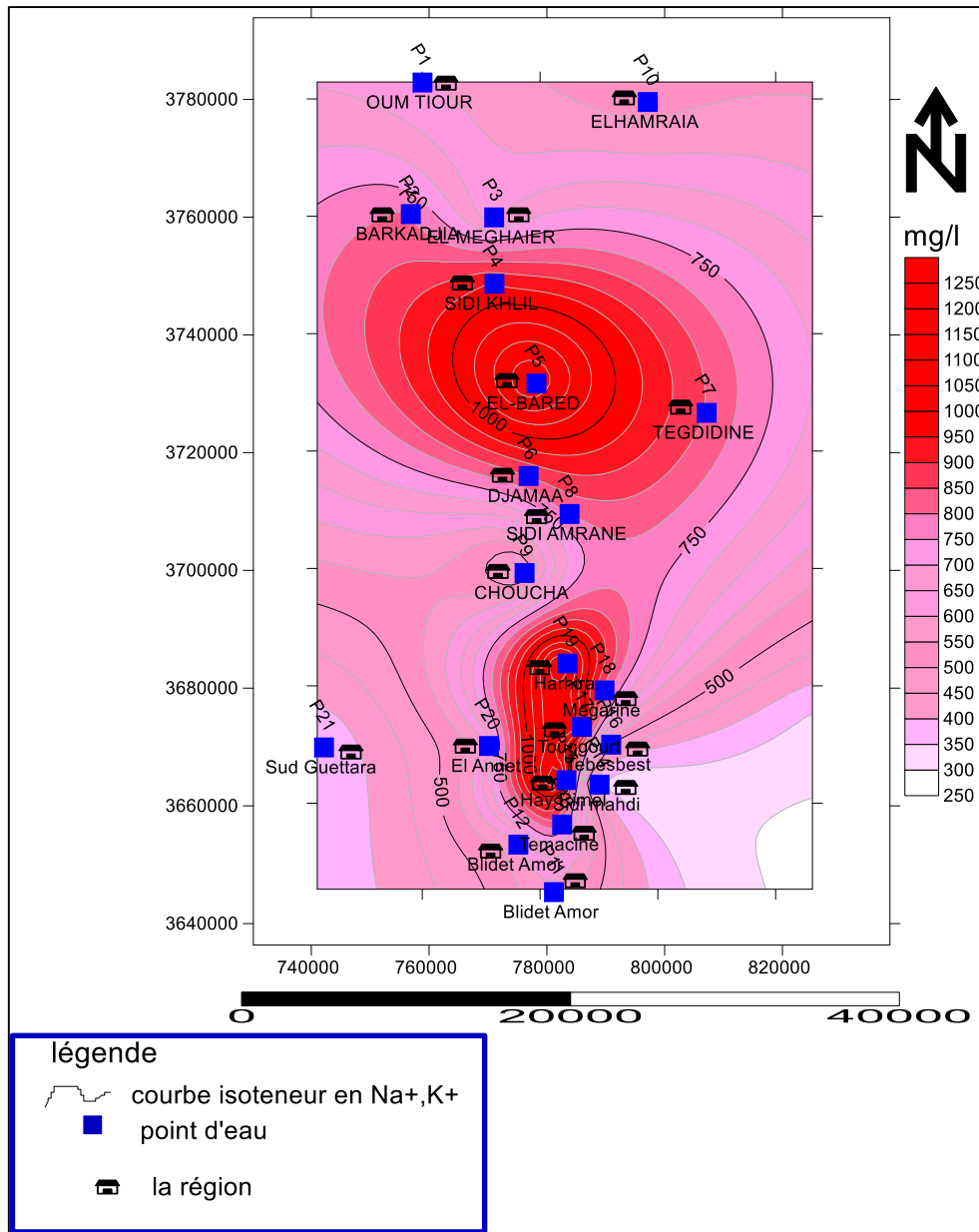


Fig.23. Carte d'isoteneur en Na⁺, K⁺ (mg/l) de la nappe phréatique (Oued Righ)

1.2.2. Etude des anions

1.2.2.1. Chlorures

Ils sont toujours présent dans les eaux naturelles en proportions très variables, leur présence dans l'eau résulte de :

- La dissolution des sels naturels par le lessivage de terrains gypseux, marneux ou argileux.
- L'évapotranspiration intense dans les régions où le niveau piézométrique est proche de la surface du sol, caractérisant notre nappe.

D'après la carte, on constate que les valeurs de Cl^- sont très importantes au centre de la carte, qui va très diminuer au périphérique où la teneur de Cl^- atteint sa valeur minimale **400 mg/l** au niveau du puits de Bildet Omar, sud Gettara, el Hamria et Oum Tiour.

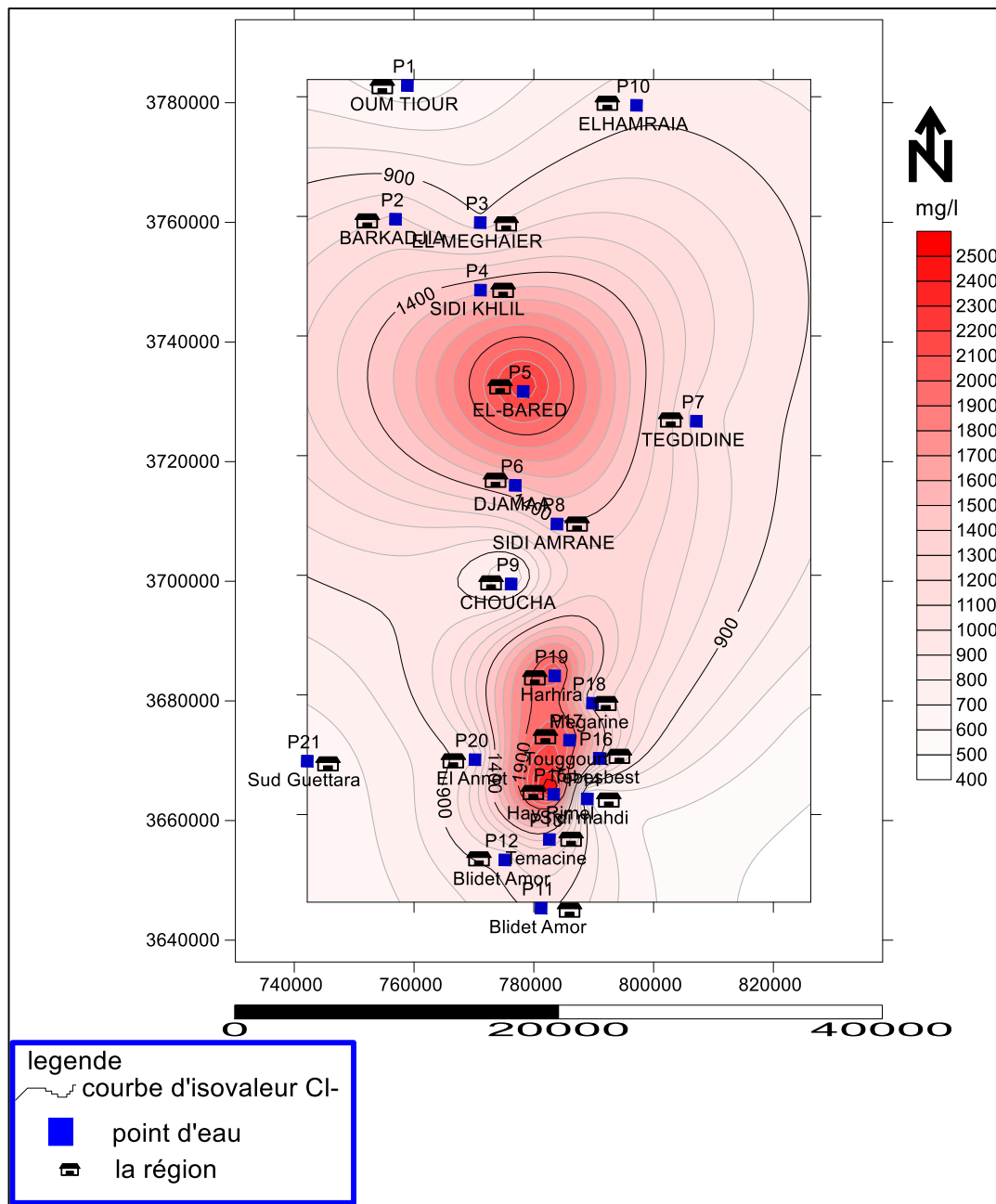


Fig.24. Carte d'isoteneur en Cl⁻ (mg/l) de la nappe phréatique (Oued Righ)

1.2.2.2. Le Sulfates

Les sulfates sont toujours présents dans l'eau naturelle, leur présence dans l'eau provient de :

- Des formations gypseuses.
- Légère solubilité de CaCO_3 avec des passées gypseuses.
- Des eaux usées industrielles.

Les teneurs varient entre **800 mg/l** comme valeur minimale et **2300 mg/l** comme valeur maximale.

D'après la carte, on constate que ces valeurs sont très proches, à l'exception de la présence d'une valeur très élevée au niveau du puits El bared **2300 mg/l** au Nord a centre de la carte.

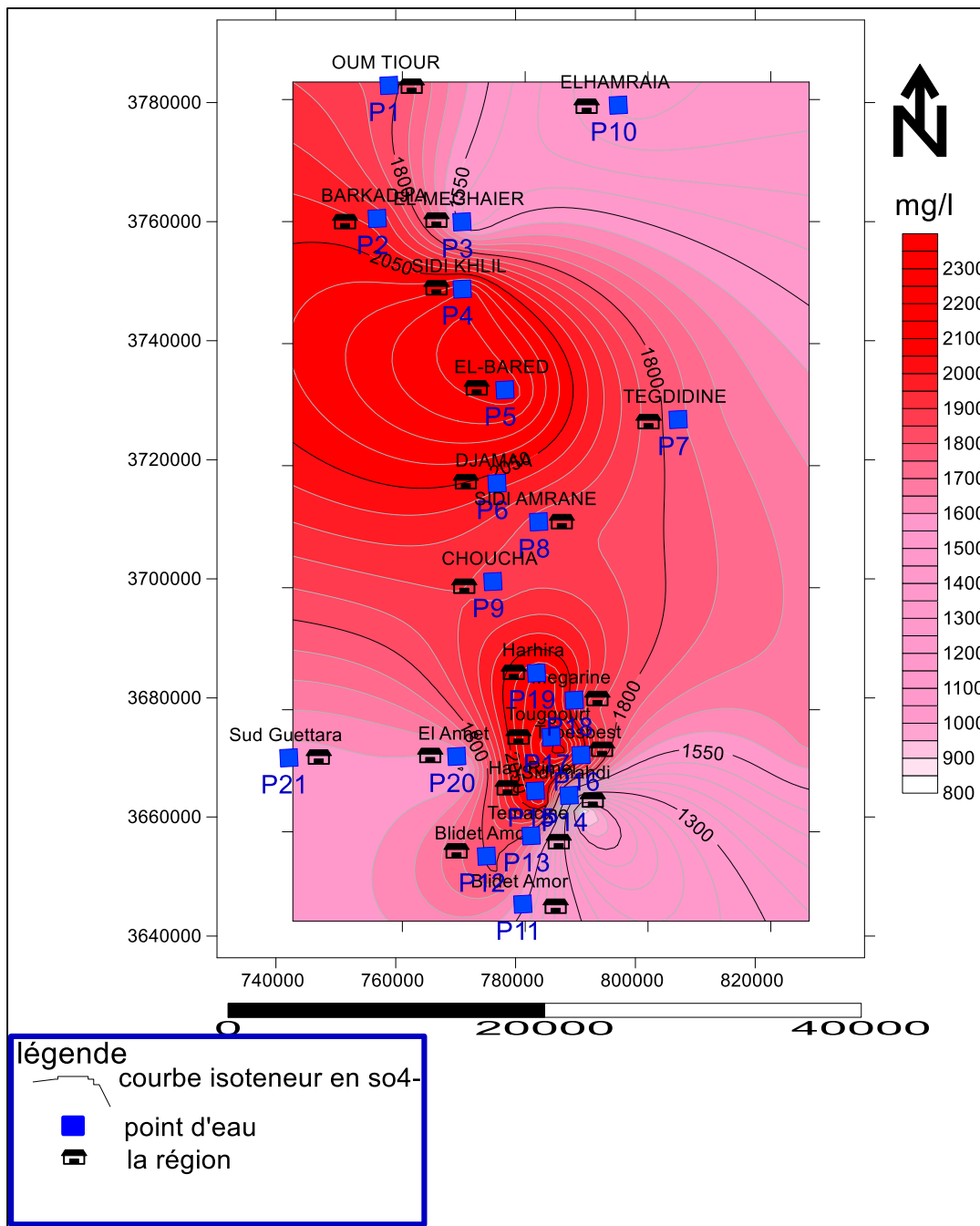


Fig.25. Carte d’isoteneur en SO_4^{2-} (mg/l) de la nappe phréatique (Oued Righ

1.2.2.3. Les Bicarbonates

Elles proviennent de la dissolution des roches carbonatées en fonction de la tension en CO_2 , de la température, le **pH** de l'eau et la nature lithologique des terrains traversés.

Les valeurs de la concentration de HCO_3 sont faibles, elles sont comprises entre **140 mg/l** et **200 mg/l**.

D'après la carte, ces valeurs sont importantes au centre qu'au périphérique, on estime la valeur minimale au niveau du puits de Megarine.

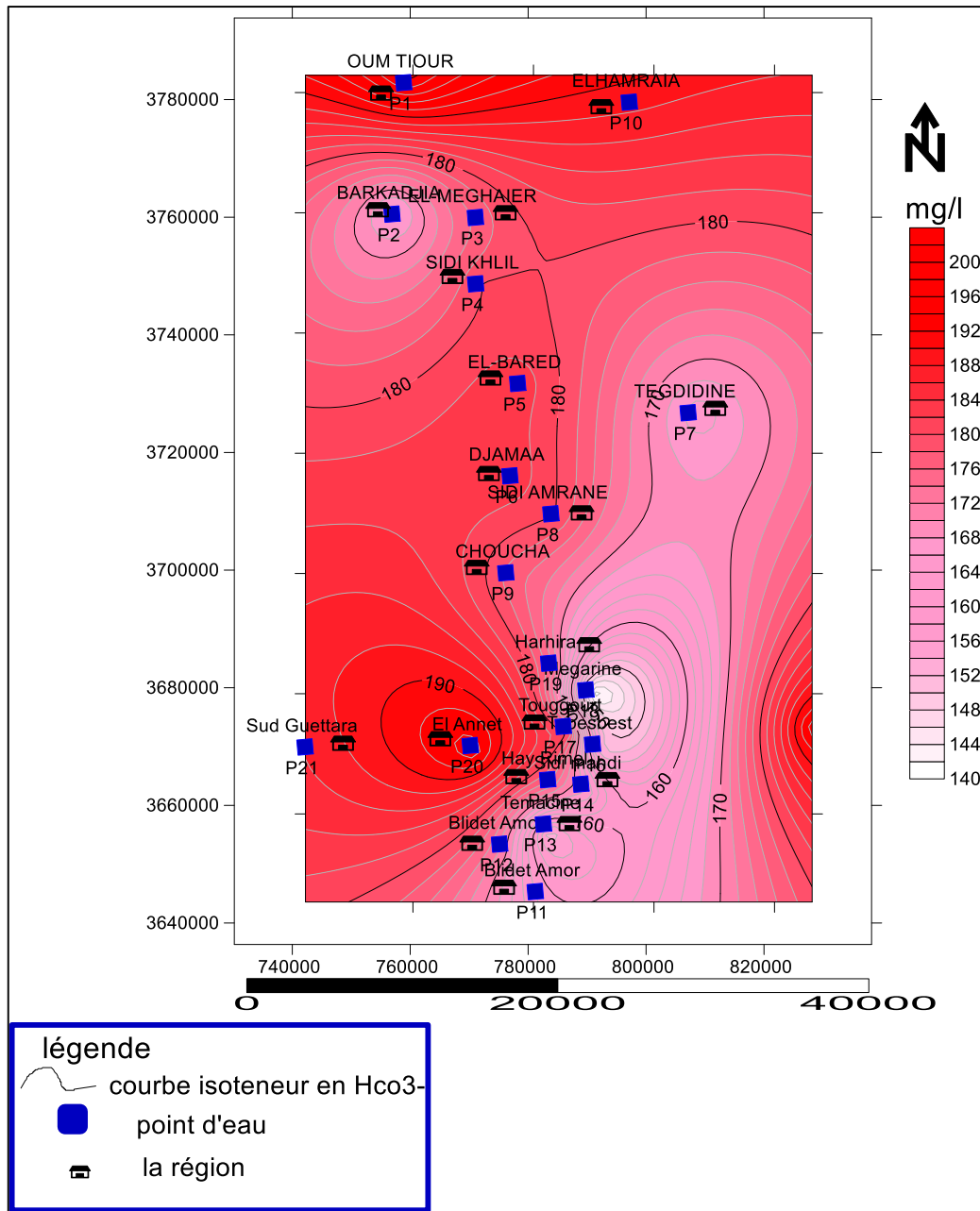


Fig.26. Carte d'isoteneur en HCO_3^- (mg/l) de la nappe phréatique (Oued Righ)

1.3. L'histogramme de concentration des différents éléments

La conception d'histogramme de la concentration basée sur les analyses des éléments chimiques majeurs en **még/l**. on a calculé les moyennes arithmétiques de chaque élément, ensuite on représente les moyennes sous forme d'histogramme. (Les résultats sont en **még /l** pour avoir un aperçu sur les éléments dominants.)

L'histogramme montre que le sodium et le magnésium sont les cations dominants ; les autres éléments sont moins importants et les chlorures et les sulfates sont les anions dominants.

La dominance des chlorures et du sodium est liée d'un part à la présence de lentilles de sels **NaCl**, et d'autre part au contact d'eau d'excès d'irrigation sur la couche superficielles riche en **NaCl** (il est connu que cet excès s'infiltré dans la nappe phréatique), sans oublier l'évaporation intense qui touche cette nappe et la rend plus concentrée.

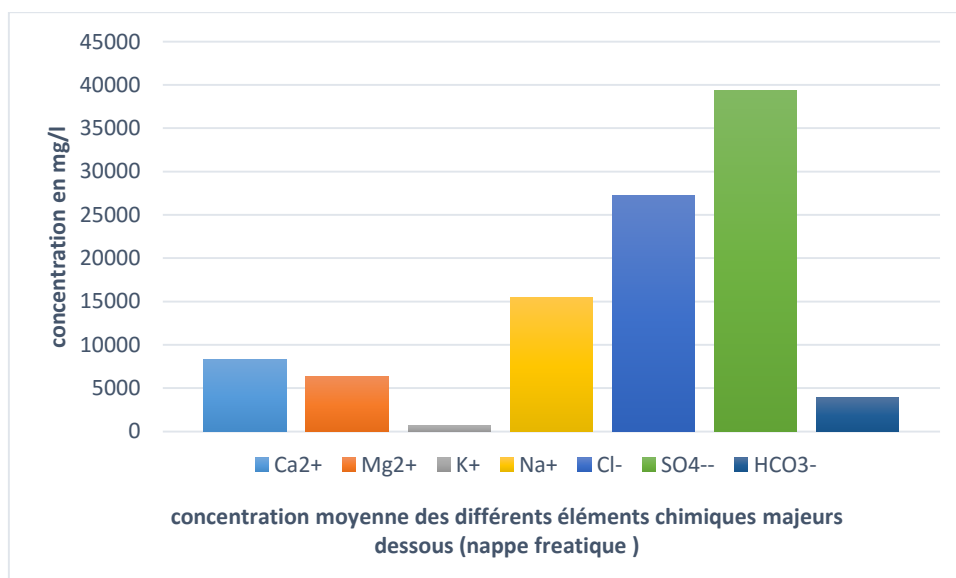


Fig. 27. Concentration moyenne des différents éléments majeurs dessous (nappe phréatique).

1.4. Représentation graphique des données

Pour compléter l'étude hydrochimie, les résultats des analyses sont portées sur des diagrammes permettant de définir clairement des types d'eau, et compare les eaux entre elles.

1.4.1. Aptitude des eaux à l'irrigation

L'aptitude des eaux à l'irrigation est reliée à son effet sur les sols et les cultures, ces derniers sont effectués de matières différentes par la nature des sels dissouts dans les eaux destinées à l'agriculture.

1.4. 2.Diagramme de REVERSIDE

Pour plusieurs années, il a été reconnu que la concentration en sodium des eaux d'irrigation, a une influence marquée sur la perméabilité et l'infiltration des sols , la présence du sodium a des effets néfastes sur la structure des sols, et par la suite sur la végétation , par défoloculation de l'argile, ce qui rend les sols compactes, et asphysciants pour les plantes (Sayah l.y et all 1992).

Le sodium est un élément des bases alcalines et alcalino-terreuses, joue un rôle important dans le maintien de la perméabilité des sols pour l'irrigation.

Pour déterminer ce risque, **Reverside** a créé une classification qui considère le rapport du sodium absorbé par le sol (**SAR**) et la minéralisation totale.

Donc le **SAR**, sera calculé par la formule suivante :

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

Ou toutes les concentrations sont exprimées en **méq/l**.

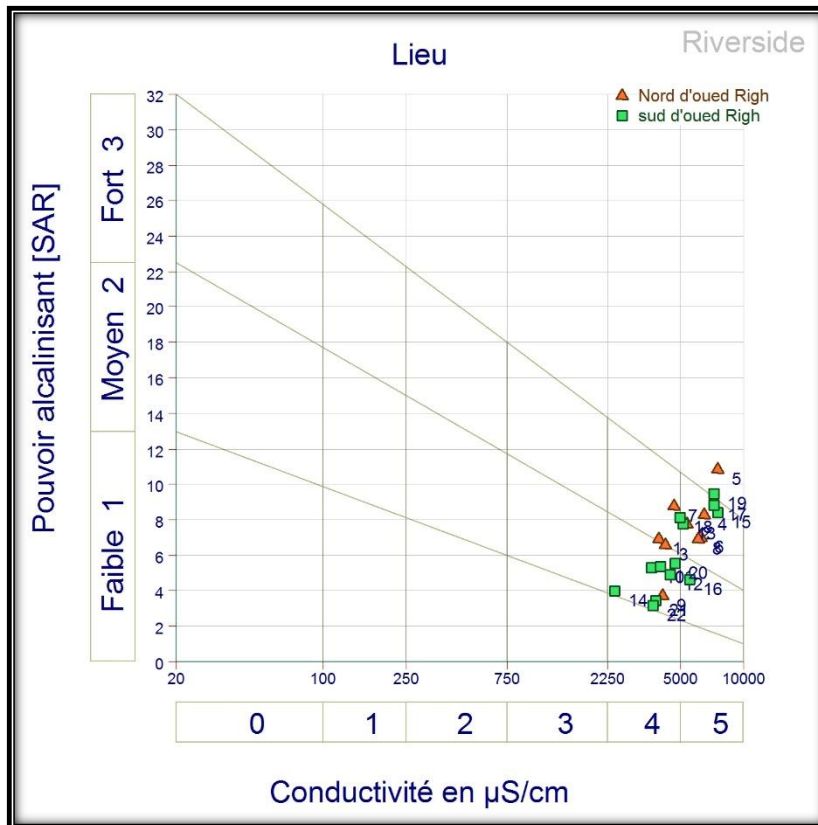


Fig.28. Diagramme de Richards des eaux géothermales de la région de l'Oued Righ 2016.

D'après le diagramme de **Reverside**, ces eaux ne convenant pas à l'irrigation, elles ont une salinité exagérée, mais pouvant être utilisées sous certaines conditions : certaines cultures (palmiers), sol très perméable.

1.5. Classification des eaux naturelles

Il existe plusieurs classifications des eaux naturelles ; on distingue deux critères fondamentaux de classification :

- La composition chimique.
- L'origine et le gisement des eaux.

Les principales classifications basées sur la composition chimique des eaux naturelles sont celles de STABLER-SAULINE, ALKENINE, SCHELLER, PALMER et PIPER mais les plus utilisées sont celles de STABLER et PIPER.

1.5.1. Classification de STABLER

Cette classification est exprimée par une formule caractéristique (formule ionique), elle consiste à calculer les quantités en réaction en pourcent par rapport à la concentration totale (**50% anions, 50% cations**).

$$r\% = \frac{r \times 100}{c}$$

Dont :

r% : quantité en réaction en pourcent de l'élément.

r : quantité en réaction de l'élément chimique (mg/l).

c : concentration de l'élément chimique dans l'eau.

Puis on classe de gauche à droite par ordre décroissant, les quantités en réaction en pourcent des anions et des cations pour obtenir des formules caractéristiques. Cette dernière permet d'une part de définir la relation entre le chimiste des eaux et la lithologie de l'aquifère et d'autre part de regrouper les eaux de même origine.

Le tableau et figure suivant porte les faciès chimiques et les formules caractéristiques des analyses d'eau des puits de la nappe phréatique.

Tab 16 : Classification de STABLER des eaux de la nappe phréatique

Faciès chimique	Formule caractéristique	%	Point d'élèvement
Sulfaté sodique	$r \% \text{SO}_4^{--} > r \% \text{Cl}^- > r \% \text{HCO}_3^-$ $r \% \text{Na}^{++} \text{K}^+ > r \% \text{Mg}^{++} > r \% \text{Ca}^{++}$	81%	-Oum tiour Barkadjia -El meghaier -Sidi khilil -Djamaa -Tegdidine -Ssidi amrane - chouchA - El hamraia - Blidet Amor- -Blidet Amor - Temacine -Sidimahdi - Tebesbest - Touggourt - Megarine - El Annet - Sud Guettara
Sulfaté sodique	$r \% \text{SO}_4^{--} > r \% \text{Cl}^- > r \% \text{HCO}_3^-$ $r \% \text{Na}^{++} \text{K}^+ > r \% \text{Mg}^{++} > r \% \text{Ca}^{++}$	4.5%	-Choucha
Chloruré Sodique	$r \% \text{Cl}^- > r \% \text{SO}_4^{--} > r \% \text{HCO}_3^-$ $r \% \text{Na}^{++} \text{K}^+ > r \% \text{Ca}^{++} > r \% \text{Mg}^{++}$	4.5%	-El bared
Chloruré Sodique	$r \% \text{Cl}^- > r \% \text{SO}_4^{--} > r \% \text{HCO}_3^-$ $r \% \text{Na}^{++} \text{K}^+ > r \% \text{Mg}^{++} > r \% \text{Ca}^{++}$	4.5%	Hay Rimel
Sulfaté Calcique	$r \% \text{Cl}^- > r \% \text{SO}_4^{--} > r \% \text{HCO}_3^-$ $r \% \text{Ca}^{++} > r \% \text{Na}^{++} \text{K}^+ > r \% \text{Mg}^{++}$	4.5%	Sud Guettara



Fig.29.le diagramme de Stabler (la nappe libre 2016).

1.5.2. Classification de PIPER

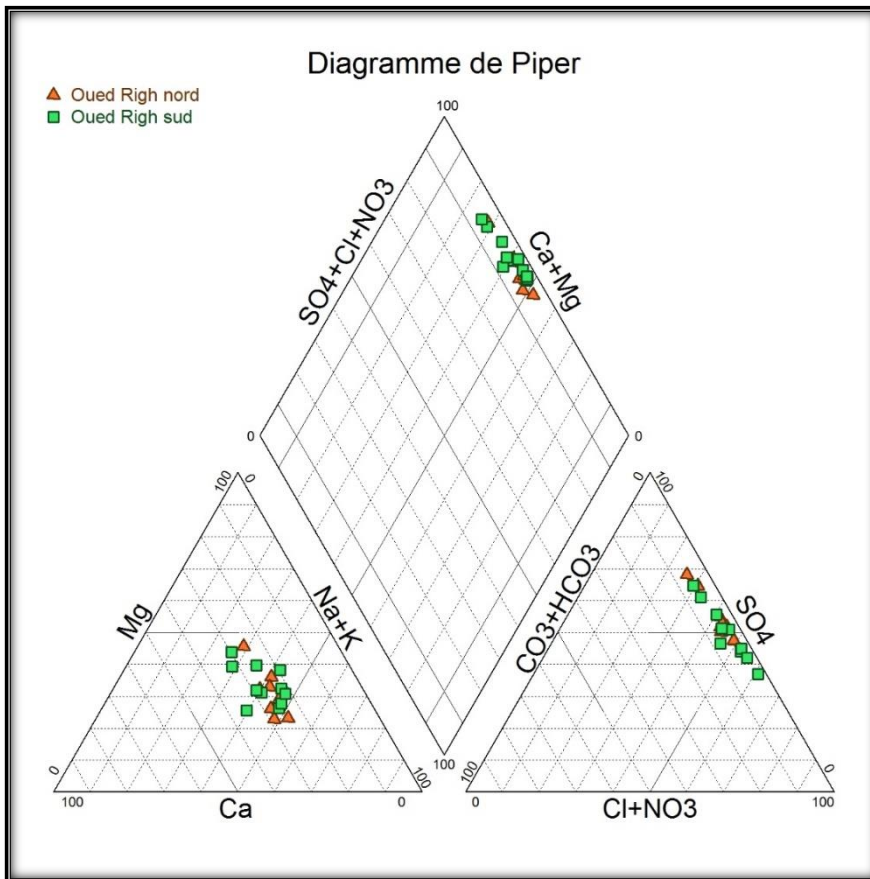


Fig.30.le diagramme de Piper (la nappe libre 2016).

D'après la classification de PIPER, la nappe phréatique a un faciès sulfaté sodique pour la majorité des forges.

1. 6.Vulnérabilité à la pollution

La vulnérabilité dépend du type de nappe, libre ou captive et du mode de circulation de l'eau dans l'aquifère.

Les nappes libres sont les plus vulnérables, les polluants d'origines superficielles peuvent diffuser librement dans le sol de la zone non saturée.

Dans notre cas la nappe superficielle est très vulnérable à la pollution par la migration ou l'infiltration des polluants dans les eaux du canal vers la nappe phréatique. Il s'agit du bouchon au niveau du canal principal.

1. 7. Impacte de la nappe phréatique sur les autres nappes

L'évaporation intense qui touche la nappe phréatique d'une part, et le lessivage des eaux d'excès d'irrigation au sol qui est riche en **NaCl**. D'autre part font que notre nappe est salée, cette dernière contamine localement la nappe de **CT₁** et par conséquent **CT₂** puisqu'elles sont en communication ceci se traduit par la minéralisation parfois élevées des eaux de deux nappes (**CT₁-CT₂** qui sont alimentées par les infiltrations d'eau de la nappe phréatique surtout s'il s'agit des forages détériorés, ainsi que les eaux du canal d'Oued Righ).

Conclusion

Les eaux de la nappe phréatique de la région de l'Oued Righ sont caractérisées par des **valeurs de conductivités élevées**.

L'utilisation de ces eaux pour l'AEP sans traitement préalable **est déconseillée**

Du point de vue **agricole**, les eaux de la région ne conviennent généralement pas à l'irrigation mais pouvant être **utilisé sous certaines conditions**, pour certaines cultures dans certains sols.

Donc, on conclut que cette nappe **peut être exploité** du **point de vue hydrochimie**, plus au Nord qu'au Sud.

On déduit que dans cette région, il n'y a pas un problème de quantité mais plutôt de qualité, pour cela il faut exiger des méthodes de traitement (dessalement) pour améliorer la qualité chimique des eaux de la nappe phréatique.

CHAPITRE IV : HYDROCHIMIE

Conclusion général

La région d'oued Righ occupe la partie basse au Nord-Est des déserts du Sahara, et bordée au nord par la wilaya de Biskra, sud-ouest à l'oasis de wilaya Ouargla et à l'est de vallée oued Souf. Administrativement, elle appartient au sud de la wilaya d'Ouargla par le village d'El Goug (Touggourt) et se termine sur une distance au Nord par le village d'Oum-Thiours [de la wilaya de Biskra].

Dans cette région les ressources en eaux sont suffisantes mais de mauvaise qualité chimique.

Cette région désertique est caractérisée par un climat hyperaride, marqué par de fortes températures estivales et de très faibles précipitations annuelles. Les températures moyennes maximales sont de **33,73°C** et les minimales de **11,54°C**. La moyenne annuelle est de 22.51°C.

Les précipitations sont très faibles et irrégulières, de 5.66 mm/an et ne jouent pas un rôle notable dans la recharge directe des nappes.

L'étude géologique permet de distinguer deux ensembles hydrogéologiques, post paléozoïques, importants : nappe phréatique le Continental Intercalaire et le Complexe Terminal.

- La nappe phréatique est contenue dans les sables fins à moyens d'âge quaternaire, contenant des cristaux de gypse. Elle s'épaissit du sud vers le nord et sa puissance moyenne est de 20mètre. Caractérisée par des eaux à forte salinité. La nappe phréatique est principalement alimentée par les eaux d'irrigation et de distribution urbaine, les eaux des forages dont les tubages sont détériorés par les faibles précipitations et par les percolations des nappes de complexe terminale. Les pertes sont surtout le fait de l'évaporation.
- Le Continental Intercalaire est défini par deux niveaux grésos-sableux, aquifères : l'Albien et le Barrémien, séparés par une couche semi-perméable d'âge Aptien, et recouvert par une couche argilo marneuse et argileuse à évaporites, d'âge Cénomaniens.

- Le Complexe Terminal est composé de plusieurs ensembles aquifères d'âge et de lithologie différents, séparés par des formations semi-perméables ou imperméables.
 - Les formations carbonatées de l'Eocène inférieur et du Sénonien supérieur
 - Les formations détritiques du Continental Terminal, sont constituées par les sables du Mio-Pliocène, recouverts, pratiquement en totalité, par l'Erg oriental. Dans ce continental terminal on distingue à Touggourt deux nappes : la première, dans les sables et argiles du Pliocène, qui correspond un réseau de petites nappes plus ou moins en communication, la deuxième nappe, dans les sables grossiers à graviers du Miocène supérieur.

Sur le plan tectonique, les grands accidents subméridiens et verticaux déterminent un cloisonnement dans le Continental Intercalaire, qui ne déforme pas la continuité lithologique mais favorise la communication avec les formations au-dessus.

A oued Righ, la nappe phréatique. Située à plus de 150m de profondeur ses eaux sont la température ($\approx 50^{\circ}\text{C}$). Dans la zone d'étude.

Les nappes étant très sollicitées pour l'irrigation des palmeraies, notamment dans les zones de surexploitation, dans la partie médiane.

Les conséquences de l'exploitation de ces aquifères sont multiples :

- un rabattement des nappes souterraines (plus de 80 m à Touggourt),
- une remontée de la nappe phréatique et salinisation de l'eau et du sol, par accumulation des eaux d'irrigation mal drainées.

L'étude hydrochimique montre des résidus secs varient entre 2 et 7 mg/l.

Le magnésium, le sodium, les chlorures et les sulfates sont des éléments dominants,

La classification des eaux selon les méthodes Stabler et Piper a montré la dominance des faciès suivants :

- **Sulfaté sodique.**

-**Chloruré Sodique**

-**Sulfaté Calcique**

Sur le plan de la qualité chimique et la potabilité, les eaux de la région d'oued Righ sont trop minéralisées et très dures. Ceci qui nécessite des précautions avant leur l'utilisation pour l'irrigation pour prévenir les dangers d'alcalinisation de sol. Quant à leur consommation comme eau de boisson, un traitement est recommandé.