

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA -

**FACULTE DESHYDROCARBURES, DES ENERGIES RENOUVELABLES ET DES
SCIENCES 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

**ETUDE DES RESSOURCES HYDRIQUES
DE LA REGION D'OUED RIGH**

Présente par :

**M. DEGICHE Salim
M. KHADRAOUI Laid**

Soutenu publiquement par : 20/06/2018

Devant le jury :

Président :	M. GUERADI Hocine	M.A.A Univ. Ouargla
Promoteur :	M. BOUSELSAL Boualem	M. C. A Univ. Ouargla
Examineur :	M. HOUARI Idir Menad	M.A.A Univ. Ouargla

Année Universitaire : 2017/2018

Dédicaces

*Nous dédions ce modeste travail aux êtres
les plus proches de notre cœur,*

*Notre chers parents, notre frères et sœurs, nous
souhaite qu'ils auront de succès dans leur vies.*

*En reconnaissance de tous les sacrifices consentis
par tous et chacun pour nos permettre
d'atteindre cette étape de notre vie. Avec toute nos
tendresses.*

*n'oublie pas notre collègues de nous promotion et
notre amis et tous qui nos aime.*

SALIM

L A I D

Remerciements

En premier lieu nous remercions Allah tout puissant, Qui nous a éclairé le bon chemin, et qui nous aidé pour l'élaboration de ce mémoire et nous a donné le pouvoir de le terminer.

On souhaite adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui contribué à l'élaboration de ce mémoire.

On tient à remercier notre encadreur Monsieur

BOUSELSAL BOUALEM

Pour son aidée ses conseils tout au long de notre projet et donné de son temps et de Son intelligence.

Nos vifs remerciements s'adressent également à nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience, a nos familles, nos Enseignants Et nos amies.

Merci à tous

:

يقع وادي ريف في الجنوب الشرقي من الجزائر .وهي جزء من نظام مستودعات المياه الجوفية في الصحراء الشمالية (SASS) ,ويتكون هذا الأخير من منطقة مكونة من ثلاثة مكامن للمياه الجوفية , حوض المياه الجوفية السطحي , مياه المتداخل القاري (CT) , وطبقة مياه المركب النهائي (CI) إن تفسير البيانات الكيميائية لمياه الطبقات الصخرية الثلاثة يبين أنها تهيمن عليها السوائل التخيرية .إن طبقة المياه الجوفية السطحية شديدة التمدن , وتركيزات العناصر الرئيسية تتجاوز المعايير التي أوصت بها منظمة الصحة العالمية والمعايير الجزائرية لمياه الشرب .هذه المياه ذات نوعية متوسطة إلى سيئة للري .إن مياه طبقة المتداخل القاري (CT) , ومياه طبقة المركب النهائي (CI) , هي ذات جودة فيزيائية كيميائية ضعيفة مع الإشارة إلى معايير منظمة الصحة العالمية لمياه الشرب , وهي تتطلب المعالجة قبل الاستخدام , هم أيضا في الغالب فقيرة جدا لأغراض الري.

الكلمات المفتاحية : وادي ريف , , طبقة المركب النهائي , , نوعية المياه.

Résumé:

La vallée d'Oued Righ se situe au Sud-Est de l'Algérie. Elle fait partie de système aquifère du Sahara septentrional (SASS), ce dernier est constitué dans la région de trois aquifères, l'aquifère superficiel, l'aquifère de Complexe Terminal (CT) et l'aquifère de Continental Intercalaire (CI). L'interprétation des données chimiques des eaux des trois aquifères montres qu'elles sont dominées par les faciès évaporitiques. L'aquifère superficiel est très minéralisé, les concentrations des éléments majeurs dépassent les normes recommandées par l'OMS et les normes algériennes pour l'eau potable. Ces eaux sont de qualité médiocre à mauvaise pour l'irrigation. Les eaux du complexe terminal et Continental Intercalaire sont de mauvaise qualité physico-chimique en référence aux normes de l'OMS pour l'eau potable, elles nécessitent un traitement avant l'utilisation. Elles sont aussi en majorité de qualité médiocre à mauvaise pour l'irrigation.

Mots clés: Oued Righ, CT, CI, irrigation, potable. Qualité des eaux .

Abstract :

The Oued Righ valley is located in the south-east of Algeria . It is part of the Northern Sahara Aquifer Système (SASS) , the latter consisting in the region of three aquifers , the superficial aquifer, the Terminal Complex aquifer (CT) and the Continental Intercalaire (CI) aquifer .The interprétation of the chemical data of the waters of the three aquifer shows that they are dominated by evaporitic facies .The superficial aquifer is highly mineralized , the concentrations of major elements exceed the standards recommended by the WHO and the Algerian standards for drinking water. These waters are of mediocre quality to bad for irrigation .The waters of the terminal complex and Continental Intercalaire are of poor physico-chemical quality with reference to WHO standards for drinking water , they require treatment before use .They are also mostly poor to poor for irrigation.

Key words : Oued Righ , CT, CI , irrigation , drinking. Quality the water.

Liste des figures

Fig.01: Situation géographique de la région Touggourt.....	02
Fig.02: Géomorphologie du Sahara Algérien.....	03
Fig.03 : Cartographie de l'occupation du sol de l'Oued Righ 2014 (Tarmoune et al, 2014).....	05
Fig.04: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles à la station de Touggourt.....	06
Fig.05: Histogramme des températures moyennes mensuelles à la station de Touggourt.....	07
Fig.06: Histogramme d'humidité moyennes mensuelle (en%) à la station de Touggourt.....	07
Fig.07: Histogramme de vitesse de vent moyen mensuel à la station de Touggourt.....	08
Fig.08: Histogramme d'évaporations moyennes mensuelles a la station de Touggourt.....	09
Fig.09. Histogramme moyenne mensuelle d'insolation a la Station de Touggourt.....	09
Fig.10. Carte de situation du canal d'Oued Righ	11
Fig.11: Carte géologique du Sahara orientale 1/1000 000.Extrait de la carte géologique Nord Ouest de l'Afrique(1976).....	13
Fig.12: Carte géologique d'Oued Righ (extrait de la carte géologique de l'Algérie).	15
Fig.13: Log stratigraphique d'un forage d'eau de la région de Touggourt.....	18
Fig.14. Carte des ressources en eaux souterraines (Continental Intercalaire et Complexe Terminal)	22
Fig.15. Coupe hydrogéologique transversale montrant le toit et la surface piézométrique du CI.	23
Fig.16: Coupe hydrogéologique transversale du "CT" (UNESCO, 1972).....	24
Fig.17: Carte piézométrique de référence du "CT" (OSS, 2003).....	26
Fig.18. Carte piézométrique du Complexe Terminal de l'Oued Righ Nord.....	28
Fig.19. Carte piézométrique du Complexe Terminal de l'Oued Righ Sud.....	29
Fig.20. Coupe hydrogéologique du Complexe Terminal de la région de Touggourt.....	30
Fig.21. Photo d'un forage du Complexe Terminale (2 ^{eme} nappe) à Sidi Mahdi (Faycel Hallal 2004).....	31
Fig.22 : Photo d'un forage du Continental Intercalaire à Sidi Slimane(Faycel Hallal 2004).....	32
Fig.23. Schéma récapitulatif nombre des forages dans la région d'Oued Righ	34
Fig.24. Le diagramme de Piper des eaux de la nappe superficielle (phréatique).....	36
Fig.25 : Histogrammes de la conductivité électrique de la nappe phréatique.....	38
Fig.26 : Histogramme variation de (Na ⁺) on fonctions des forages de la nappe phréatique de station d'Oued Righ 2017.....	38

Fig 27 : Histogramme variation de (K^+) on fonctions des forages de la nappe phréatique de station d'Oued Righ 2017.....	39
Fig 28 : Histogramme variation de (Ca^{++}) on fonctions des forages de la nappe phréatique de station d'Oued Righ 2017.....	39
Fig 29 : Histogramme variation de (Mg^{++}) on fonctions des forages de la nappe phréatique de station d'Oued Righ 2017.....	40
Fig 30 : Histogramme Variation de (Cl^-) on fonctions des forages de la nappe phréatique de station d'Oued Righ 2017.....	41
Fig 31 : Histogramme variation de (SO_4^{--}) on fonctions des forages de la nappe phréatique de station d'Oued Righ 2017.....	41
Fig 32 : Histogramme variation de (HCO_3^-) on fonctions des forages de la nappe phréatique de station d'Oued Righ 2017.....	42
Fig.33 : Diagramme de Richards des eaux de la nappe superficielle d'Oued Righ.....	43
Fig.34 : Diagramme de Piper des eaux de la nappe complexe terminale.....	44
Fig.35 : Histogramme de la variation de pH des eaux de la nappe CT.....	45
Fig.36 : Histogrammes de la conductivité électrique de la nappe du CT.....	46
Fig 37 : Histogramme variation de (Ca^{++}) on fonctions des forages de la nappe CT de station d'Oued Righ 2017.....	46
Fig 38 : Histogramme variation de (Mg^{++}) on fonctions des forages de la nappe CT de station d'Oued Righ 2017.....	47
Fig 39 : Histogramme variation de (Na^+) on fonctions des forages de la nappe CT de station d'Oued Righ 2017.....	47
Fig 40 : Histogramme variation de (K^+) on fonctions des forages de la nappe CT de station d'Oued Righ 2017.....	48
Fig 41 : Histogramme variation de (Cl^-) on fonctions des forages de la nappe CT de station d'Oued Righ 2017.....	48
Fig 42 : Histogramme variation de (SO_4^{--}) on fonctions des forages de la nappe CT de station d'Oued Righ 2017.....	49
Fig 43 : Histogramme variation de (HCO_3^-) on fonctions des forages de la nappe CT de station d'Oued Righ 2017.....	49
Fig 44 : Histogramme variation de (NO_3^-) on fonctions des forages de la nappe CT de station d'Oued Righ 2017.....	50
Fig.45 : Diagramme de Richards pour les eaux de Complexe Terminal.....	51
Fig.46 : Diagramme de piper des eaux du continentale intercalaire d'Oued Righ.....	52
Fig.47 .Histogramme de conductivité de la nappe continentale intercalaire (2017).....	53

Fig.48. Histogramme de PH de la nappe continentale intercalaire (2017).....	54
Fig 49 : Histogramme variation de (Ca^{++}) on fonctions des forages de la nappe CI de station d'Oued Righ 2017.....	54
Fig 50 : Histogramme variation de (Mg^{++}) on fonctions des forages de la nappe CI de station d'Oued Righ 2017.....	55
Fig 51 : Histogramme variation de (Na^{++}) on fonctions des forages de la nappe CI de station d'Oued Righ 2017.....	55
Fig 52 : Histogramme variation de (K^{+}) on fonctions des forages de la nappe CI de station d'Oued Righ 2017.....	56
Fig 53 : Histogramme variation de (Cl^{-}) on fonctions des forages de la nappe CI de station d'Oued Righ 2017.....	56
Fig 54 : Histogramme variation de (SO_4^{-}) on fonctions des forages de la nappe CI de station d'Oued Righ 2017.....	57
Fig 55 : Histogramme variation de (HCO_3^{-}) on fonctions des forages de la nappe CI de station d'Oued Righ 2017.....	57
Fig 56 : Histogramme variation de (NO_3^{-}) on fonctions des forages de la nappe CI de station d'Oued Righ 2017.....	58
Fig.57 : Diagramme de Richards des eaux de la nappe Continentale Intercalaire.....	59

Liste de tableau

Tab.1: Précipitations moyennes mensuelles à la station de Touggourt (1975-2017).....	06
Tab. 2: Températures moyennes mensuelles à la station de Touggourt (1975-2017).....	06
Tab. 3: L'humidité moyenne mensuelle à la station de Touggourt (1975-2017).....	07
Tab.4: Vitesse moyenne mensuelle des vents à la station de Touggourt (1975-2017).....	08
Tab.5: L'évaporation moyenne mensuelle a la station de Touggourt.....	08
Tab.6. Répartition moyenne mensuelle d'insolation à la station de Touggourt (1975-2017).	09
Tab.7: bilan hydrique selon C.W Thornthwaite à la station de Touggourt (1975-2017).....	10
Tab.8: Réservoirs de stockage et leurs capacités.....	35
Tab.09 : Statistiques élémentaires des différents paramètres physico-chimiques mesurées pour les eaux de nappe phréatique d'Oued Righ 2017	37
Tab.10 : Statistiques élémentaires des différents paramètres physico-chimiques mesurées pour les eaux de Complexe Terminale de Oued Righ 2017.....	45
Tab.11. Statistiques élémentaires des différents paramètres physico-chimiques mesurées pour les eaux de Continentale Intercalaire de Oued Righ 2017	53

Liste des abréviations

A.N.R.H : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

C.E : Conductivité Electrique.

C.I : Continental Intercalaire

C.T : Complexe Terminale

R.s : Résidu sec

O.M.S : Organisation Mondiale de la Santé

S.A.S.S : Système Aquifère du Sahara Septentrional .

O.S.S : Observatoire du Sahara et du Sahel

E.R.E.S.S : Etude des Ressources en Eau du Sahara Septentrional

S.A.R: Sodium Adsorption Ratio.

SOMMAIRE

Dédicace	
Remerciements	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction Générale	01

Partie 01 : Généralité sur la région d'étude

1. SITUATION GEOGRAPHIQUE :.....	02
1.1 Situation géographique.....	02
1.2 Topographie et Géomorphologie d'Oued Righ	02
1.3. Aperçu socio-économique :.....	04
1.4. Occupation de sol dans la région	04
2. CONTEXTE HYDRO-CLIMATIQUE	05
2.1. Précipitations :.....	05
2.2. Température :.....	06
2.3. L'humidité :.....	07
2.4. Le vent :.....	07
2.5. L'évaporation :.....	08
2.6. Durée d'insolation :.....	09
2.7. Bilan hydrique :.....	10
2.8. Le canal d'Oued Righ :	10
3. CONTEXTE GEOLOGIQUE.....	12
3.1.Géologie régionale.....	12
3.2. Géologie locale :.....	14
3.2.1. Le Mésozoïque	14
3.2.2. Le Cénozoïque	17
3.2.3. Le Quaternaire :.....	18
3.3. Tectonique générale :.....	19

3.4. Paléogéographie.....	19
4. CONCLUSION :.....	21

Partie 02 : Etude hydrogéologique

1. LE SYSTEME D'AQUIFERE DE SAHARA SEPTENTRIONAL (SASS).....	22
1.1. Extension et définition de Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS).....	22
1.2. Le Continentale Intercalaire.....	23
1.2.1. Limites et morphologie du continental intercalaire.....	23
1.3. Le Complexe Terminal (CT).....	24
1.3.2- Piézométrie du CT :.....	25
1.3.3- Recharge et conditions de recharge du CT.....	26
2. PRESENTATION DE SYSTEME D'AQUIFERE DE LA REGION D'OUED RIGH:.....	27
2.1. La nappe phréatique:.....	27
2.2. Les Nappes du Complexe Terminal:.....	27
2.2.1. La piézométrie :.....	28
2.2.2. La première nappe des sables :.....	29
2.2.3. La deuxième nappe du sable :.....	30
2.2.4. La nappe du Sénonien-Eocène	31
2.3. Nappe du Continental Intercalaire dans le secteur d'Oued Righ Sud.....	31
3. GESTION DES RESSOURCES HYDRIQUES DE LA REGION D'OUED RIGH :.....	33
3.1 .La Répartition de l'infrastructure hydraulique dans la région des Oued Righ.....	33
3.2. Forages.....	33
3.3. Réservoirs de stockage :.....	34
4. CONCLUSION	35

Partie 03 : Etude hydrochimique

Introduction.....	36
1. LA NAPPE SUPERFICIELLE (PHREATIQUE).....	36
2.1. Facies chimique des eaux de la nappe superficielle (phréatique).....	36
2.2. Qualité des eaux de la nappe superficielle.....	37

2.2.1. Température :.....	37
2.2.2. Potentiel d'hydrogène (pH) :.....	37
2.2.3. La conductivité électrique(CE) :.....	37
2.2.4. Sodium (Na^+) :.....	38
2.2.5. Potassium (k^+) :.....	38
2.2.6. Calcium (Ca^{+2}) :.....	39
2.2.7. Magnésium (Mg^{+2}) :.....	40
2.2.8. Chlorure (Cl^-) :.....	40
2.2.9. Sulfates (SO_4^{-2}) :.....	41
2.2.10. Les bicarbonates HCO_3^- :.....	42
2.3. Qualité des eaux de la nappe superficielle à l'irrigation :.....	42
2.3.1. Conductivité :.....	42
2.3.2. La méthode de Richards :.....	43
3. LA NAPPE COMPLEXE TERMINAL :.....	44
3.1. Etude de facies chimique des eaux de Complexe Terminal :.....	44
3.2. Qualité des eaux de la nappe complexe terminale vis-à-vis à la potabilité.....	45
3.2.1. La température :.....	45
3.2.2. Potentiel hydrogène pH :.....	45
3.2.3. Conductivité électrique CE :.....	45
3.2.4. Le Calcium (Ca^{2+}) :.....	46
3.2.5. Le Magnésium (Mg^{2+}) :.....	46
3.2.6. Le Sodium (Na^+) :.....	47
3.2.7. Potassium (k^+) :.....	47
3.2.8. Les Chlorures (Cl^-) :.....	48
3.2.9. Les Sulfates (SO_4^{2-}) :.....	48
3.2.10. Les Bicarbonates (HCO_3^-) :.....	49
3.2.11. Les Nitrates (NO_3^-):.....	49
3.3. Qualité des eaux de Complexe Terminal a l'irrigation:.....	50
4. LA NAPPE CONTINENTALE INTERCALAIRE :.....	51
4.1. Etude de facies chimique des eaux de continentale intercalaire :.....	51
4.2. Qualité des eaux de la nappe continentale intercalaire vis-à-vis à la potabilité.....	52
4.2.1. La conductivité électrique (CE) :.....	53
4.2.2. Potentiel d'hydrogène(PH) :.....	54
4.2.3. Calcium (Ca^{2+}) :.....	54

4.2.4. Magnésium (Mg^{2+}) :.....	54
4.2.5. Sodium et potassium (Na^+ , K^+) :.....	55
4.2.6. Chlorures (Cl^-) :.....	56
4.2.7. Sulfates (SO_4^{--}) :.....	56
4.2.8. Bicarbonates (HCO_3^-) :.....	57
4.2.9. Nitrates (NO_3^-) :.....	58
4.3. Aptitude des eaux à l'irrigation :.....	58
4. CONCLUSION :.....	59
CONCLUSION GENERALE	61
Référence Bibliographié	62

Introduction générale

L'Algérie reçoit approximativement 90 milliards m³ de pluie par an dont 85% s'évaporent et le reste s'infiltré dans le sous sol ou s'écoule dans le cours d'eau. En matière de ressources souterraine, le volume exploitable est estimé à 1,8 milliards m³ au Nord. Au Sud et exactement dans le Sahara Septentrional, il existe des importantes ressources stockées dans les nappes d'eau souterraines, tel que la nappe phréatique et la nappe du Continentale Intercalaire (CI) et la nappe du Complexe Terminal (CT).

L'étude des ressources en eau est un axe principal, dans le développement de la région, pour cette raison des nombreuses recherches se concentrent sur l'étude de la quantité et la qualité de ces ressources en eaux souterraines dans l'Algérie.

Le Sahara algérien constitue, jusqu'à présent, l'objet de multiples études universitaires, soit comme articles scientifiques, mémoires de fin d'étude ou encore des rapports techniques. Entre autres, des études ont porté sur la reconnaissance géologique (Busson, 1970 ; 1971 ; Fabre, 1976), et hydrogéologique (Cornet, 1964 et Castany, 1982) du système aquifère du Sahara Septentrional. 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, 1990 ; Achour et Youcef, 2001 ; Guendouz et al, 2006).

Notre contribution a pour objectif de déterminer l'aspects quantitatifs et qualitatifs des ressource hydriques de la région d'Oued Righ . Et pour atteindre l'objectif de l'étude, nous avons développés les chapitres suivants :

Le premier chapitre : généralités sur la région d'Oued Righ : Consacré à la description de la région d'Oued Righ (situation géographique, contexte socio-économique, études des paramètres climatiques et étude de contexte géologique.

Le deuxième chapitre : Etude hydrogéologique : Consacré à l'identification hydrogéologique de système aquifère d'Oued Righ.

Le troisième chapitre : Etude hydrochimique : Elle est consacrée à la détermination des faciès chimiques, l'étude de la qualité des eaux des aquifères d'Oued Righ vis-à-vis à la potabilité et à l'utilisation en agriculture.

A l'issue de ce travail nous présentons une *Conclusion générale* fait sortir les résultats de l'étude et à prendre en considération.

Chapitre I

Généralités sur la région d'Oued Righ

1. SITUATION GEOGRAPHIQUE.

1.1 Situation géographique.

La vallée d'Oued Righ 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, 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).

Du point de vue géographique, notre région d'étude n'est autre que la vallée sud d'Oued Righ, entité géographique bien définie. Sa délimitation naturelle est marquée par:

- Au Sud les dunes de grand erg oriental de la wilaya de Ouargla.
- A l'Est les dunes de la wilaya d'Oued Souf.
- Au Nord les daïra de Djamaa, et El Méghaïer appartenant à la wilaya de Oued Souf.
- A l'Ouest par la wilaya de Ghardaïa.

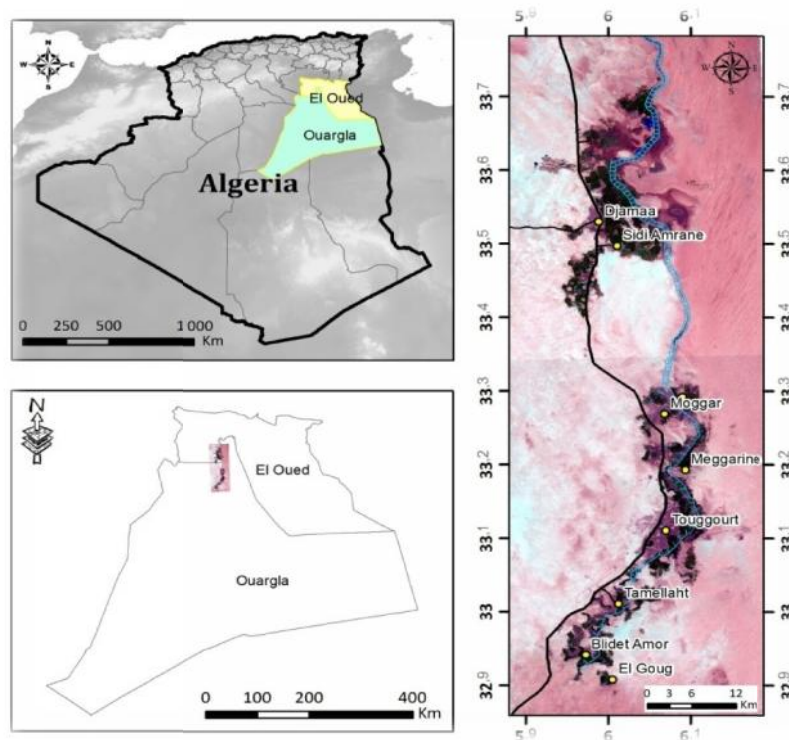


Fig. 01 : Situation géographique de la région Touggourt.

1.2 Topographie et Géomorphologie d'Oued Righ :

La vallée d'Oued Righ est un large fossé de direction Sud – Nord prenant son origine au Sud de la palmeraie d'El Goug et se termine à chott Merouane qui fait son exutoire au Nord. La dénivelée entre le haut et le bas du paysage est de quelques mètres seulement; les pentes sont faibles et le relief est peu marqué.

L'altitude passe très progressivement de plus de 100 m à El Goug, à 70m à Touggourt, à 30m à Djamaa, à 15m à Oum Touyouur pour s'annuler à El Meghair. L'oued Righ résulte de la confluence des oueds Mya et Ighargar et aboutit au grand chott (Mérouane) qui fait son aire d'épandage final. Le chott est situé à une cote nettement au-dessous du niveau de la mer (-30m).

Sur les parties hautes de la vallée apparaît le niveau Quaternaire ancien à encroutement gypso-calcaire, recouvert par endroits de formations dunaires ; le fond de la vallée est constitué de dépôts sableux et de quelques dépôts argileux.

Dans la vallée de l'oued Righ apparaît quatre niveaux morphologiques bien distincts :

- Niveau 1 ou niveau supérieur est représenté soit par des glacis à croûte gypseuse, soit par des surface résiduelles apparaissant en buttes témoins à reliefs plus au moins accidentés.
- Niveau 2 ou niveau intermédiaire caractérisé généralement des glacis du Quaternaire ancien.
- Niveau 3: Les pré- chotts apparaissent à un niveau nettement au-dessous et représentent des surfaces planes à pente faible.
- Niveau 4: Les chotts représentent les zones les plus basses de la vallée et joue le rôle de cuvette de décantation.

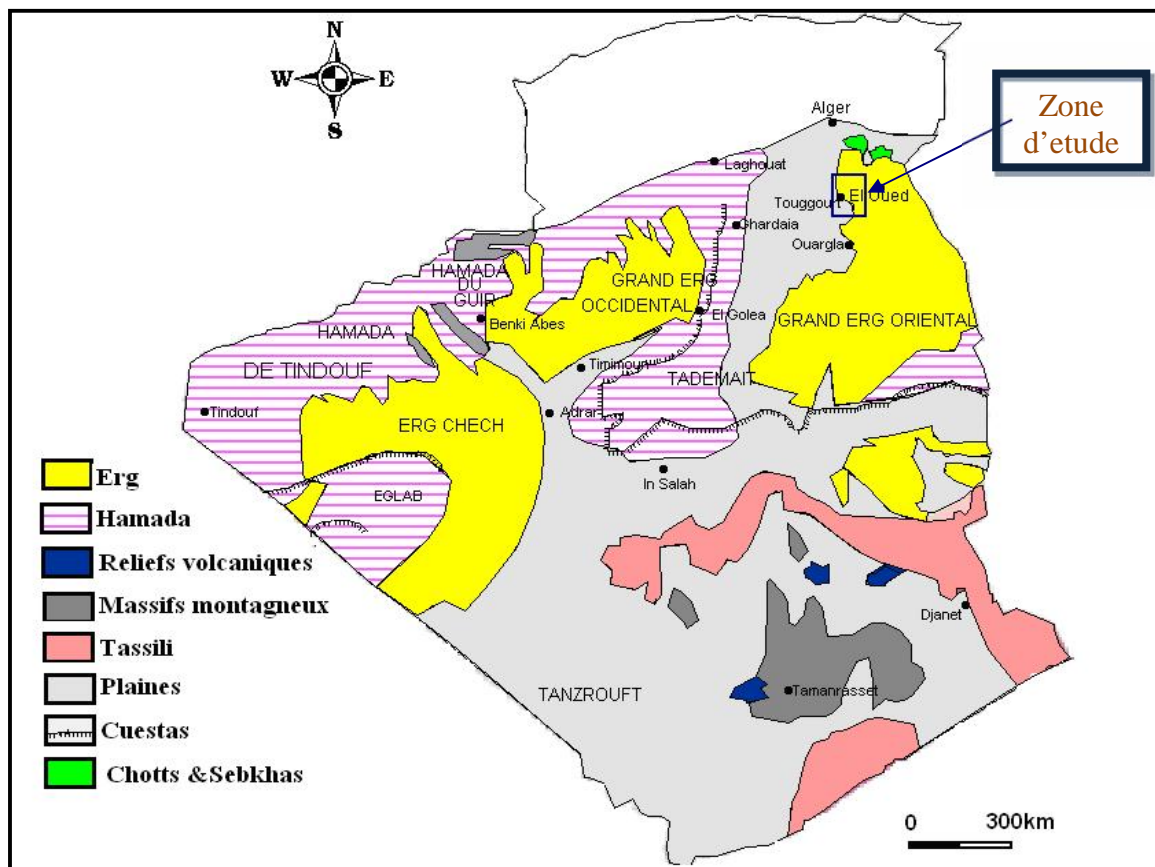


Fig 02 : Géomorphologie de la région [Source CDARS 1998].

1.3. Aperçu socio-économique :

La vallée de l'Oued Righ regroupait jusqu'à 1988 cinquante (50) Oasis couvrant 15000 ha réparties le long de la vallée de part et d'autre, drainées par le canal collecteur. D'après les enquêtes de la FAO 1988, la vallée de l'Oued Righ comprend près de deux millions de palmiers sur un total de 7,5 millions que compte le pays.

Les statistiques montrent que l'agriculture occupe 23% des travailleurs dans la zone de Touggourt, le palmier dattier est la principale culture dans la région, la variété Degel Nour domine suivie par le « Ghars » et Degla beida. Les cultures hors palmiers sont peu développées et occupent 10 à 15 % de la superficie dont l'orge et la luzerne sont les cultures fourragères les plus importantes. Les cultures maraichères surtout l'ail, l'oignon, carottes et navets sont également produits pour une consommation locale. En fin l'arboriculture fruitière est très marginalisée.

Les animaux élevés sont gardés dans les maisons, ils sont alimentés de fourrage, dattes sèches de qualité non marchande. Les chèvres sont élevées pour leur lait, les brebis pour la chair de leurs agneaux consommés lors des fêtes. Le pâturage sous palmier est peu pratiqué à cause de la bête qui fait du dégât aux niveaux des seguias, drains, tranches cultivés.

1.4. Occupation de sol dans la région :

D'après l'analyse des images satellitaires la vallée Oued Righ (Tarmoune et al, 2014) est occupée par :

- Eau: rassemble les surfaces d'eau et englobe donc les chotts (chott Mérouane)
- Sol humide : représente des dépressions où le niveau statique de la nappe phréatique est plus proche de la surface du sol.
- Sol salé : rassemble les dépressions éloignées des sources d'alimentations anthropiques (eaux d'irrigation et eaux usées). L'influence des vents de sable couvre partiellement les efflorescences des cristaux de sels formés dans la frange capillaire et en surface.
- Végétation : se situe à proximité des agglomérations, représentées essentiellement par palmeraie et roseau.
- Milieu urbain (agglomérations) : est représentée par les villes, les agglomérations et routes.
- Sol nu (sable) : regroupe les grés rouges et les sables.

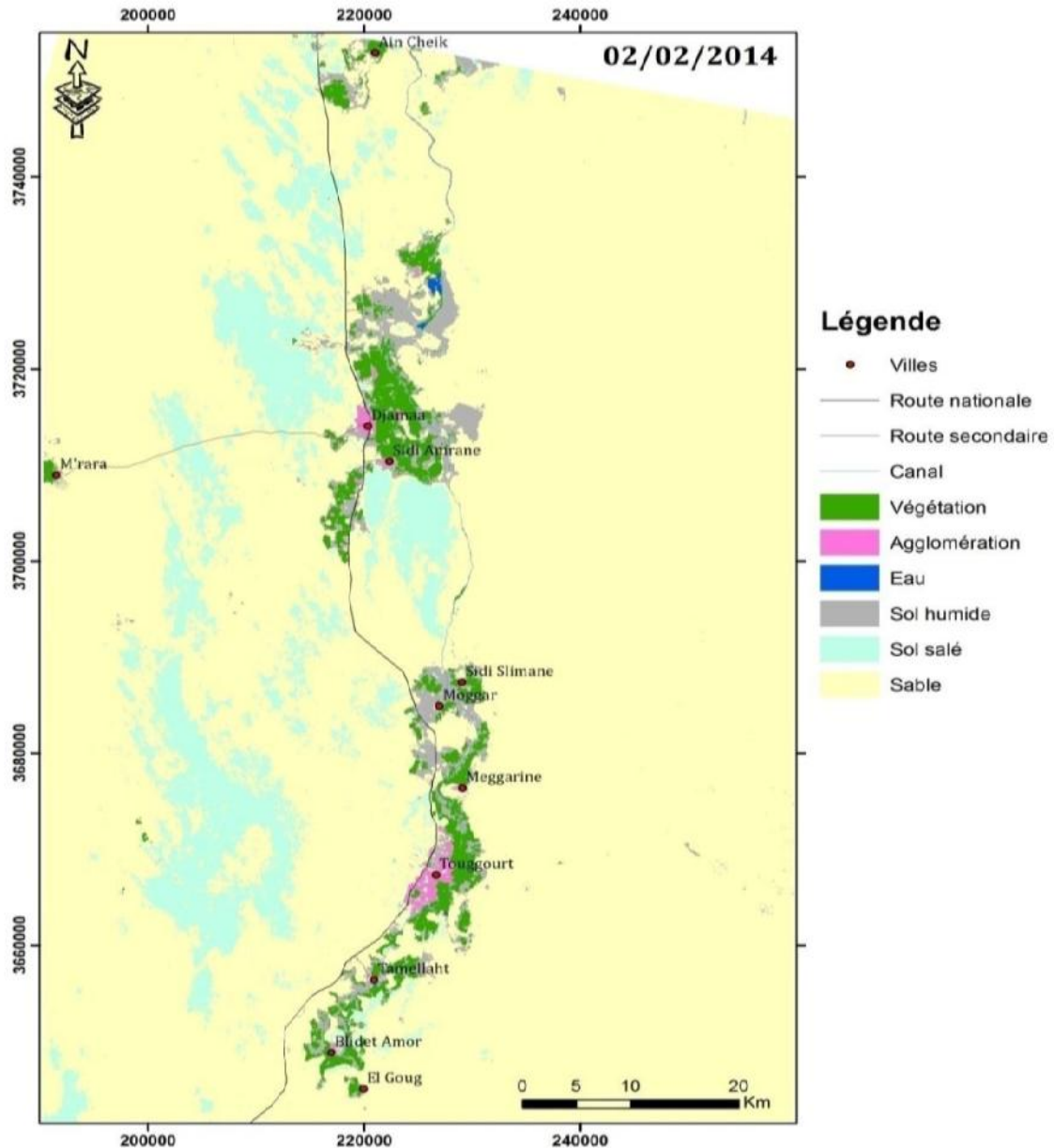


Fig 03 : Cartographie de l'occupation du sol de l'Oued Righ 2014 (Tarmoune et 2014)

2. CONTEXTE HYDRO-CLIMATIQUE :

Les données climatiques sont récoltées à partir de la station de Touggourt, elles couvrent la période entre 1975 et 2017.

2.1. Précipitations :

Les précipitations jouent un rôle primordial dans la constitution des réserves d'eau souterraine. Cependant seule une fraction des eaux pluviales arrivant sur le sol permet de recharger les nappes souterraines.

Le tableau1 ci-dessous représente les données des précipitations moyennes mensuelles mesurées sur une période de 43 ans. On remarque que le mois de mars est le plus humide (7.14mm) et le mois de juillet est le mois le plus sec (0.41mm). La précipitation moyenne annuelle est de l'ordre de 3.42 mm .

Tab. 01: Précipitations moyennes mensuelles à la station de Touggourt (1975-2017)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Moyenne annuelle
p(mm)	3.22	2.71	2.89	2.39	6.16	3.60	7.14	6.21	3.59	0.75	0.41	2.01	3.42

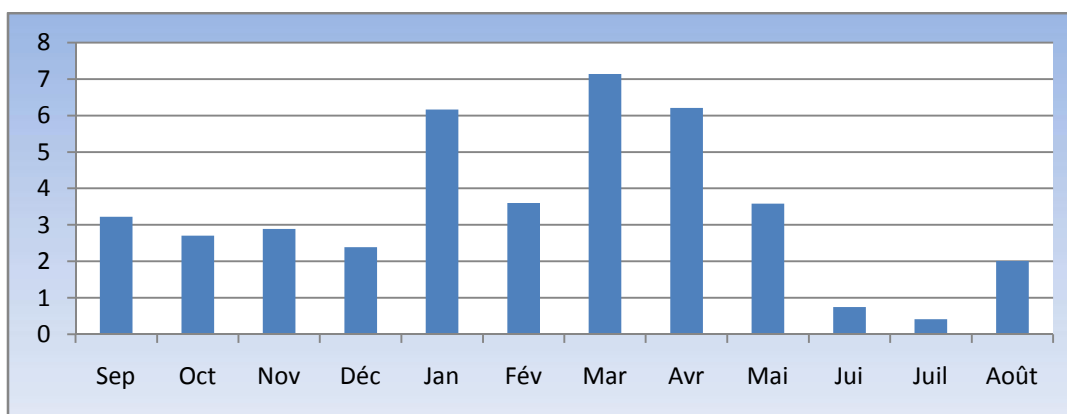


Fig. 04 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles à la station de Touggourt

2.2. Température :

Dans notre région d'étude caractérisée par un climat Saharien, la température joue un rôle très important par son influence sur les autres paramètres météorologiques tel que l'évaporation et le taux de l'humidité de l'atmosphère.

Le tableau 02 ci-dessous représente les données des températures moyennes mensuelles mesurées sur une période de 43 ans. On remarque que le mois de juillet est le plus chaud et le mois de janvier est le mois le plus froid. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 21.97 C° .

Tab. 02: Températures moyennes mensuelles à la station de Touggourt (1975-2017)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Moyenne annuelle
T (C°)	29.55	23.05	16.73	14.16	10.81	11.95	15.91	21.02	25.71	31.24	34.53	29.00	21.97

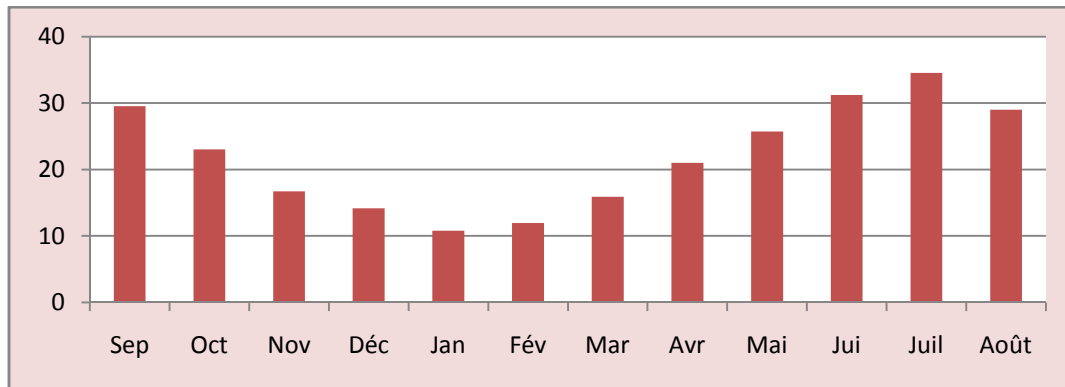


Fig. 05 : Histogramme des températures moyennes mensuelles à la station de Touggourt

2.3. L'humidité :

L'humidité est très importante car elle influe sur l'évaporation, elle est plus élevée en hiver qu'en été. Ceci s'explique par l'effet de la température qui est élevée en été et basse en hiver, et le maximum correspond au mois le plus froid.

Le tableau suivant donne les valeurs de l'humidité moyennes mensuelles observées en 43 ans.

Tab. 03: L'humidité moyenne mensuelle à la station de Touggourt (1975-2017)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
H (%)	43.40	50.09	60.38	65.42	62.82	53.99	47.69	43.14	38.94	34.12	32.31	33.95

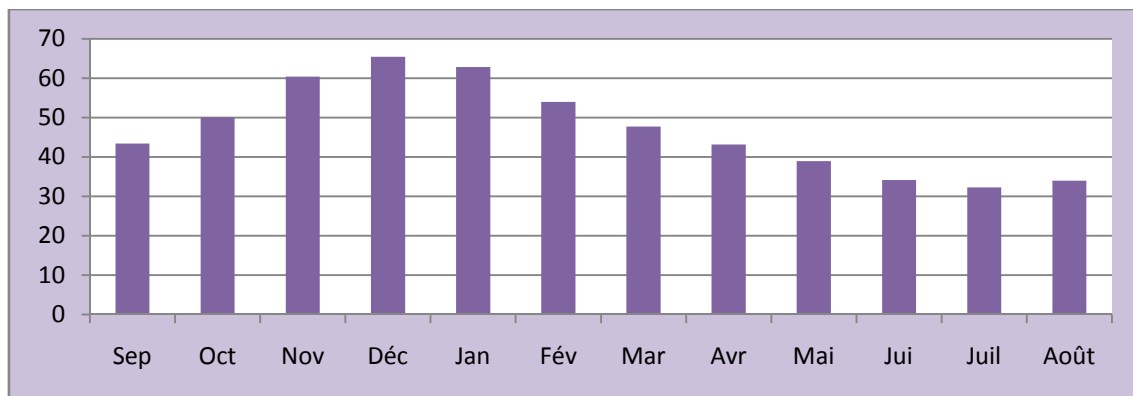


Fig. 06 : Histogramme d'humidité moyennes mensuelle (en%) à la station de Touggourt

On remarque que l'humidité augmente à partir du mois de Décembre jusqu'à Janvier au cours duquel est enregistrée une valeur moyenne maximale de 65.42%. Cependant, elle diminue en été pour atteindre une valeur minimale en Juillet de l'ordre de 32.31 %.

2.4. Le vent :

Le vent est un autre facteur climatique important dans la caractérisation du climat. Le tableau 04 ci-dessous montre que la vitesse moyenne mensuelle de vent augmente à partir du mois de

d'août jusqu'à Janvier au cours duquel est enregistrée une valeur moyenne maximale de 4.28 m/s où commence à diminuer jusqu'au mois d'août.

Tab. 04: Vitesse moyenne mensuelle des vents à la station de Touggourt (1975-2017)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août
vents m/s	3.21	3.29	3.65	4.07	4.28	4.16	3.99	3.64	3.50	3.32	3.21	3.15

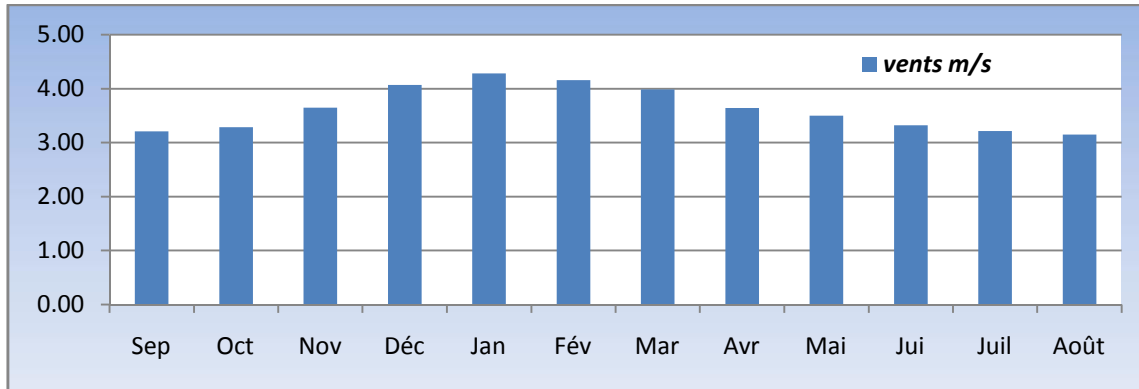


Fig. 07 : Histogramme de vitesse de vent moyen mensuel à la station de Touggourt

2.5. L'évaporation :

Le phénomène d'évaporation intervient dans le cycle hydrologique dès le moment où les précipitations, sous forme liquide ou solide, atteignent la surface du sol. De plus l'humidité du sol, soit qu'elle provienne des pluies récentes infiltrées à faible profondeur, soit qu'elle remonte par capillarité de la nappe phréatique, constitue directement ou par l'intermédiaire de la couverture végétale.

L'évaporation moyenne mensuelle est présentée dans le tableau ci-après. On constate que l'évaporation est maximale au mois de juillet (399.79 mm) et minimale au mois de janvier (117.07 mm).

Tab 05: L'évaporation moyenne mensuelle a la station de Touggourt

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août
Eva (mm)	269.08	190.36	125.81	107.39	117.07	131.90	201.12	253.92	313.33	370.603	399.79	364.66

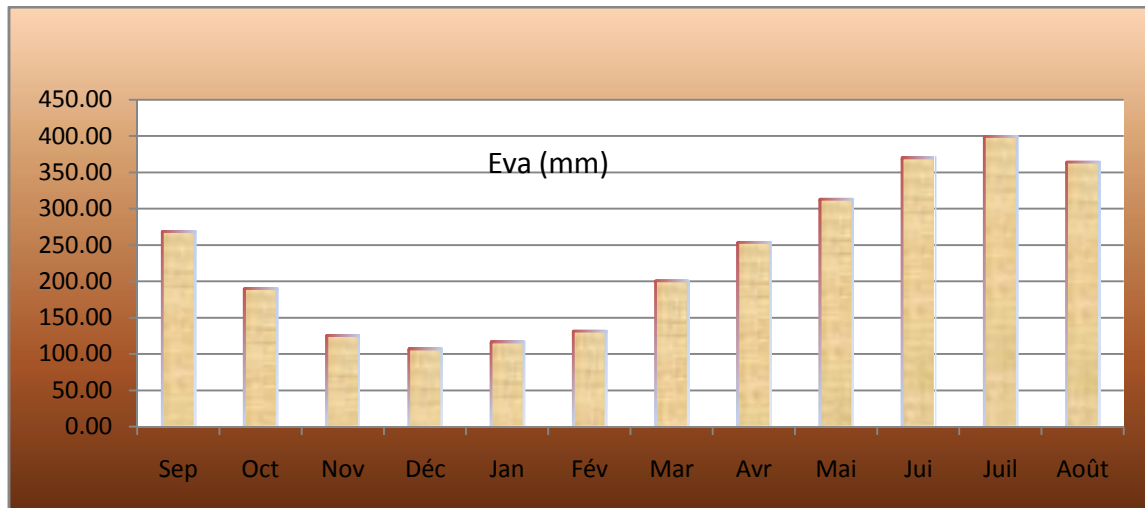


Fig.08 : Histogramme d'évaporations moyennes mensuelles a la station de Touggourt

2.6. Durée d'insolation :

La répartition des moyennes mensuelles d'insolation (Tab 06.) nous permet de constater que la brillance du soleil est maximum au cours du mois de juillet avec une moyenne de 344.04 heures, et minimum au mois de février avec une moyenne de 219.53 heures.

Tab .06. Répartition moyenne mensuelle d'insolation à la station de Touggourt (1975-2017)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août
DI (h)	268.89	257.23	229.64	223.16	223.63	219.52	253.37	274.44	302.58	316.35	344.04	321.19

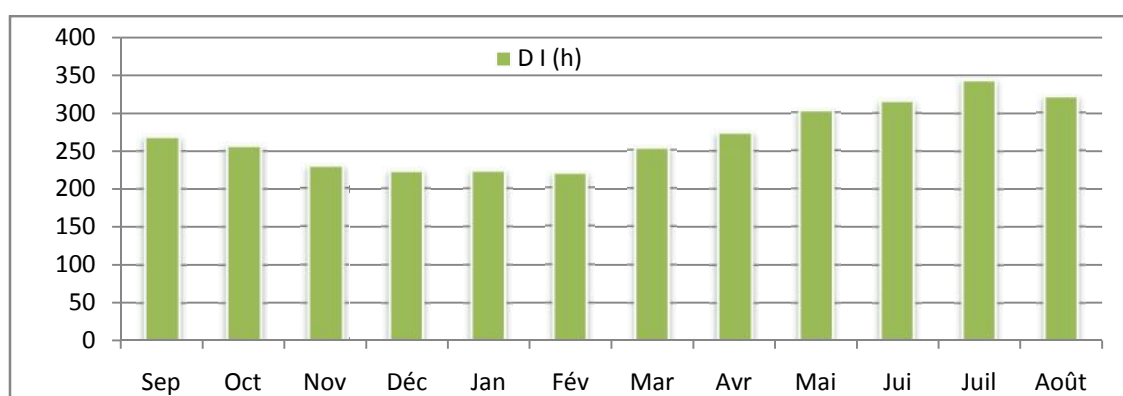


Fig.09. Histogramme moyenne mensuelle d'insolation a la Station de Touggourt

2.7. Bilan hydrique :

Le bilan hydrique d'Oued Righ (Tab 07), dans la période (1975-2017) suivant la méthode de Thornthwaite est déficitaire, la quantité d'eau précipitée sera vite évaporée parce que évapotranspiration potentiel (ETP) est plus importante que les précipitations, le réserve facilement utilisable est nulle pendant toute l'année. Le déficit agricole est présent pendant douze mois de l'année, elle atteindra son maximum au mois de juillet 257mm.

Le bilan hydrique de la région d'Oued Righ montre aussi que la recharge par la pluie efficace est négligeable.

Tab. 07: bilan hydrique selon C.W Thornthwaite à la station de Touggourt (1975-2017)

Mois	T	ETPC	Pr	RU	ETR	DA
S	29.55	147.3	3.22	0.0	3.2	144.1
O	23.05	76.5	2.71	0.0	2.7	73.8
N	16.73	31.5	2.89	0.0	2.9	28.6
D	14.16	19.9	2.39	0.0	2.4	17.5
J	10.81	11.2	6.16	0.0	6.2	5.0
F	11.95	13.9	3.6	0.0	3.6	10.3
M	15.91	33.5	7.14	0.0	7.1	26.3
A	21.02	69.6	6.21	0.0	6.2	63.4
M	25.71	124.0	3.59	0.0	3.6	120.4
J	31.24	199.3	0.75	0.0	0.8	198.6
J	34.53	257.4	0.41	0.0	0.4	257.0
A	29	158.6	2.01	0.0	2.0	156.6
Annuel	22.0	1142.8	41.1		41.1	1101.7

2.8. Le canal d'Oued Righ :

Le canal de Oued Righ a été creusé en 1925 avec des méthodes traditionnelles par la population de la région sur une longueur de 150 km à partir d'El Goug jusqu'au chott Merouane (exutoire naturel) ; il a une largeur de 10 m, une profondeur de 4 m et une pente de 1 ‰. Les deux tiers de Sud du canal ont été creusés tandis que le tiers Nord est d'origine naturelle (Oued Khrouf). Le but du canal était d'assurer le drainage de l'excès des eaux d'irrigation des palmeraies ainsi que l'évacuation des eaux usées.

Hormis les quelques orages annuels, l'alimentation du canal est le fait des écoulements de drainage en provenance des palmeraies et le rôle du canal est de collecter ces eaux et de les canaliser jusqu'à Oued Khrouf puis vers le chott Merouane.

Le canal de Oued Righ est caractérisé par :

- Longueur totale : 136 km.
- Largeur moyenne : 10 m.
- Profondeur moyenne : 4 m.
- Vitesse moyenne d'écoulement : 0,7 m/s.
- Débit moyen maximal : 4m³/s.
- Salinité moyenne : 15 g/l.
- Pente d'écoulement moyenne : 1‰
- Le débit du canal de est de l'ordre 260 l/s en amont et augmente progressivement vers l'aval 5000 l/s.

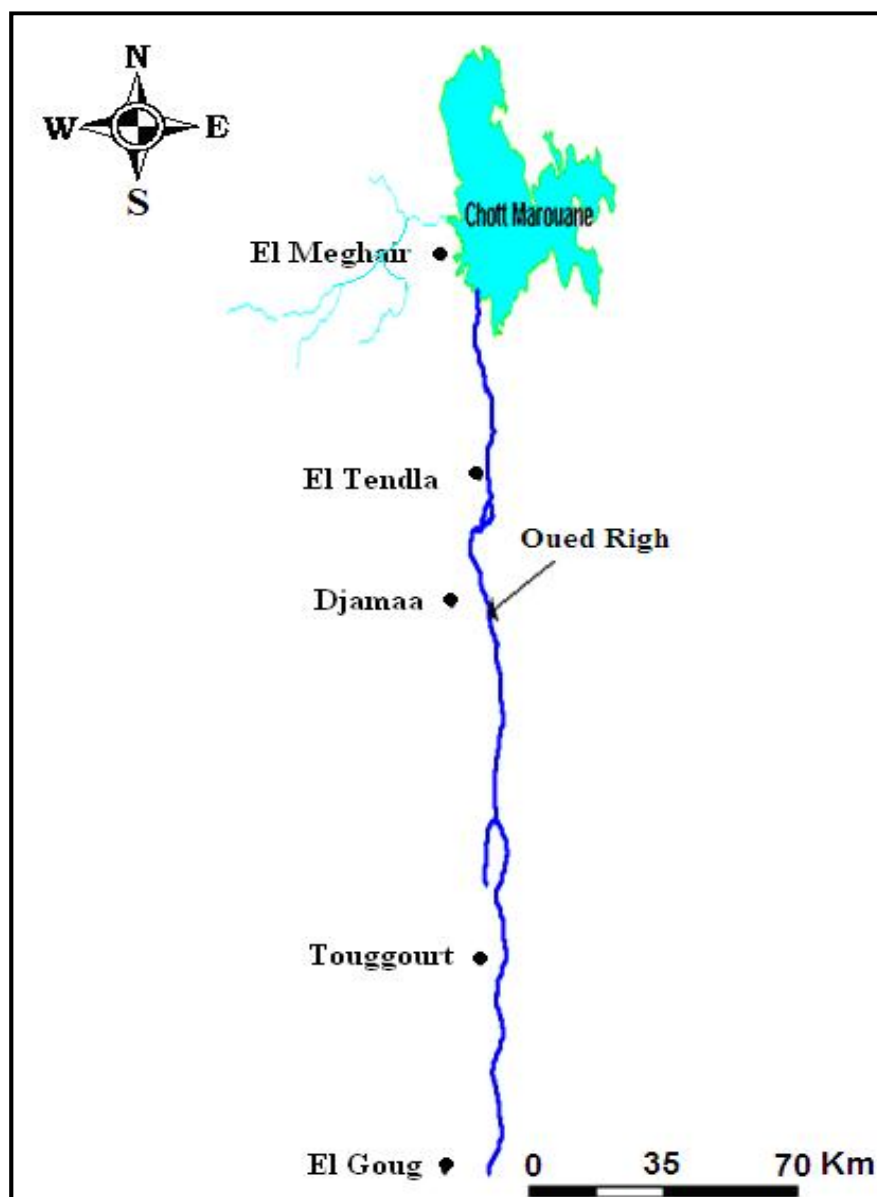


Fig.10. Carte de situation du canal d'Oued Righ.

3. CONTEXTE GEOLOGIQUE

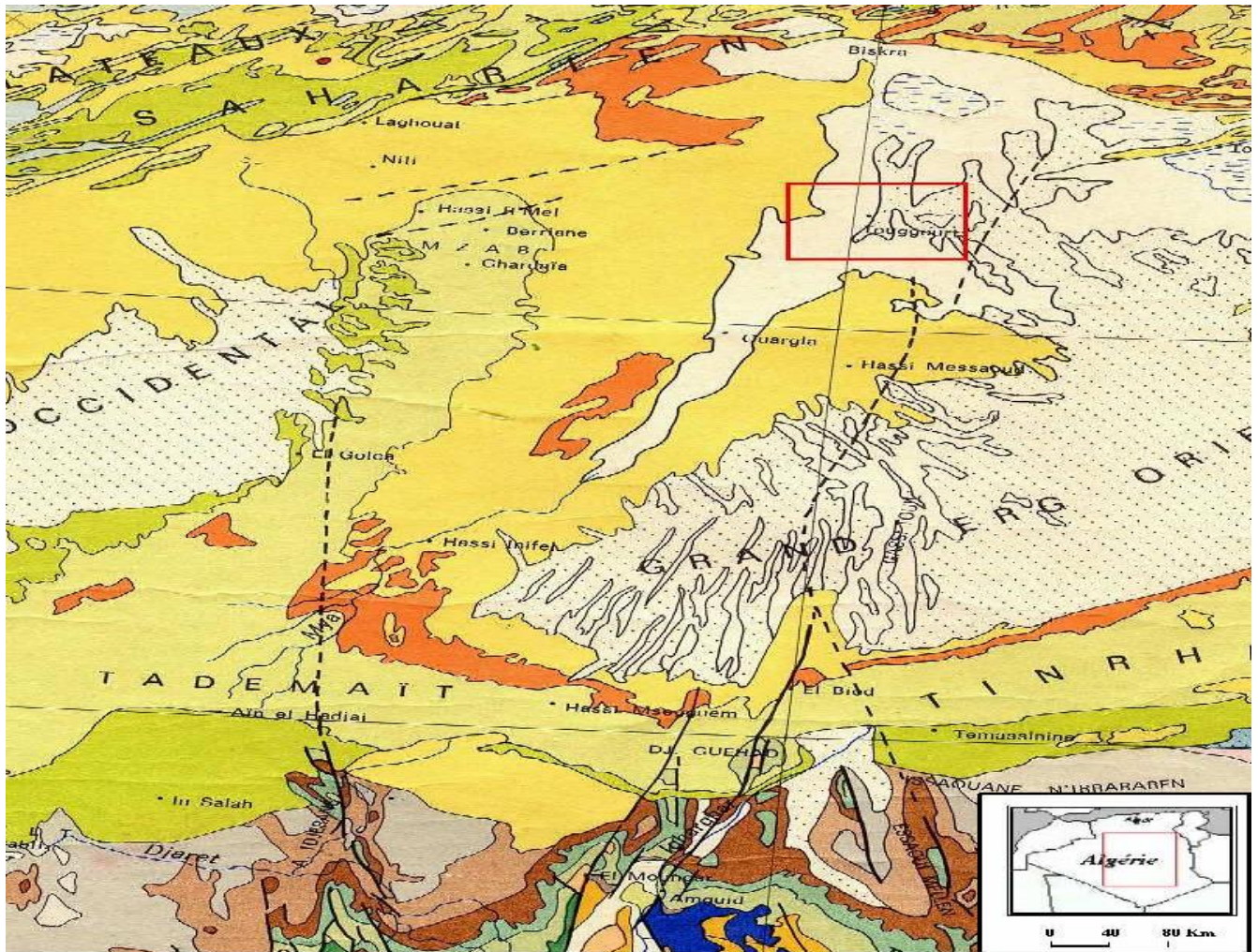
3.1. Géologie régionale

La région de Touggourt fait partie du Bas Sahara situé entre l'accident sud atlasique, et les premiers contreforts des monts des Aurès, au Nord, la falaise méridionale du Tinhert, au Sud, les affleurements crétacés du Dahar, à l'Est et la dorsale du Mzab, à l'Ouest.

Le Bas Sahara est caractérisé par l'extrême simplicité de sa topographie. Mis à part le coté Nord, les autres bordures sont de hauteur modeste et s'inclinent en pente douce vers la partie déprimée, matérialisée par l'axe SSW-NNE et parcourue par les oueds Mya et Righ. Toutefois, vers le Nord, se dresse une haute barrière composée des monts des Ouled Naïl, des Aurès et des Nemamcha, bordant une dépression longitudinale occupée par des chotts dont le fond est inférieur au niveau de la mer. Il s'étend sur 780 000 Km² de superficie.

Le Bas Sahara se présente ainsi comme une cuvette synclinale dont les terrains, depuis le Cambrien jusqu'au Tertiaire sont dissimulés en grande partie par le grand erg oriental. Cependant, quelques affleurements sont observés sur les bordures. Nous distinguons de bas en haut, trois ensembles (fig.10) :

- Les terrains paléozoïques affleurent au Sud, entre les plateaux du Tademaït et Tinghert et le massif du Hoggar,
- Les terrains du Mésozoïque et Cénozoïque, constituent l'essentiel des affleurements des bordures du Bas Sahara.
- Des dépôts continentaux de la fin du Tertiaire et du Quaternaires, occupent le centre de la cuvette



Légende

QUATERNAIRE CENOZOÏQUE

- QUATERNAIRE.
- Sebkhia, lacs.
- Dunes.
- Néogène + Oligocène.
- Eocène.

MESOZOÏQUE

- Crétacé indifférencié.
- Crétacé supérieur et moyen.
- Crétacé inférieur.
- Jurassique indifférencié.
- Jurassique supérieur et moyen.
- Jurassique inférieur.
- Trias ou Permo-Trias.

PALEOZOÏQUE

- Carbonifère indifférencié.
- Carbonifère supérieur et Permien.
- Carbonifère inférieur.
- Dévonien indifférencié.
- Dévonien supérieur et moyen.
- Dévonien inférieur.
- Silurien.
- Ordovicien.
- Cambrien.
- Primaire indifférencié.
- Champ de dykes.
- Contour, limite d'affleurement.
- Faille, décrochement.
- Front de chevauchement.

Fig. 11: Carte géologique du Sahara orientale 1/1000 000.Extrait de la carte géologique Nord Ouest de l'Afrique (1976).

3.2. Géologie locale.

La carte géologique d'Oued Righ met en évidence l'affleurement des formations quaternaires, il s'agit des dunes récentes à Meggarine, Sidi Slimane, erg es Sayah, le quaternaire continental à Merdjadja et les alluvions actuels à Temacine, Zaouïa

Les nombreux travaux d'auteurs tels que : (J. SAVORIN 1931, R. KARPOFF 1952, A. CORNET 1961 et R. FURON 1968) ont permis de reconstituer une série stratigraphique, aussi complète que possible. Les formations géologiques sont décrites des plus anciennes au plus récentes.

3.2.1. Le Mésozoïque

Le mésozoïque est représenté par le crétacé inférieur, cette époque géologique est intéressante pour deux raisons : D'une part, le Crétacé affleure sur les bords du Bas Sahara (KARPOFF, 1952) repose sur le socle primaire composé des roches variées de schistes, de grès et de calcaire. D'autre part, l'étendue des affleurements crétacés est très importante en Algérie Orientale. Le Crétacé est une série en grande partie continentale formée d'une alternance de couches gréseuses et argileuses.

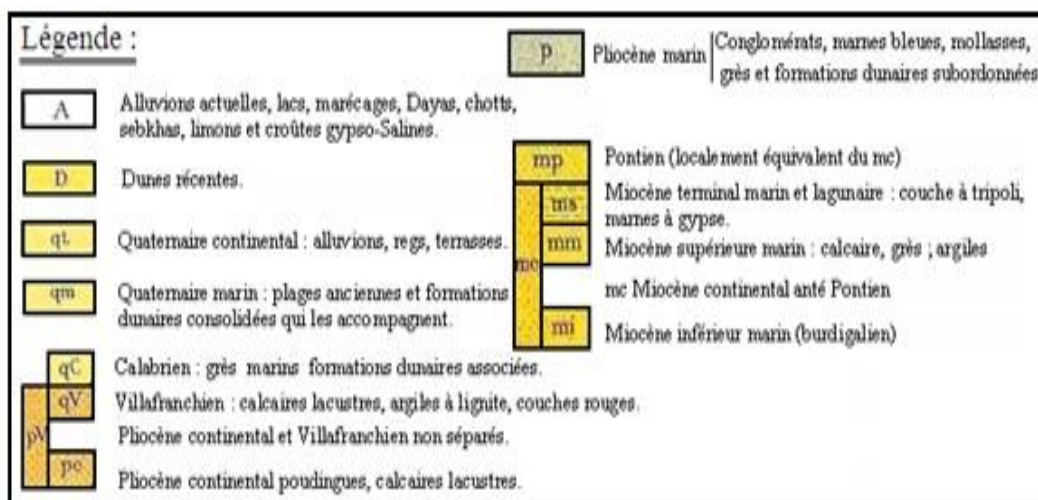
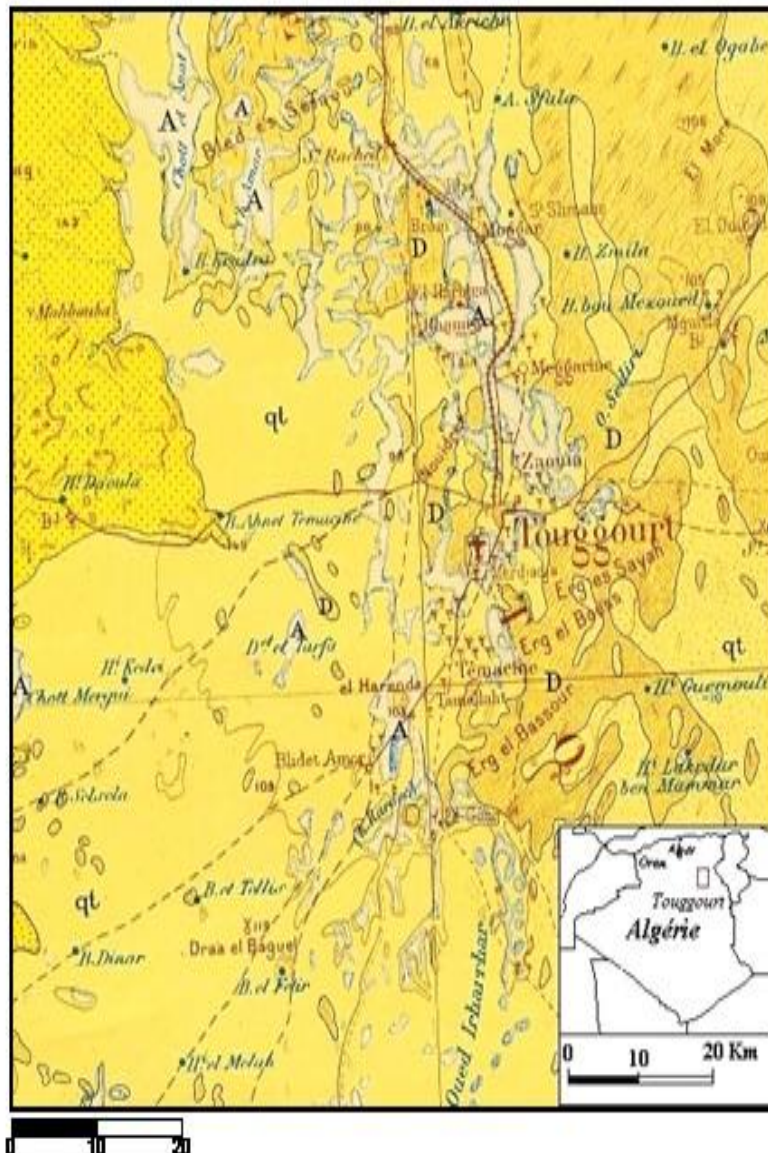


Fig. 12 : Carte géologique d'Oued Righ (extrait de la carte géologique de l'Algérie).

a. Le Néocomien : Il se subdivise en deux séries :

La série inférieure: A prédominance+ argileuse, elle est représentée par des argiles grises et vertes, plus ou moins pélitique. Dans ces argiles, sont intercalées des dolomies microcristallines et cristallines.

La série supérieure: On distingue deux ensembles : L'ensemble supérieur, constitue des dolomies et des calcaires microcristallins avec des intercalations d'argiles, de pélites et de marnes blanches et grises. L'ensemble inférieur, surtout anhydritique avec intercalations d'argiles plus au moins anhydritique, grises, vertes et rouges. Ces argiles passent à des marnes avec lits dolomitique. L'épaisseur du Néocomien est de 350 m.

b. Le Barrémien : Son épaisseur varie entre 150-200 m. le Barrémien est constitué des grès fins à moyen à ciment argileux ,avec des passes de dragées de quartz blanc laiteux, des intercalations de sables et de grès arkosique, plus au moins grossiers. Cette épaisse série détritique poreuse du Barrémien constitue un important aquifère de Complexe Intercalaire.

c. L'Aptien : L'Aptien présente les caractéristiques d'un terrain semi-perméable, son épaisseur varie de 28 à 31 m.

d. L'Albien : Il est essentiellement constitué de grès friables à ciment argileux et d'argiles sableuses. Les grès et les sables sont fins à très fins passant parfois à des pélites, les argiles souvent pélitiques sont de couleur grise ou verdâtre. Cette formation albienne présente les caractéristiques suivantes :

- Épaisseur croissant d'Est en Ouest.
- Teneurs élevées en éléments clastiques.
- Les teneurs en carbonates décroissants d'Est en Ouest.
- l'Albien se présente comme une série très épaisse (200m-300m).

e. Le 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. Le Vraconien est imperméable. Son épaisseur est de 110 m environ.

f. Le Cénomaniens : A Touggourt, le Cénomaniens est constitue par une alternance de dolomies, de calcaires dolomitiques, de marnes dolomitiques, d'argiles et d'anhydrites et même des sels son épaisseur est de l'ordre de 200-250 m (formations imperméables).

g. Le Turonien : Au Turonien le régime marin persiste dans le Bas Sahara, et la mer présente le maximum d'extension. Dans l'ensemble, le Turonien est calcaire et dolomitique, marneux à la base, et dolomitique, ou calcaire au sommet. Il est de l'ordre de 90-100m.

h. Le Sénonien : Dans tous le Bas Sahara, le Sénonien est formé de deux ensembles très différents du point de vue lithologique :

- Le Sénonien lagunaire, à la base.
- Le Sénonien carbonaté, au dessus.

Le Sénonien carbonaté : Le Sénonien supérieur est carbonaté. Il est essentiellement constitué de dolomies et de calcaires micro-fissurés avec des intercalations de marnes d'argiles et plus rarement d'anhydrites. La limite supérieure de ce niveau est encore plus floue, en effet, il y a pratiquement continuité lithologique entre le Sénonien et l'Eocène carbonaté. Les deux niveaux sont formés de calcaires de même nature, seule la présence de nummulites permet d'identifier l'Eocène. Le système carbonaté est essentiellement formé de dolomies et de calcaires dolomitiques, avec des intercalations de marnes et d'argiles, plus rarement d'anhydrites

Le Sénonien lagunaire : La limite inférieure, du Sénonien lagunaire est généralement nette. En effet les évaporites et argiles Sénoniens sont aisément différenciables des calcaire et dolomies de Turonien. Le passage est beaucoup moins net entre Sénonien lagunaire et Sénonien carbonaté,

Du point de vue lithologique le Sénonien lagunaire est constitué par une alternance de bancs d'anhydrites, de dolomies, d'argiles et de sels.

Le Sénonien lagunaire est imperméable. Du point de vue hydrogéologique, ce niveau joue le rôle d'imperméable de base.

3.2.2. Le Cénozoïque :

a. L'Eocène : On distingue dans l'Eocène deux ensembles lithologiques : l'Eocène carbonaté à la base et l'Eocène évaporitique au sommet.

L'Eocène inférieur (carbonaté) : Il est composé de bancs de dolomies, de calcaire dolomitique, de calcaire à Nummulites et à rognons de silex. Sur tout le pourtour de la grande cuvette secondaire saharienne, il garde les mêmes caractéristiques lithologiques. Dans le sondage de Touggourt, il atteint 120 m d'épaisseur.

L'Eocène moyen (évaporitique) : Les sondages récents, profonds de 200 m, exécutés à Touggourt et dans la région s'étendant plus au Sud, rencontrent l'eau dans des couches calcaires alternant avec les marnes rouges gypsifères et l'argile et d'anhydrites. Il s'agit sans doute déjà des niveaux supérieurs de l'Eocène moyen, présentant là un faciès plus calcaire.

b. L'Oligocène : Cet étage n'est pas connu dans la zone saharienne. Dans l'Atlas saharien, on lui attribue les dépôts détritiques formant des lambeaux isolés dans les dépressions topographiques. A l'Oligocène, le Sahara devait être un plateau émergé sur lequel s'effectuait

une sédimentation continentale en tous points semblable à celle du Miocène, ce qui rend impossible toute discrimination d'étage.

c. Le Mio-Pliocène : Il correspond au Complexe Terminal. C'est un puissant ensemble de sable et d'argiles qui s'étend sur tout le Sahara et qui repose en discordance, indifféremment sur le Primaire, et le Crétacé inférieure : le Turonien, Cénomaniens, Sénonien et l'Eocène. Son épaisseur varie entre 140 m au Sud et 280 m au Nord.

3.2.3. Le Quaternaire :

Le Quaternaire est constitué de sable éoliens et sables argileux, résultat de l'érosion de falaise Mio-Pliocène au Sud et à l'Ouest de la vallée de l'Oued Righ ; localement intercalés de lentilles d'argiles sableuse et gypseuses. Ces sables forment d'énormes accumulations dans le Grand Erg Oriental. C'est dans ce niveau que l'on rencontre la nappe phréatique. Son épaisseur est variable et peu atteindre localement une dizaine de mètre.

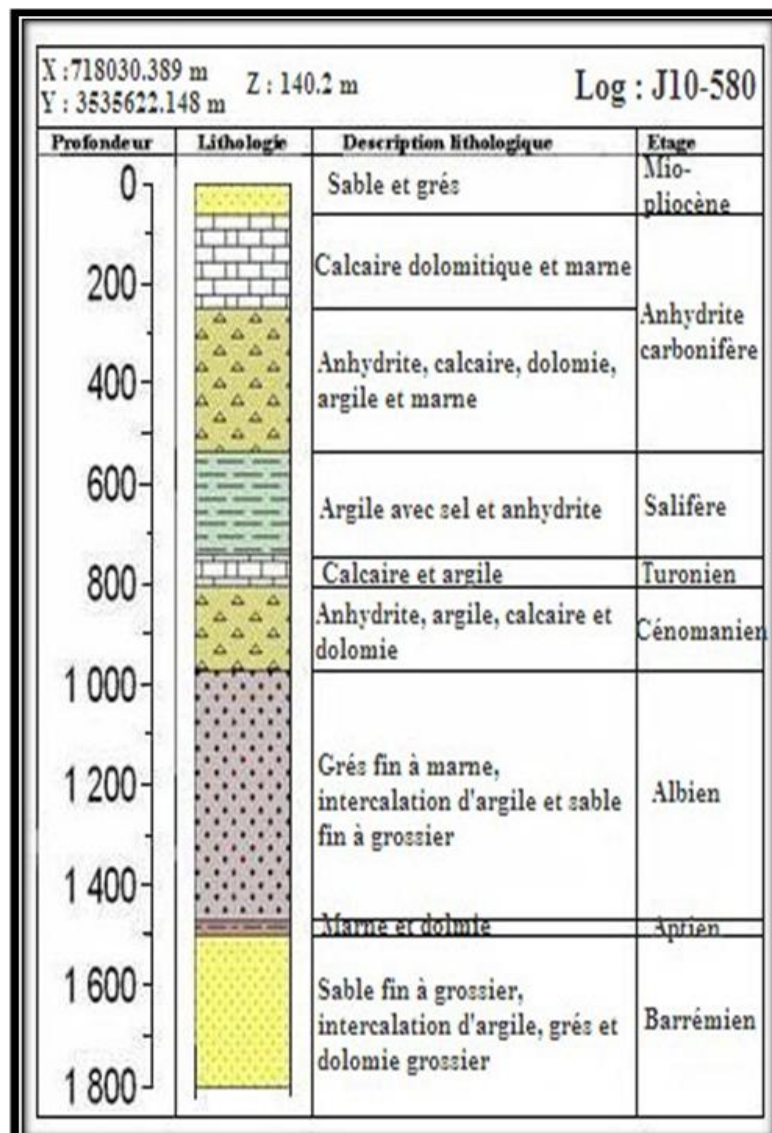


Fig. 13 : Log stratigraphique d'un forage d'eau de la région de Touggourt.

3.3. Tectonique générale :

Au cours du Secondaire, le Sahara algérien oriental subissait des mouvements verticaux d'ensemble. Pendant que de véritables chaînes de montagnes se formaient plus au Nord, dans le géosynclinal de l'Atlas saharien, la zone saharienne tendait plutôt à un effondrement progressif de sa partie centrale, suivant un axe passant sensiblement par la vallée de l'Oued Righ et par le tronçon supérieur de la vallée de l'Oued Mya.

La géométrie actuelle des formations du Continental 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.

3.4. Paléogéographie

Les caractéristiques paléogéographiques du Sahara oriental, du Cénomaniens à la fin de l'Eocène sont donc :

- L'existence d'une plate forme très régulière sur laquelle les moindres variations du niveau de la mer, provoque des changements importants dans la sédimentation.
- L'existence d'une mer profonde dans le Bas Sahara actuel à partir de laquelle se produisent plusieurs transgressions dont les plus importantes étant celles du Cénomaniens et du Sénonien supérieur.
- A la fin de l'Eocène et la régression définitive de la mer s'accompagne de bouleversements importants.
 - L'érosion enlève une partie des calcaires du Sénonien et l'Eocène.
 - Le régime marin est remplacé par un régime continental.

Cette reconstitution paléogéographique, est tirée des travaux de *F. BEL* et *F. DEMARGNE* (1966), elle s'applique à l'ensemble du Bas Sahara.

Pendant la première moitié de l'ère secondaire, la sédimentation dans la région d'Oued Righ et dans tout le Sahara oriental a été de type continental. En effet, du Trias à l'Albien, se sont déposés des argiles et des sables et des évaporites d'origine éolienne ou fluviale. On note cependant, quelques rares incursions marines, en particulier en Jurassique et à l'Albien. Ce dépôt constitue « le continentale intercalaire » et contient la plus importante ressource aquifère du Sahara.

Durant la seconde moitié du secondaire, d'autres phénomènes se sont succédés. Au-dessous des grès continentaux albiens viennent en transgression les calcaires marins du Cénomaniens. Ces calcaires qui s'intercalent avec les argiles et les évaporites. Cette alternance est l'indice d'un régime marin peu profond, évoluant vers un régime lagunaire responsable du dépôt des évaporites et des argiles gypsifères. Au Turonien, le régime marin s'est stabilisé, permettant le dépôt d'une barre calcaire homogène, atteignant parfois plus de 100 mètres dans le Sahara oriental. La stabilisation du régime marin durant le Turonien n'est que temporaire. Dès le début du Sénonien à Touggourt se dépose en alternance de l'anhydrite, des argiles, des dolomies ainsi que quelques bancs calcaires. Le dépôt parfois d'un banc de sel massif à la base dans le Bas Sahara témoigne particulièrement du régime lagunaire qui s'était installé sur le Sahara oriental durant tout le Sénonien inférieur. Au Sénonien supérieur, le régime marin réapparaît une nouvelle fois déposant ainsi la seconde série calcaire. Cette transgression Sénonienne semble moins importante que celle du Turonien. En effet, on note la présence de petites intercalations d'évaporites dans les calcaires Sénoniens, ce qui n'est pas le cas des dépôts turoniens.

Durant le tertiaire juste au début de l'Eocène inférieur, la mer recouvre toujours le Sahara oriental, c'est le dépôt des calcaires à Nummulites. À l'Eocène moyen et supérieur, les sédiments marins de l'Eocène inférieur sont peu à peu remplacés par des dépôts lagunaires où alternent les argiles, les évaporites et les calcaires. La faible extension de ce golfe marin localisé dans le Bas Sahara marque les dernières manifestations de la mer saharienne dont la disparition définitive se situe vers la fin de l'Eocène. À la fin de l'Eocène, le Sahara oriental se présente sous l'aspect d'une plate-forme calcaire émergée qui sera exposée à l'érosion durant tout l'Oligocène. Au Mio-pliocène, suite à l'épirogénèse alpine, des sédiments argileux et sableux continentaux se déposent sur l'ensemble du Sahara oriental. Cette sédimentation continentale se poursuit durant le Quaternaire.

C'est donc aux époques Tertiaires et Quaternaire que le Sahara oriental a pris la configuration que nous lui connaissons aujourd'hui.

4. CONCLUSION :

La vallée d'Oued Righ 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, elle commence au Sud par le village d'El Goug (Touggourt) et se termine sur une distance de 150km plus au Nord vers le village d'Oum-Thiours. Leur altitude passe à une cote nettement au-dessous du niveau de la mer (-30m) dans la zone des chotts. La surface de sol est occupée par eau, sol (humide et salé), la végétation, les centres urbains et les surface des sables et des dunes.

L'étude climatologique montre que le climat de la zone d'étude est saharien avec un hiver chaud. La précipitation moyenne interannuelle est d'ordre de 3.42 mm, le mois de mars est le plus arrosé avec 7.14 mm, et le mois de juillet est le moins sec avec 0.41 mm. La température moyenne annuelle est 21.97 °C, elle est maximale au mois de juillet avec une valeur de 34.53°C et minimale au mois de janvier avec une valeur de 10,81 °C. Le bilan hydrique de la zone d'étude est déficitaire, conséquence d'une faible précipitation et d'une forte évapotranspiration, la réserve facilement utilisable est nulle durant les douze mois de l'année et la recharge par la pluie efficace est négligeable.

De point de vu géologique la région d'Oued Righ fait partie du bassin sédimentaire du Sahara septentrional. Sur la carte seuls les terrains d'âge Quaternaire et Mio-Pliocène sont visibles, la succession des terrains et leur description lithologique ont été rendus possibles grâce à l'interprétation des logs de forage d'eau. On distingue, à sa base, des formations paléozoïques marines surmontées en discordance par les formations continentales du Secondaire et du Tertiaire épaisses de plusieurs milliers de mètres. Le Quaternaire y succède. Il est constitué essentiellement de sables dunaires dont l'épaisseur peut atteindre quelques dizaines de mètres, où seule la série supérieure présente un intérêt hydrogéologique.

Chapitre II

Etude hydrogéologique

1. Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS)

1.1. Extension et définition de Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS)

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) s'étend sur une vaste zone dont les limites sont situées en Algérie, Tunisie et Lybie.

Ce bassin renferme une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés: le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT).

Le domaine du SASS couvre une superficie d'environ 1 000 000 km² dont 70 % se trouve en Algérie, 24 % en Lybie et 6 % en Tunisie, sa réserve est estimée à 31.000×10^9 m (Ould Baba Sy, 2005). Il s'étend du Nord au Sud, depuis l'Atlas saharien jusqu'aux affleurements de Tidikelt et du rebord méridional de Tinrhert et d'Ouest en Est depuis la vallée de Guir-Saoura jusqu'au graben de Hun en Lybie. En Algérie, ce système aquifère couvre une surface de 700 000 km², et est d'une épaisseur de 4000 à 5000 mètres environ (Cornet, 1964).

Nous rappelons ci-dessous les définitions des aquifères du "CI" et du "CT". Le terme "Continental Intercalaire" désigne un épisode continental localisé entre deux cycles sédimentaires marins:

- En base, le cycle du Paléozoïque qui achève l'orogénèse hercynienne.
- Au sommet, le cycle du Crétacé supérieur, résultat de la transgression cénomaniennne.

Le "Complexe Terminal" est un ensemble assez peu homogène incluant des formations carbonatées du Crétacé supérieur et des épisodes détritiques du Tertiaire, principalement du Miocène (Busson, 1970), (Fabre, 1976).

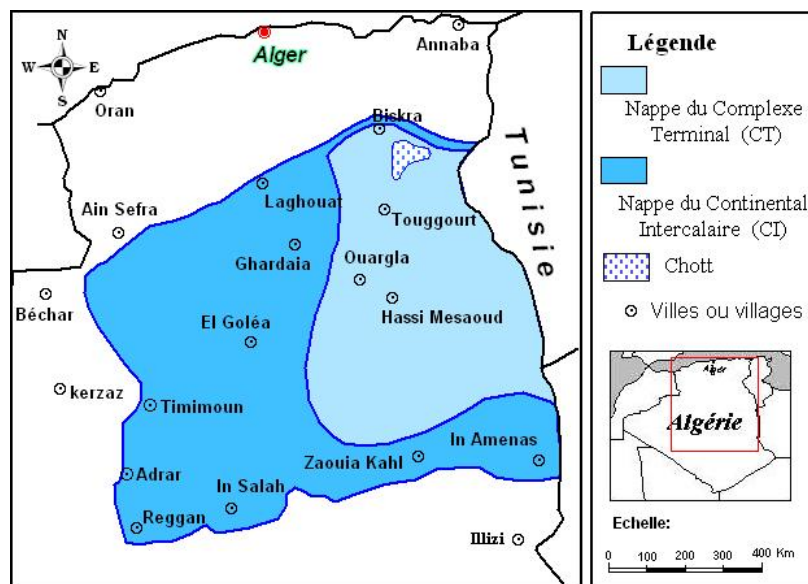


Fig.14. Carte des ressources en eaux souterraines (Continental Intercalaire et Complexe Terminal)

1.2 Le Continentale Intercalaire

C'est une nappe qui est partagée entre trois pays maghrébins (l'Algérie, la Tunisie et la Libye). La partie Algérienne du Continentale Intercalaire couvre **600000 km**. Elle stock un volume d'eau considérable, estimé à **3.5×10^9** milliards m³ environ. Cette nappe est plus connue sous la dénomination d' «Albien ». Le terme Continental Intercalaire, par contre désigne l'ensemble des couches détritiques qui se sont déposées au Mésozoïque inférieur au Sahara entre deux cycles marins, c'est le plus puissant aquifère du Sahara (**250 -1000 m** épaisseur).

1.2.1. Limites et morphologie du continental intercalaire : Est limité au Nord par l'Atlas Saharien, à l'Ouest par l'axe Béchar Réggan et au Sud par l'axe Reggan- Ain Amenas ; à l'Est il se prolonge au delà des frontières Algéro-Libyenne Algéro-Tunisienne. Il est partagé par la dorsale du M'zab en deux bassins :

- Le bassin Occidental Oriental.
- Le bassin Oriental qui englobe le Bas Sahara.

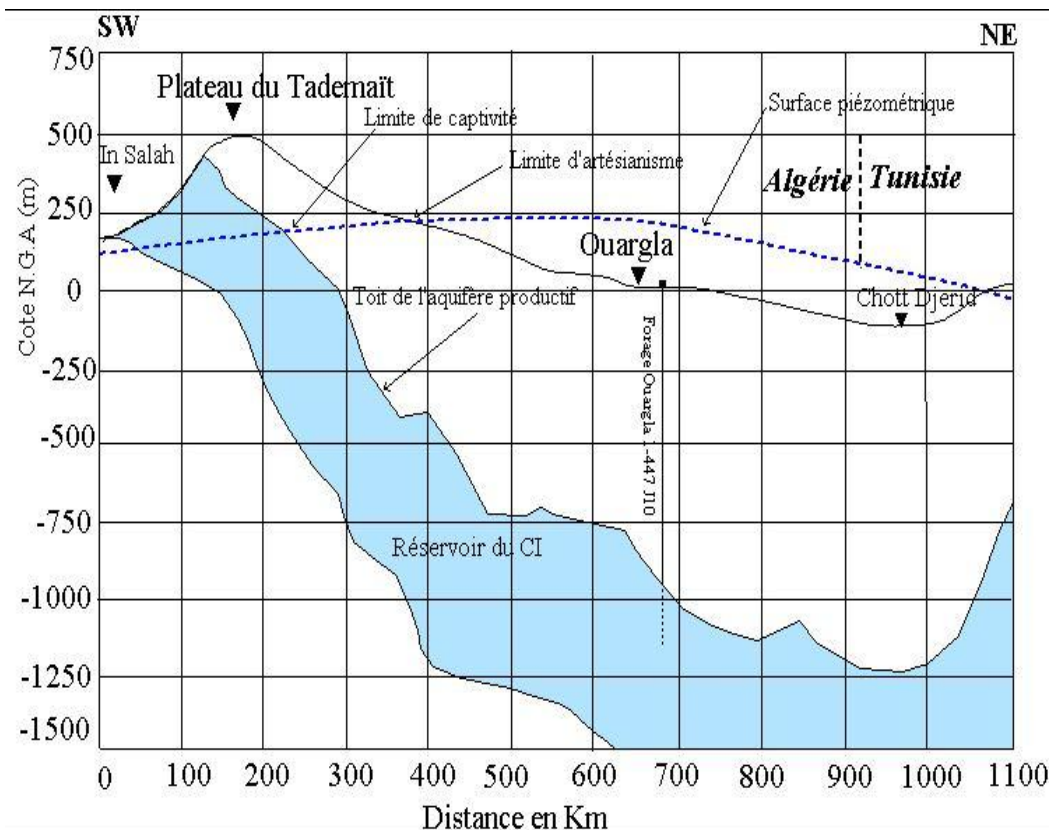


Fig.15. Coupe hydrogéologique transversale montrant le toit et la surface piézométrique du CI

1.3. Le Complexe Terminal (CT)

Il est noté dans l'étude OSS (2003) que classiquement, et selon la définition de Killian (1931), le terme "Continental Terminal" désignait les formations continentales, sableuses et argileuses du Mio-Pliocène. Mais d'après Bel et Dermagne (1966): "La nappe du Continental Terminal contenue dans les sables du Mio-Pliocène et plus ou moins en relation avec les nappes de l'Eocène, du Sénonien et du Turonien, de sorte qu'à l'échelle de l'ensemble du Sahara, on peut considérer que ces différents niveaux forment une seule et même nappe, la nappe du Continental Terminal, par opposition au Continental Intercalaire"

C'est avec le projet ERESS que l'on verra apparaître la notion du "Complexe Terminal", appellation publiée pour la première fois par Bel et Cuche (1969).

Le terme de "nappe du Complexe Terminal" qui groupe sous une même dénomination plusieurs aquifères situés dans des formations géologiques différentes, a été retenu car ces nappes font bien partie d'un même ensemble hydraulique.

Les intercommunications entre Sénonien, Eocène et Mio-Pliocène sont évidentes sur l'ensemble du bassin, à l'exception de la région des chotts où l'Eocène moyen et supérieur imperméable vient s'intercaler.

La nappe turonienne est plus individualisée par suite de la couverture imperméable du Sénonien inférieur. Cependant, ses niveaux concordent avec ceux du Sénonien ou du Mio-Pliocène sur la bordure du bassin.

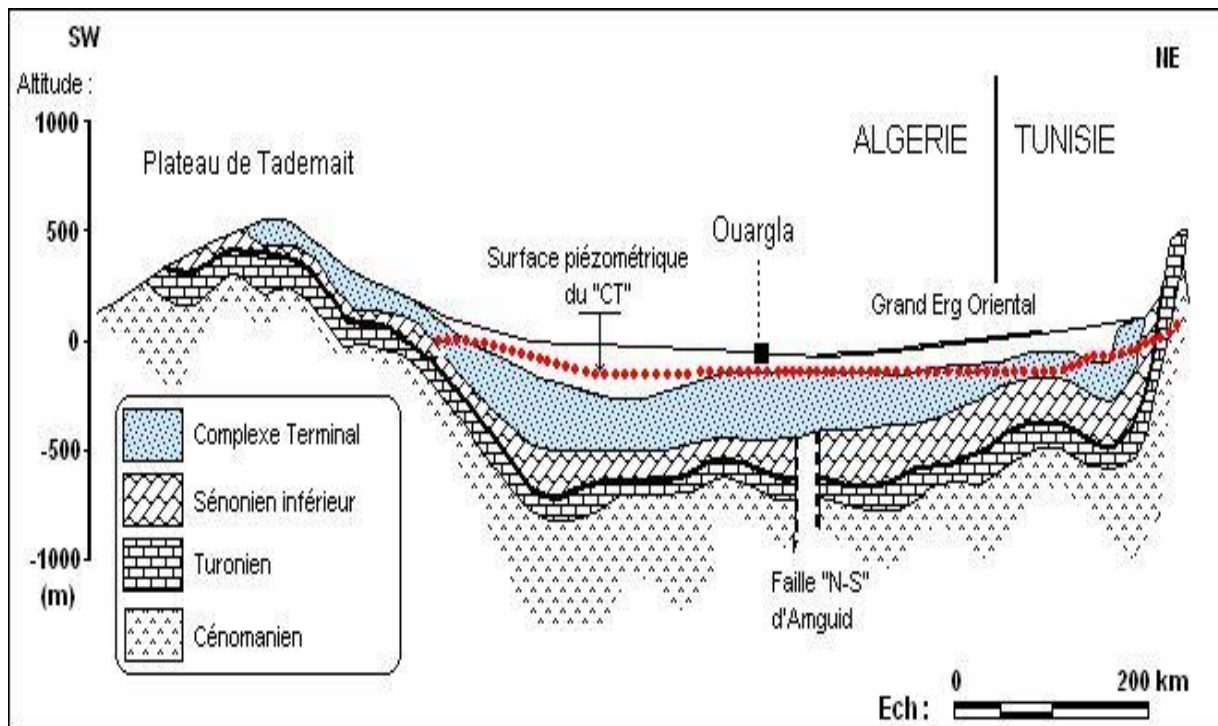


Fig.16: Coupe hydrogéologique transversale du "CT" (UNESCO, 1972)

1.3.2- Piézométrie du CT :

Comme pour le "CI", la construction de la carte piézométrique du "CT" est le résultat de l'accumulation des contributions successives élaborées depuis quarante ans, depuis la publication par Cornet, (1964) de la première carte piézométrique couvrant tout le Continental Terminal du Sahara. Parmi les contributions les plus significatives, on peut citer notamment Bel et Cuche, (1969) et le projet ERESS, (1972).

L'ensemble de ces travaux a permis de dresser une carte piézométrique initiale ou encore peu influencée par pompage, à l'échelle du bassin du Sahara Septentrional.

Cette piézométrie a concerné les formations calcaires sénoniennes et éocènes ainsi que les sables du Pontien (Oued Righ et Djérid) assez souvent en relais hydrogéologiques. Elle se raccorde parfaitement et permet d'avoir la continuité de l'écoulement souterrain en passant d'une zone à l'autre, (OSS, 2003).

L'examen de la carte piézométrique met en évidence les zones d'alimentation, à savoir:

- L'Atlas Saharien du Nord-Ouest.
- Le Dahar à l'Est.
- Le Tinrhert au Sud.
- Le J. Nafusa au Nord-Est

Les zones d'exutoires sont principalement centrées sur les Chotts algéro-tunisiens et sur le Golfe de Syrte.

L'écoulement de cette nappe se produit:

- A partir de la dorsale de M'zab, où l'ensemble de l'écoulement converge vers les zones des chotts (c'est-à-dire qu'il se renverse et s'effectue du Sud vers le Nord sous le Grand Erg Oriental).
- Dans le sens Ouest-Est, où les eaux en provenance de l'Atlas Saharien, se convergent vers la zone des chotts.
- Dans le sens Sud-Nord, du plateau du Tinrhert vers la zone des chotts et le golfe de Syrte.

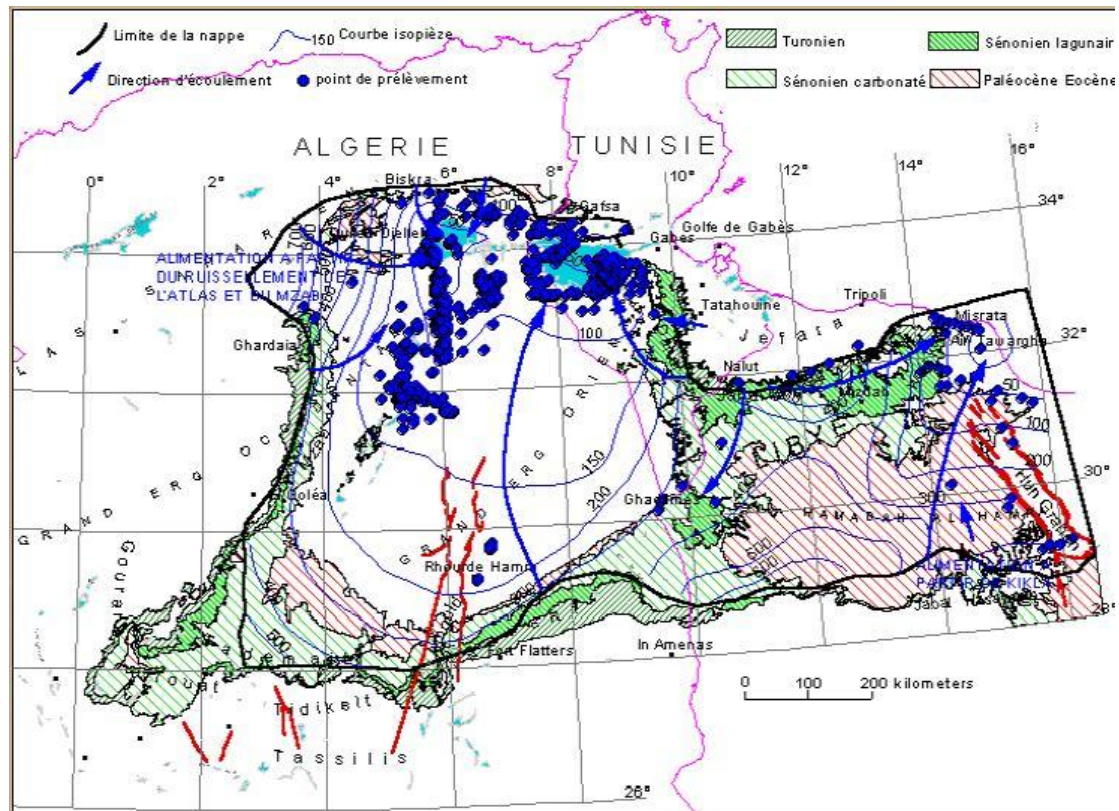


Fig.17: Carte piézométrique de référence du "CT" (OSS, 2003)

1.3.3- Recharge et conditions de recharge du CT

Le concept de recharge ainsi ses conditions sont adoptables pour tout les aquifères du SASS, de ce fait, le CT doit obéir aux mêmes conditions.

Certains auteurs pensent que les eaux des nappes du Sahara sont fossiles (BURDON, 1977; MARGAT & SAAD, 1982 et 1984 ; MARGAT, 1990), c'est-à-dire qu'elles se sont infiltrées et accumulées au cours des temps géologiques, leur alimentation s'est poursuivie au cours des périodes pluvieuses du Quaternaire par infiltration sur les affleurements des couches perméables jusqu'à débordement de ces derniers, et que le niveau actuel des nappes traduit le résultat d'un tarissement pur depuis l'Holocène (PIZZI et SARTOLI, 1984).

Pour d'autres, par contre, il existe une recharge actuelle des nappes sahariennes. Cette alimentation se manifeste lorsque certaines conditions climatiques, topographiques et géologiques sont réunies (DUBIEF, 1953).

Les précipitations exceptionnelles associées à certaines conditions de surface spécifiques (sols à grains grossiers) peuvent être particulièrement génératrices de recharges (GLENDON

et HILLEL, 1988). L'alimentation des nappes du Sahara septentrional, par exemple, se manifeste sur les bordures Nord du bassin lorsque trois conditions sont présentes :

- Des précipitations suffisantes.
- Un relief relativement accentué pour produire un ruissellement dans les oueds.
- L'affleurement de formations perméables appartenant à un des systèmes aquifères ou en relation directe avec un des aquifères sahariens (DUBIEF, 1953).

2. Présentation de système aquifère d'Oued Righ :

Dans la région d'Oued Righ, il existe de trois aquifères ; un aquifère superficiel et deux aquifères profonds (CI, CT) ainsi que les particularités de cette région (captivité des réservoirs, fort artésianisme, température de l'eau élevée et maximum d'épaisseur des couches aquifères), font d'elle une région bien étudiée sur le plan hydrogéologique. Elle est partagée en deux secteurs : l'oued Righ nord et l'oued Righ sud, qui fait l'objet de notre étude.

2.1 .La 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 d'une vingtaine de mètres. Caractérisée par des eaux à fortes salinités, la nappe phréatique est « gonflée » par l'excès de l'eau d'irrigation et des pompages du CI et du CT. C'est pour drainer cet excès d'eau que le réseau de drainage artificiel a été réalisé dans la dépression de l'oued Righ.

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 du Complexe Terminal. Les pertes sont surtout le fait de l'évaporation

2.2. Les Nappes du Complexe Terminal:

Le Complexe Terminal est constitué de deux grands ensembles, l'un continental au sommet, l'autre marin à la base .

Les dépôts continentaux (Continental Terminal) sont représentés par des sables de taille variable, intercalés de lentilles argileuses parfois évaporitiques, d'âge Mio-pliocène. En revanche, les formations marines sont essentiellement carbonatées, déposées au cours de la transgression marine du Sémonon-Eocène.

2.2.1. La piézométrie :

L'établissement des cartes piézométriques est une étape importante dans l'étude hydrogéologique. Elle permet d'étudier la nappe d'eau souterraine tenant compte les sens d'écoulements. L'élaboration des cartes piézométriques a été réalisée par le biais du logiciel de cartographie Surfer 7.0 qui concède la nappe de Complexe Terminal comme aquifère monocouche.

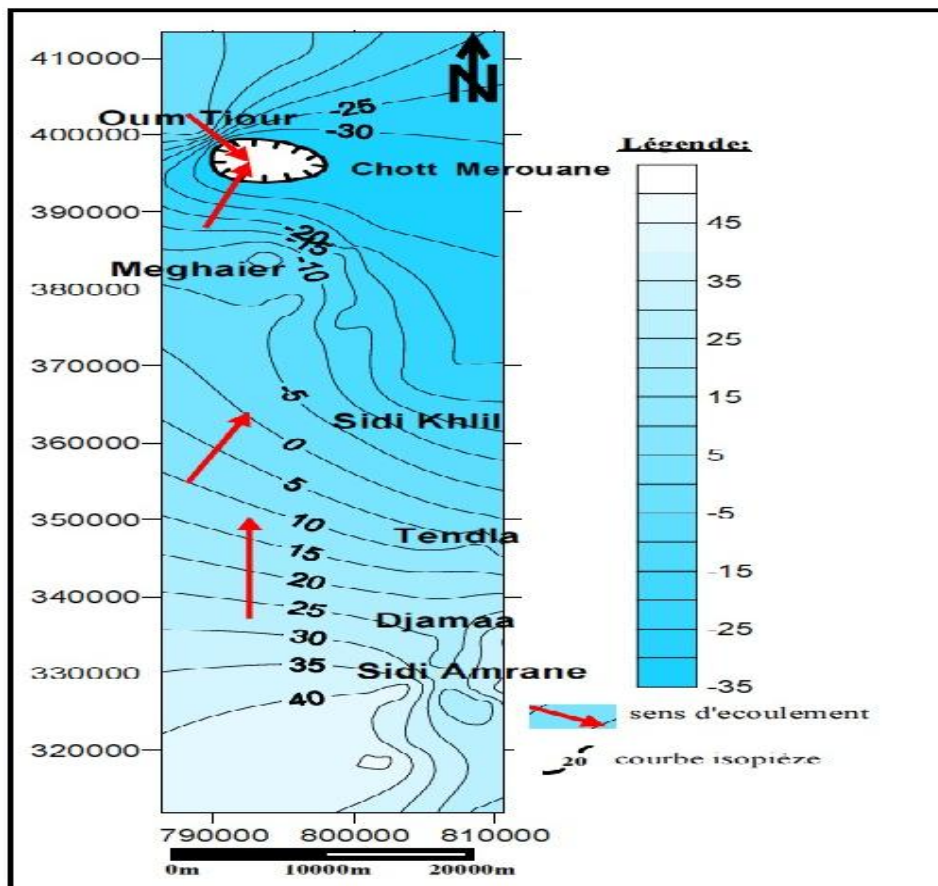


Fig.18. Carte piézométrique du Complexe Terminal de l'Oued Righ Nord.

Le sens de l'écoulement principal dans la carte de l'Oued Righ Nord est vers l'exutoire naturel (chott Merouane). Dans la région d'Oum Thiour au nord le sens d'écoulement est de NO-SE (vers le chott) et dans la partie sud Sidi Amrane, djamaa, Tendla, Sidi khilil et Meghaier le sens d'écoulement est de S-N.

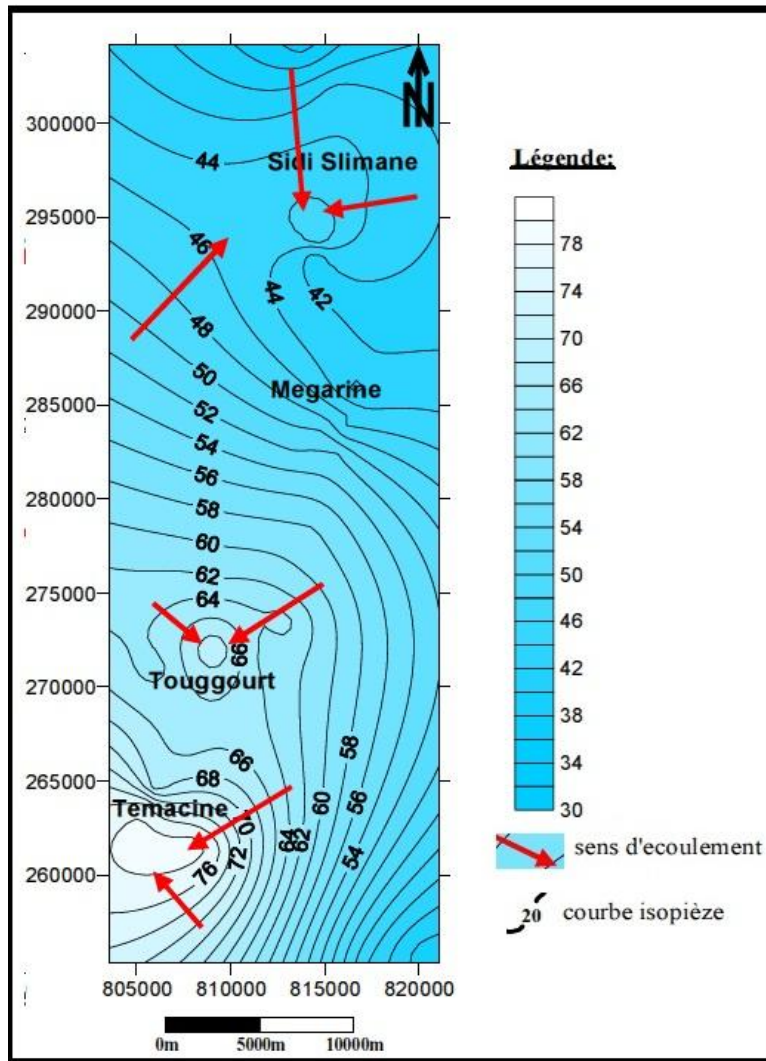


Fig.19. Carte piézométrique du Complexe Terminal de l'Oued Righ Sud.

D'après la , Le sens d'écoulement orienté de Sud vers le nord. Mais la carte piézométrique de l'Oued Righ sud montre trois cônes de dépression apparaît autour de Touggourt, Temacine et Sidi Slimane indiquent les zones de surexploitation qui se localisent dans les principaux palmeraies et les grands villes.

2.2.2. La première nappe des sables :

Hormis la nappe phréatique, cette nappe est la moins profonde 50 à 100 m. Elle est constituée de sable fin à moyen, sable argileux et grès, d'âge Mio-pliocène. Le faciès sableux varie largement, latéralement. Un niveau d'argiles constitue son substratum et son toit est formé par des argiles et des évaporites.

C'est une nappe captive qui était jadis très exploitée, avec un débit faible à moyen, de l'ordre de 20 à 40 l/s, (le débit global d'exploitation proche à 6 m³/s). Cependant, à cause de la salinité élevée de l'eau, les forages qui la capent sont actuellement moins utilisés.

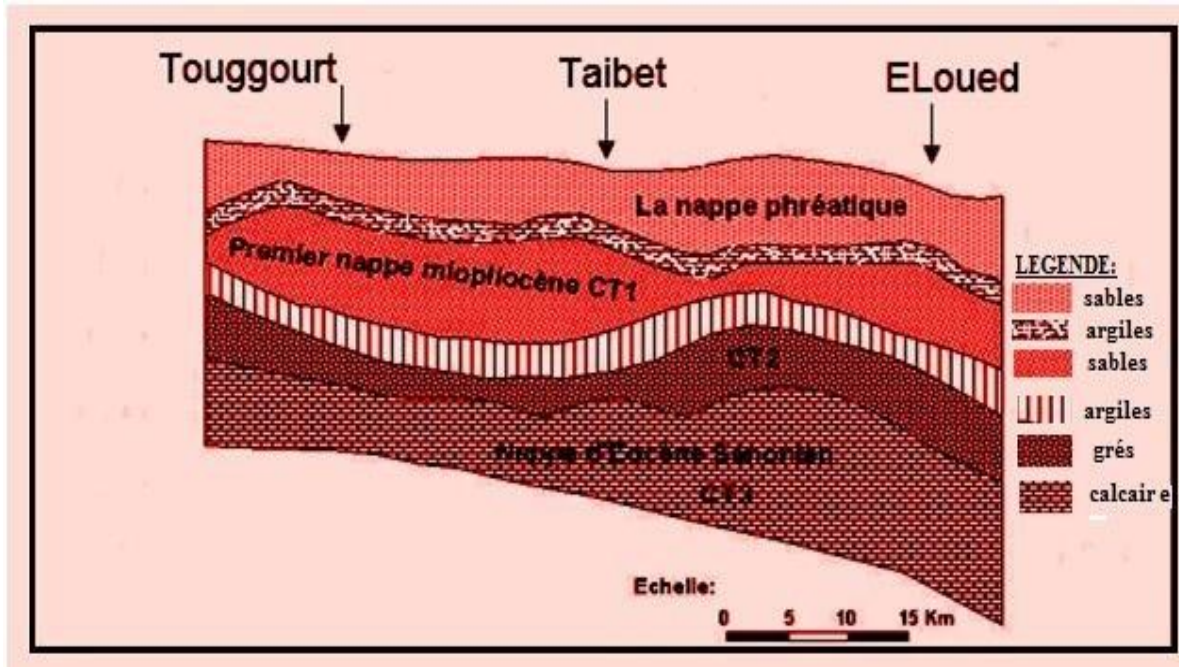


Fig.20.Coupe hydrogéologique du Complexe Terminal de la région de Touggourt.

2.2.3.La deuxième nappe du sable :

Les formations contenant cette nappe sont également d'âge Mio-pliocène. Comme la première nappe, elle est formée essentiellement des grès, de gravier et de sables avec la présence de quelques lentilles argileuses. L'épaisseur de la couche aquifère est de 20 à 36 m. Cette nappe captive est très exploitée par des forages moyennement profonds (100 et 165 m), avec un débit variant entre 25 et 45 l/s. Des argiles à niveaux calcaires et des marnes, forment son substratum, alors que des argiles et les argiles sableuses constituent son toit.

Ces deux nappes de Mio-pliocène sont alimentées localement par les rares précipitations et les infiltrations d'eaux de surface (de la nappe phréatique et du canal de l'oued Righ), et les percolations des nappes artésiennes sous jacentes. Les prélèvements par forages représentent leur seule exhaure.

Ces deux nappes du Mio-Pliocène surmontent l'autre ensemble du Complexe Terminal (CT), constituant la troisième formation aquifère, formée par les carbonates de l'Eocène inférieur – Sénonien supérieur.

2.2.4. La nappe du Sénonien-Eocène :

Ces deux étages géologiques ont été regroupés parce qu'ils forment un ensemble lithologique et hydrogéologique homogène. Essentiellement carbonaté, il est formé de calcaires, calcaires dolomitiques ou marneux, d'anhydrite et gypse. Il n'est pas très exploité à Touggourt, donnant un débit de 25 à 40 l/s et parfois présentant un artésianisme à faible débit (0,3 à 0,6 l/s). Leur toit est supérieur à 180 m, dont le débit global peut atteindre 2,8 m³/s.

A la base, le sénonien lagunaire forme le substratum de cette nappe et au sommet, le toit est surtout argileux. La porosité moyenne de cette nappe est de 20%.



Fig. 21. Photo d'un forage du Complexe Terminale (2^{ème} nappe) à Sidi Mahdi. (Faycel Hallal 2004.)

2.3. Nappe du Continental Intercalaire dans le secteur d'Oued Righ Sud

C'est un aquifère profond, composé de sables gréseux ou argileux. L'épaisseur de la couche productive peut dépasser 500 m, mais son épaisseur utile est proche de 400m. Le réservoir du Continental Intercalaire est contenu dans les formations continentales du Crétacé inférieur (Barrémien et Albien).

La nappe du Continental Intercalaire (CI) dans la région de Touggourt est caractérisée par:

- Sa grande profondeur, plus de 1500 m,
- Un fort artésianisme (15 à 20 bars),
- Un grand débit d'exploitation (250 à 400 l/s),

- Une température de l'eau élevée (50 à 65°C),
- Une charge en CO₂, qui lui donne un caractère corrosif,
- Un résidu sec des eaux variant entre 3 et 5 g/l.

Les apports d'eau au système aquifère s'effectuent par:

- L'infiltration des eaux de ruissellement des reliefs situés à la périphérie du domaine et par des précipitations sur les affleurements,
- Le piémont de l'Atlas saharien, au Nord,
- Le plateau de Tinhert, au Sud,



Fig.22 : Photo d'un forage du Continental Intercalaire à Sidi Slimane.(Faycel Hallal 2004.)

L'exutoire naturel du Continental Intercalaire est la zone des chotts, avec un sens d'écoulement souterrain Sud -Nord, conformément d'ailleurs à la topographie de la région. D'autre part, les prélèvements par forages représentent une autre sortie. Dans le secteur Sud de l'oued Righ que nous étudions (Touggourt), il y a sept (7) forages albiens, qui débitent total 1 400 l/s environ.

3. Gestion des ressources hydriques de la région d'Oued Righ :

Au cours de ces dernières décennies, de nombreuses zones arides ont subi des transformations socio-économiques et démographiques aussi importantes que rapides, qui se sont traduites par des pressions très importantes sur l'environnement, et en particulier sur les ressources en eau. L'eau constitue un enjeu du développement économique ; celui-ci est principalement fondé sur les ressources naturelles.

3.1. La Répartition de l'infrastructure hydraulique dans la région des Oued Righ

Les infrastructures hydrauliques jouent un rôle primordial dans la sécurité hydrique et alimentaire du pays et rendent de précieux services à l'économie nationale. Elles contribuent, au développement de l'accès à l'eau potable, à la stabilisation de la production agricole grâce à l'irrigation de plus de 11062 hectares ainsi qu'au développement industriel.

3.2. Forage : Selon le rapport de l'ANRH (2008), le nombre total des forages recensés dans la région de Oued Righ est de l'ordre de 425.

Parmi ces 425 forages, 339 forages (CT, CI) sont exploités,. En se basant sur des critères d'expertise, on constate que sur les 86 forages CT inexploités, 62 forages peuvent être exploitables. Dans cette zone, la nappe du Complexe Terminal (Mio-pliocène et Eocène) est exploitée par 333 forages parmi lesquels 2 sont destinés pour l'alimentation en eau potable et les autres servant essentiellement à l'irrigation de plus d'un million de palmiers répartis dans toute la zone d'étude.

La vallée d'Oued Righ correspond à la zone où la nappe du Complexe Terminal est la plus exploitée. Elle est captée à une profondeur variant entre 30 et 240 m et le débit fourni par forage est compris entre 10 et 40 l/s. Le volume soutiré est $263.76 \text{ hm}^3/\text{an}$.

Quant à la nappe du Continental Intercalaire, elle est captée par 06 forages fournissant chacun un débit moyen de l'ordre de 130 l/s pour un débit annuel total de 25 Hm^3 . Les 06 forages du CI sont destinés à l'AEP

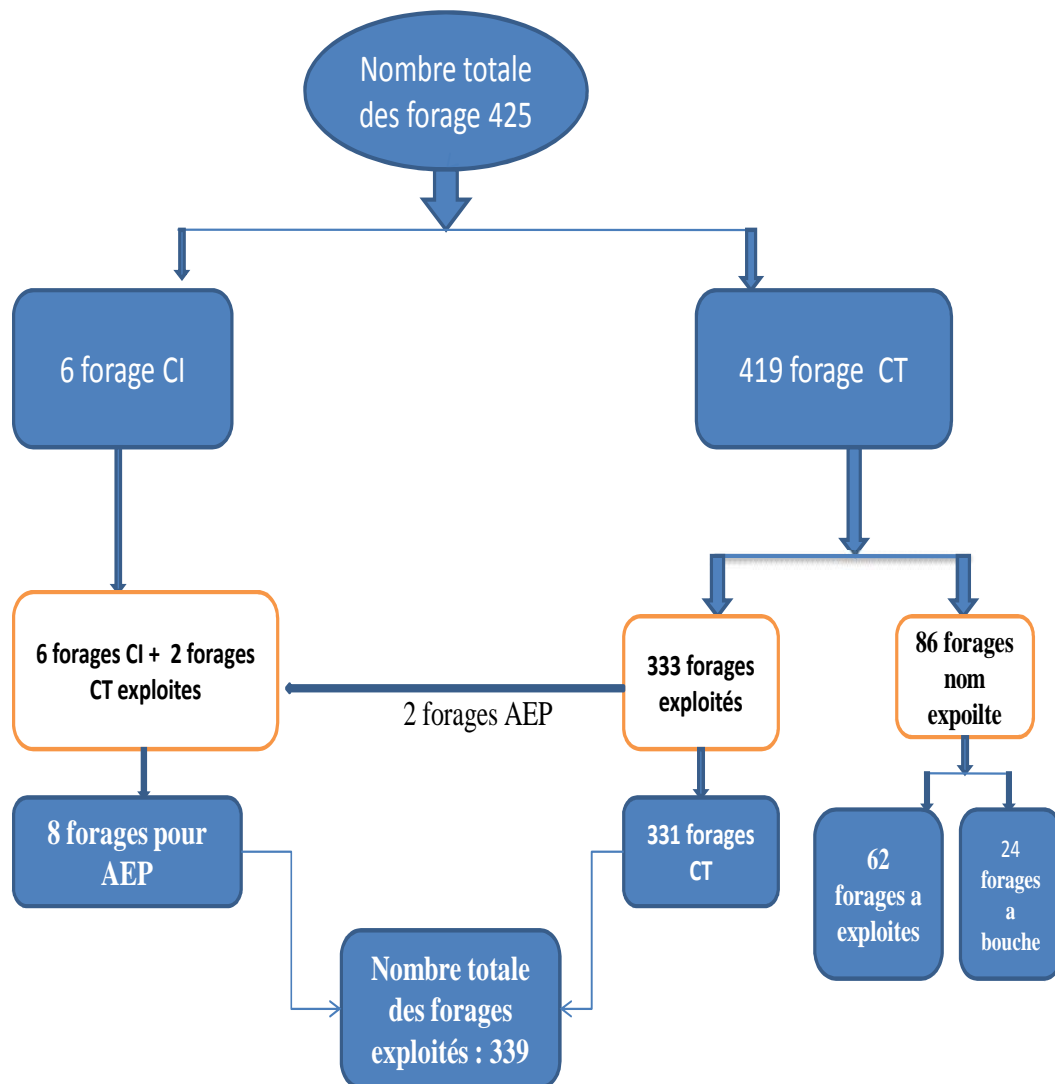


Fig.23.Schéma récapitulatif nombre des forages dans la région d'Oued Righ

3.3.Réservoir de stockage

La priorité donnée au secteur de l'eau depuis des années a permis de disposer d'un patrimoine d'infrastructures hydrauliques, constitué d'une dizaine de réservoirs de tailles diverses, avec une capacité de stockage totale de 15050 hm³.

Ces infrastructures hydrauliques jouent un rôle primordial dans la sécurité hydrique et alimentaire de la vallée de Oued Righ et rend de précieux services au secteur socioéconomique.

Commune	nombre de réservoir	capacité
Temacine	1	300
Blidet Amor	2	550
Touggourt	5	10000
Nezla	2	350
Tebesbest	1	150
Zaouïa	1	750
Megarine	3	105
Sidi Slimane	2	550

Tab.08: Réservoirs de stockage et leurs capacités

4. Conclusion

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) regroupe deux énormes réservoirs d'eaux souterraines ; le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT). Ce dernier s'étale sur une surface de 350 000 km² et couvre la majeure partie du bassin oriental du Sahara septentrional, sa puissance moyenne est de 300 m environ.

Dans la région de l'Oued Righ il existe deux systèmes aquifères séparés par d'épaisses séries argileuses et évaporitiques, de la base du Crétacé supérieur sont: le Complexe Terminal et le Continental Intercalaire.

L'établissement de la carte piézométrique de Complexe Terminal montre un sens d'écoulement général suit le modèle topographique c'est-à-dire au sud vers le nord et présente des zones de convergences indiquent les zones de surexploitation où les palmeraies et les villes.

La recharge actuelle de cette nappe peut exister lorsque certaines conditions climatiques (des précipitations exceptionnelles), topographiques (relief favorisant le ruissellement des oueds) et géologiques (affleurements perméables) se réunissent.

Chapitre III

Etude hydrochimique

1. Introduction

La composition chimique d'une eau est importante dans la détermination de sa qualité, donc la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou d'autres usages (irrigation, industrie...Etc.).

Objectif de ce chapitre c'est d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux des nappes aquifères de la région d'Oued Righ, pour l'alimentation en eau potable (AEP) on référant aux normes de l'OMS et aux normes algérienne de l'eau de boisson et pour les besoins d'irrigation on se basant sur les normes de Riverside.

2. La nappe superficielle (phréatique)

2.1. Facies chimique des eaux de la nappe superficielle (phréatique)

Les analyses chimiques effectuées sur les 22 puits captant la nappe superficielle en 2017, montre que les eaux de la nappe phréatique sont dominées par des faciès évaporitiques :

- sulfaté sodique (50%)
- chloruré sodique (31.8%)
- sulfaté magnésien (13.6%)
- chloruré magnésien (4.6%)

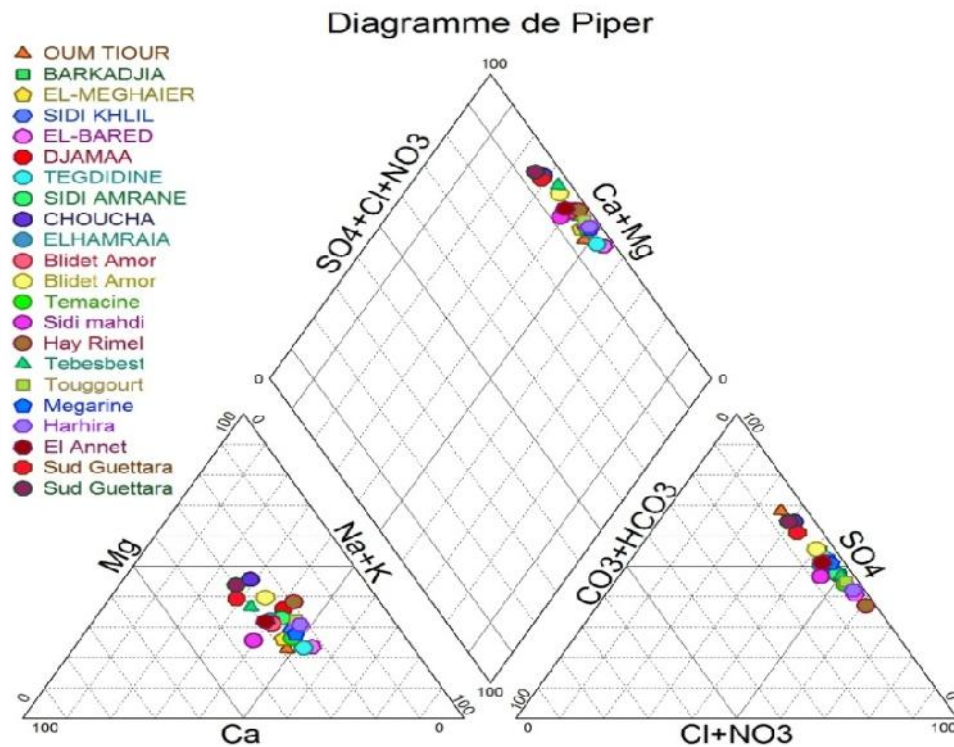


Fig. 24 : Le diagramme de Piper des eaux de la nappe superficielle (phréatique).

2.2. Qualité des eaux de la nappe superficielle.

Le tableau 09 montre la variabilité et l'ordre de grandeur des différents variables physico-chimiques caractéristiques des eaux souterraines à l'échelle de tout le secteur d'étude, ainsi que les normes de potabilité des eaux de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et les normes algériennes.

Tableau 09 : Statistiques élémentaires des différents paramètres physico-chimiques mesurées pour les eaux de la nappe phréatique d'Oued Righ (2017).

Paramètre	N.ALG	N.OMS	Min	Max	Moy
Ca ⁺² (mg/L)	200	200	258.80	480	375.75
Mg ⁺² (mg/l)	150	150	115.20	263.20	285.77
Na ⁺ (mg/l)	200	200	305	1177.50	705.34
K ⁺ (mg/l)	20	12	13.50	71.30	33.54
Cl ⁻ (mg/l)	500	250	513	2588	1241
So4 ⁻² (mg/l)	400	250	815	2350	1788.64
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	-	300	140.30	201.30	175
Cond (µS.Cm ⁻¹)	2800	1000	2440	7560	5130.90

2.2.1. Température : La température de l'eau joue un rôle important dans la solubilité des sels et des gaz ainsi que sur la valeur du pH. La connaissance de ce paramètre permet aussi de donner des indications sur les profondeurs de circulation des eaux souterraines.

Dans cette étude, les températures des eaux souterraines observées varient de 23 °C à 29°C. Elles semblent ainsi indiquer l'influence de la température de l'air ambiant sur les eaux souterraines, traduisant une circulation peu profonde.

2.2.2. Potentiel d'hydrogène (pH) : Le pH est une mesure de la concentration en proton d'Hydrogène en solution. Les valeurs de pH ont été mesurées sur terrain par le pH-mètre.

Les eaux de la région d'étude montrent un pH est légèrement basique vari entre 7.5 et 8.5.

2.2.3. La conductivité électrique (CE) : La conductivité électrique est une mesure qui permet un contrôle simple et rapide de la minéralisation des solutions. Elle dépend de la force ionique de l'eau et augmente en fonction de la teneur en ions dissous, de la nature des différentes substances dissoutes, à leurs concentrations réelles et relatives, et à la température à laquelle elle est mesurée.

La conductivité électrique de l'eau de la nappe phréatique pendant d'année 2017 montrent un dépassement de la norme de l'OMS et la norme algérienne (sauf le forage F14) pour les eaux de boisson. Elle varie entre 2440 µS.Cm⁻¹ et 7560 µS.Cm⁻¹. La valeur la plus forte est mesurée au niveau du forage (F15) qui se trouve dans la zone inondée.

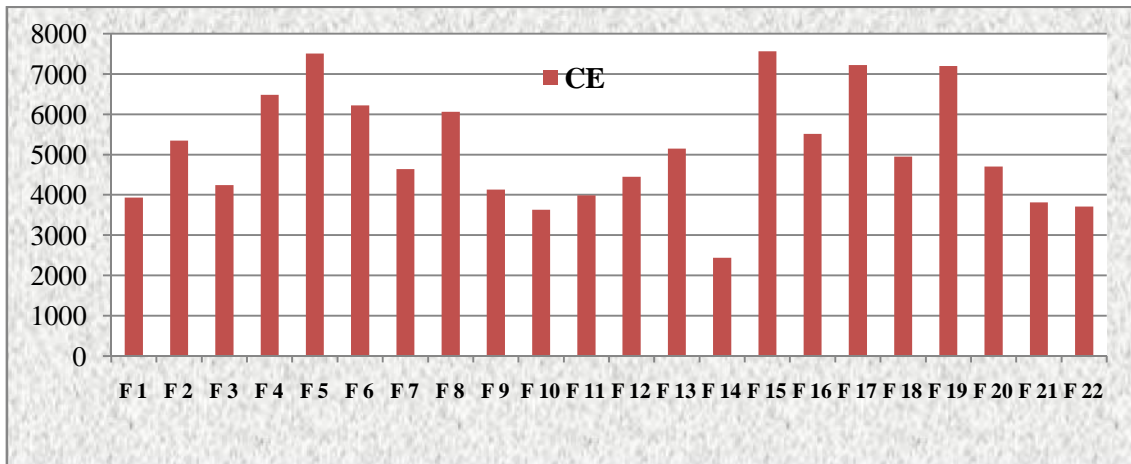


Fig.25 : Histogrammes de la conductivité électrique de la nappe phréatique

2.2.4. Sodium (Na⁺): Le sodium est le sixième élément le plus abondant dans la croûte terrestre, il représente 2.83% sous toutes ses formes. Il provient essentiellement de la dissolution de l'Halite. Cet élément est nécessaire pour le fonctionnement des muscles et des nerfs, mais trop de sodium peut augmenter le risque d'hypertension artérielle. On note aussi que les eaux trop chargées en sodium deviennent saumâtres et prennent un goût désagréable (RODIER1984). Pour des considérations liées à des critères gustatifs, la norme algérienne et de la norme de l'OMS recommandent une valeur limite de 200 mg/l.

Les eaux de la nappe phréatique renferment des concentrations de sodium dépassant la norme algérienne de l'eau potable, la teneur maximale est de l'ordre de 1177.50 mg/l mesurée au puits (F19) alors que la valeur minimale est de 305 mg/l mesurée dans le puits (F14). (Fig 26)

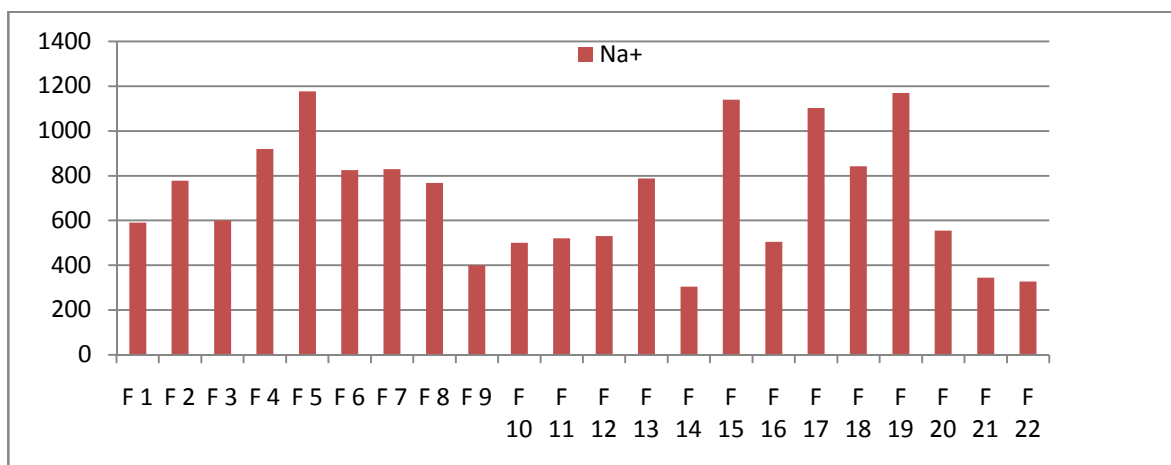


Fig 26 : Histogramme variation de (Na⁺) on fonctions des forages de la nappe phréatique de station d'Oued Righ 2017

2.2.5. Potassium (K⁺): Le potassium est un élément chimique, sa réaction avec l'eau est d'ailleurs bien plus forte que celle du sodium. Dans la zone d'étude on le retrouve dans les

évaaporites comme le Sylvite et les produits chimiques utilisés en agriculture (le sulfate de potassium).

La teneur de potassium dans les eaux de la nappe phréatique d'Oued Righ varie entre (13.50 mg/l à 71.30 mg/l) mesurée les puits (F9 et F11), elle dépassant la norme algérienne de l'eau potable (20 mg/l). Sauf les cinq puits de (F 1.9.20 .21 et 22).(Fig 27)

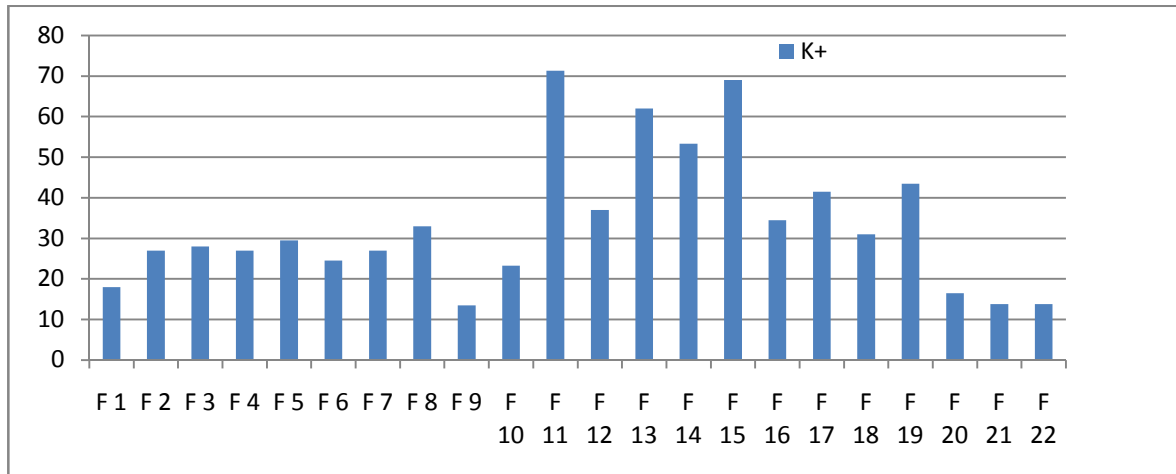


Fig 27 : Histogramme variation de (k⁺) on fonctions des forages de la nappe phréatique de station d'Oued Righ 2017

2.2.6. Calcium (Ca⁺²) : Le calcium est un élément alcalino-terreux, il peut provenir des formations gypsifères (CaSO₄, 2H₂O) et la dissolution de calcaire (CaCO₃).

La teneur en calcium dans les eaux de la nappe phréatique dépasse la norme algérienne de l'eau potable (200 mg/l), elle varie entre 258.80 mg/l (F14) et 480 mg/l (F17 et 19). (Fig 28).

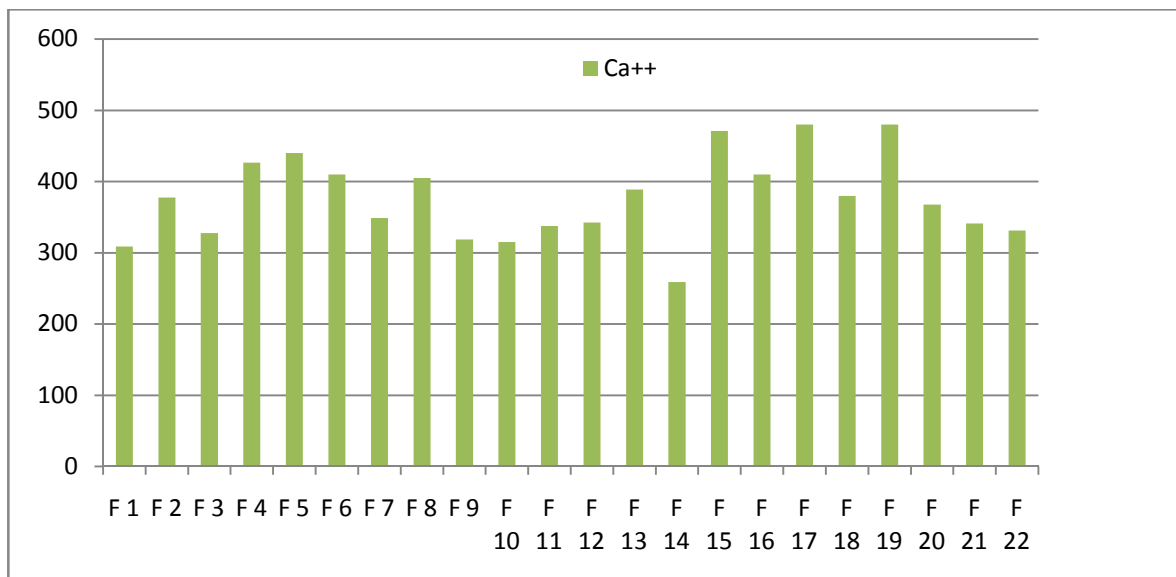


Fig 28 : Histogramme variation de (Ca⁺⁺) on fonctions des forages de la nappe phréatique de station d'Oued Righ 2017

2.2.7. Magnésium (Mg^{+2}) : Le magnésium est un des éléments les plus répandus dans la nature, il constitue 2.1% de l'écorce terrestre, son abondance géologique, sa grande solubilité, sa large utilisation industrielle (réducteur chimique, batteries sèches...) rendent leur teneur dans l'eau peut être importante.

Les eaux de la nappe phréatique renferment les concentrations de magnésium dépassant dans la majorité la norme algérienne et de la norme de l'OMS recommandent une valeur limite de 150 mg/l. La teneur maximale est de l'ordre de 263.20 mg/l (F15) alors que la valeur minimale est d'ordre de 115.20 mg/l mesuré dans le forage (F14).(Fig 29)

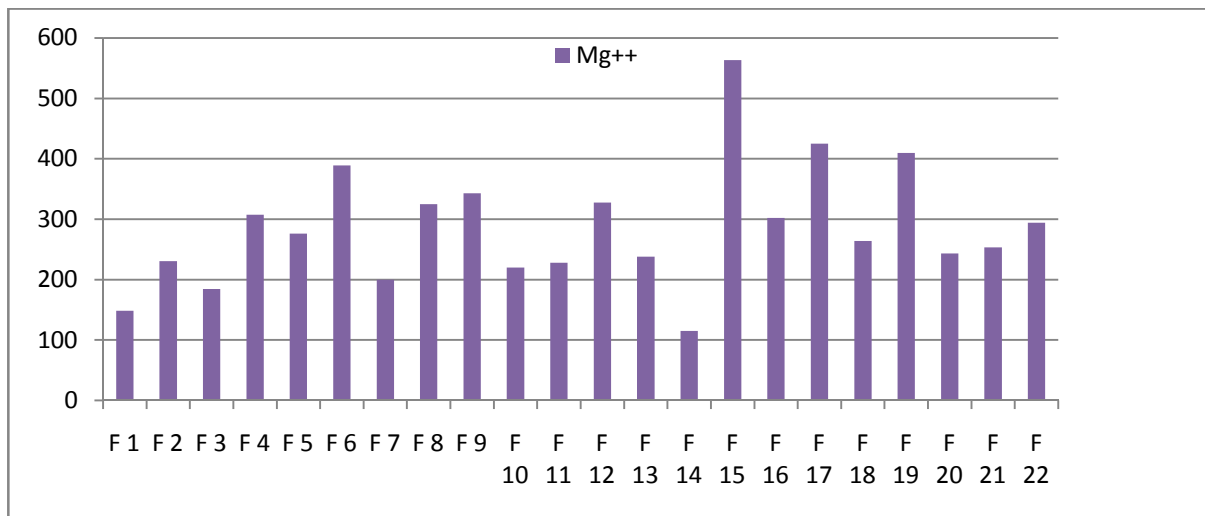


Fig 29 : Histogramme variation de (Mg^{++}) en fonction des forages de la nappe phréatique de station d'Oued Righ 2017

2.2.8. Chlorure (Cl^-) : Les teneurs en chlorure dans l'eau sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés. Une surcharge en chlorure dans l'eau peut être à l'origine d'une saveur désagréable, surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium et considéré comme un gros inconvénient. Les chlorures ne présentent pas de risque sur la santé, sauf pour les personnes devant suivre un régime hyposodé. Cependant, les chlorures sont susceptibles d'amener une corrosion dans les canalisations et les réservoirs, en particulier les éléments en acier inoxydable pour lesquels le risque s'accroît à partir de 50 mg/l.

La teneur de Chlorure (Cl^-) dans les eaux de la nappe phréatique d'Oued Righ varie entre 513 mg/l (F1) et 2588 mg/l (F15). Ces valeurs dépassent la norme algérienne et la norme de l'OMS de l'eau de boisson qui est fixée à 500 mg/l.(Fig 30).

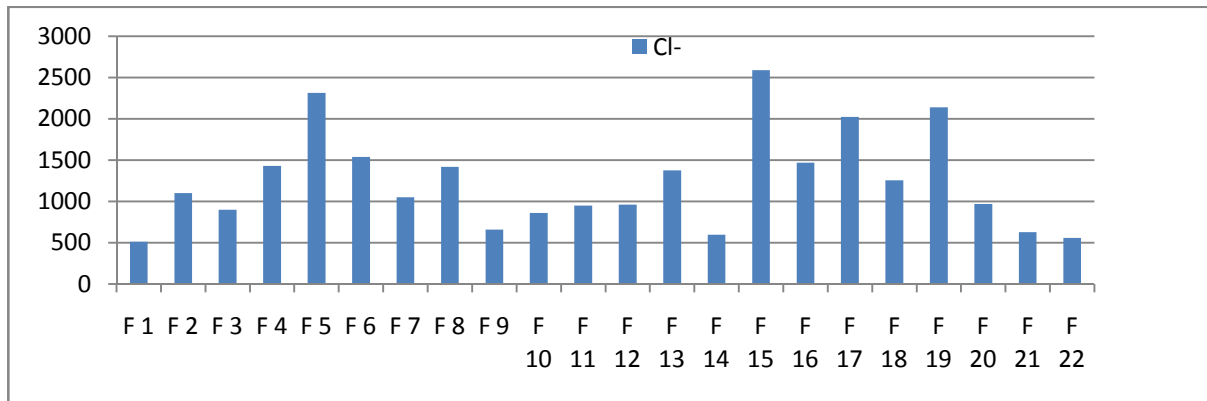


Fig 30 : Histogramme Variation de (Cl⁻) on fonctions des forages de la nappe phréatique de station d'Oued Righ 2017

2.2.9. Sulfates (SO₄⁻²) : La concentration en sulfates des eaux naturelles des terrains à faibles teneurs en minéraux sulfatés est généralement inférieure à 50 mg/l (Rodier1980). L'augmentation des sulfates peut provenir en grande partie de la dissolution des minéraux évaporitiques, de l'oxydation du soufre des roches sédimentaires et/ou de pollution urbaine, industrielle et agricole. Des importantes concentrations en sulfates peuvent être corrosives pour les tuyauteries en particulier les tuyauteries en cuivre. Dans les endroits où l'on retrouve des concentrations importantes en sulfate, il est commun d'utiliser des matériaux résistants à la corrosion, comme des tuyaux en plastique.

La teneur des sulfates, montre des valeurs très élevées varie entre de 815 mg/l à 2350 mg/l, pour les forages (F14 et F17) Les valeurs de sulfate mesurées dans les eaux de la nappe superficielle libre dépassent largement la norme algérienne de l'eau potable qu'est 400 mg/l.(Fig 31).

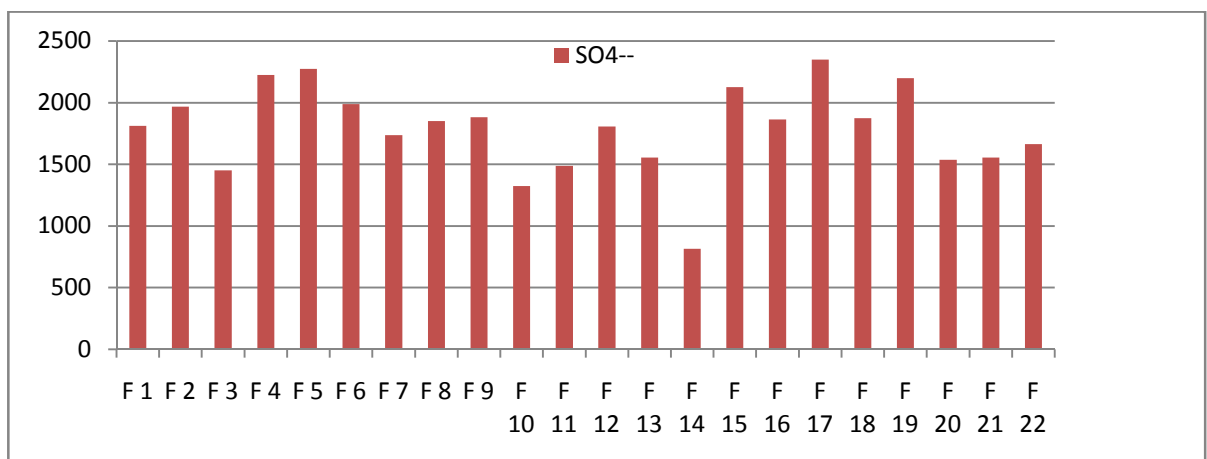


Fig 31 : Histogramme variation de (SO₄⁻) on fonctions des forages de la nappe phréatique de station d'Oued Righ 2017

2.2.10. Les bicarbonates HCO_3^- : La présence du bicarbonate dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées tel que les calcaires et les dolomies. D'après l'étude géologique et hydrogéologique les carbonate sont présent dans l'aquifère superficiel libre sur plusieurs formes, ciment pour les grés, des minces couches de calcaire, etc.

La teneur du bicarbonate dans les eaux de la nappe phréatique variée entre 140.30 mg/l (F18) et 201.30 mg/l (F01). Ces valeurs ne dépassent pas la norme de l'OMS fixée (300 mg/l). (Fig 32)

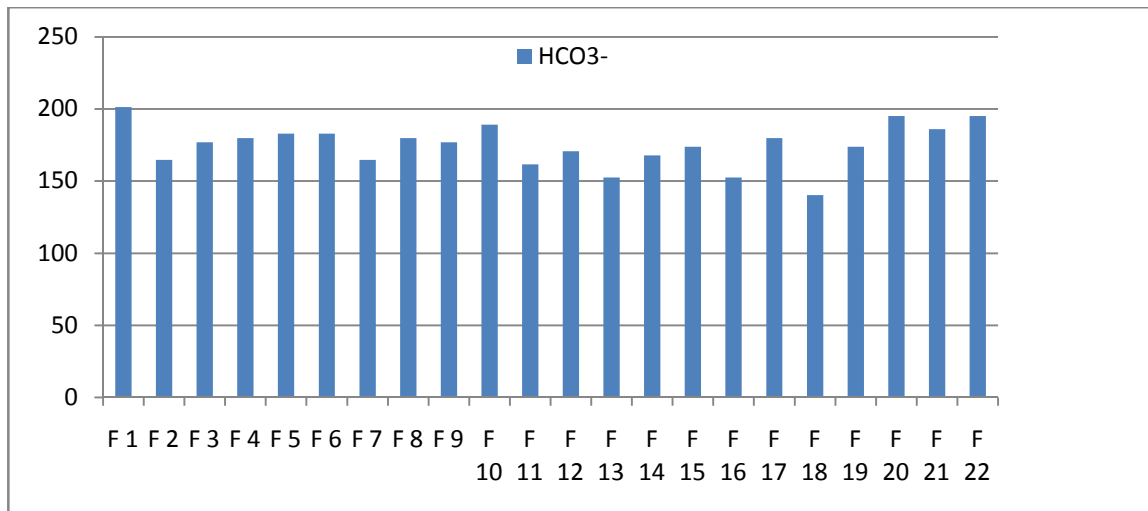


Fig 32 : Histogramme variation de (HCO_3^-) on fonctions des forages de la nappe phréatique de station d'Oued Righ 2017

2.3. Qualités des eaux de la nappe superficielle à l'irrigation

Les sels minéraux contenus dans l'eau en quantités ont des effets néfastes sur le sol et les plantes. Ils peuvent perturber le développement des plantes, agissent sur le processus osmotique, en causant des réactions métaboliques, ils causent également des changements dans la structure du sol (sur sa perméabilité et son aération), affectant directement le développement de la plante. Donc il est impératif dans ce cas d'étudier les paramètres définissant les eaux destinées à l'irrigation, tel que:

- la concentration totale du sel dissous dans l'eau.
- la concentration réelle de Na^+ par rapport aux autres cations.
- dans certains cas la concentration de HCO_3^- par rapport au Ca^{+2} et Mg^{+2} .

2.3.1. Conductivité : Les sels contenus dans les eaux d'irrigation, s'accumulent dans la zone racinaire après que la plante préleve l'eau. Ces sels s'épaississent et limitent la disponibilité de l'eau dans le sol pour la culture. Pour éviter ce risque, on doit déterminer la valeur de la conductivité et la classer suivant les valeurs seuils suivantes :

- inférieure à $250 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ l'eau ne présente aucun risque.

- varie entre 250 et 750 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ l'eau peut être utilisée que s'il y a de drainage.
- supérieure à 2250 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ l'eau est considérée impropre à l'irrigation.

Les eaux de la nappe phréatique d'Oued Righ présentent une conductivité varie entre 2440 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ et 7560 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, donc elles sont impropre à l'irrigation.

2.3.2. La méthode de Richards : Le SAR est un indice qui évalue le danger que présente l'existence d'une teneur donnée en sodium; il est calculé par l'équation :

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

- SAR: Sodium Adsorption Ratio.
- Na^+ , Ca^{+2} et Mg^{+2} représentent les concentrations en mg/l,
- Les valeurs de SAR ont été calculées à partir des données des analyses chimiques.

La méthode de Richards (1954) est basée sur la combinaison des deux méthodes: du SAR et de la conductivité électrique. Les échantillons des eaux s'arrangent sur le diagramme de Richards selon deux classes(Fig.33).

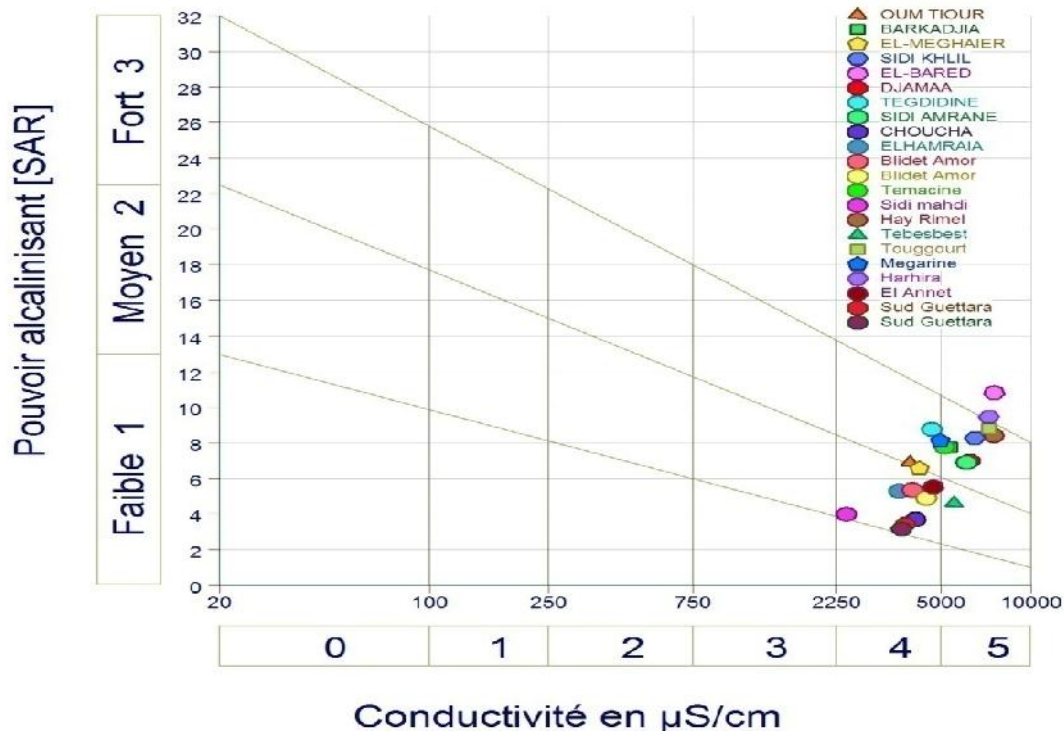


Fig.33 : Diagramme de Richards des eaux de la nappe superficielle d'Oued Righ.

-Eaux médiocres (C₄S₂): L'eau est fortement minéralisée et est susceptible de convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.

-Eaux mauvaises (C₄S₃): les eaux qui font partie de cette classe ne conviennent pas à l'irrigation, mais peut être utilisée à l'irrigation sous certaines conditions: sols très perméables, bon lessivage, plantes très tolérantes au sel.

3. La nappe Complexe Terminale :

3.1. Etude de faciès chimique des eaux de Complexe Terminal :

Le diagramme de Piper permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles spécifiques dont les cotes témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au total de ces ions (cations pour le triangle de gauche, anions pour le triangle de droite). La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces deux triangles permet de préciser en premier globale de l'échantillon, sa position relative permet de préciser le faciès de l'eau concernée :

A partir du diagramme de Piper (Fig 34) nous remarquons que les eaux analysées (28 échantillons) à l'échelle de notre zone d'étude présentent les faciès chimiques suivants :

- sulfaté sodique (42.8%)
- chloruré magnésien (35.8%)
- sulfaté magnésien (17.8%)
- chloruré magnésien (3.6%)

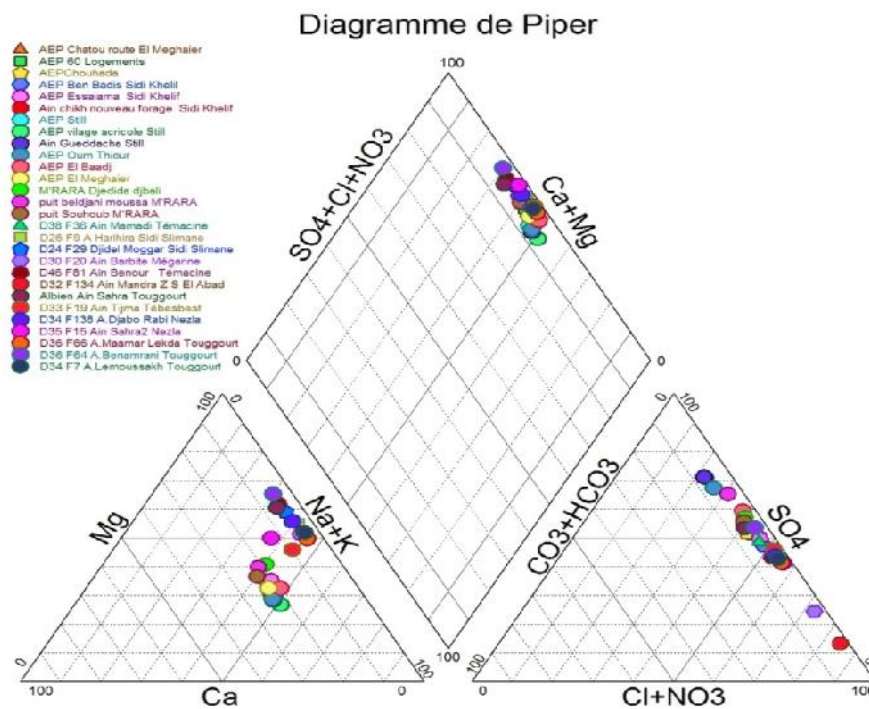


Fig.34 : Diagramme de Piper des eaux de la nappe complexe terminale.

3.2. Qualité des eaux de la nappe complexe terminale vis-à-vis à la potabilité :

Le tableau 10 montre la variabilité et l'ordre de grandeur des différents variables physico-chimiques caractéristiques des eaux souterraines a l'échelle de tout le secteur étudié, ainsi que les normes de potabilité des eaux de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et les normes algériennes.

Tableau 10 : Statistiques élémentaires des différents paramètres physico-chimiques mesurées pour les eaux de Complexe Terminale d'Oued Righ 2017

Paramètre	N.ALG	N.OMS	Min	Max	Moy
Ca ⁺² (mg/L)	200	200	34	315	177.28
Mg ⁺² (mg/l)	150	150	163.8	638	345.23
Na ⁺ (mg/l)	200	200	190	1000	620.26
K ⁺ (mg/l)	20	12	12.3	46	25.95
Cl ⁻ (mg/l)	500	250	370	3250	1119.23
So ₄ ⁻² (mg/l)	400	250	655	2375	1587.46
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	-	300	88	219.60	160.54
Cond(μS.Cm ⁻¹)	2800	1000	2120	8670	5913.21
NO ₃ ⁻ (mg/l)	50	50	0.2	33	13.50

3.2.1. La température : La température moyenne des eaux de la nappe du complexe terminal est de l'ordre de 23°C, elle semble d'être en concordance avec la profondeur de cette nappe.

3.2.2. Potentiel hydrogène pH : Les valeurs de pH présentés dans la (Fig.35) ci dessous montrent clairement que toutes ces valeurs se trouvent dans l'intervalle de potabilité (6.5.et 8.5), sauf les deux forage (F16 et F22).

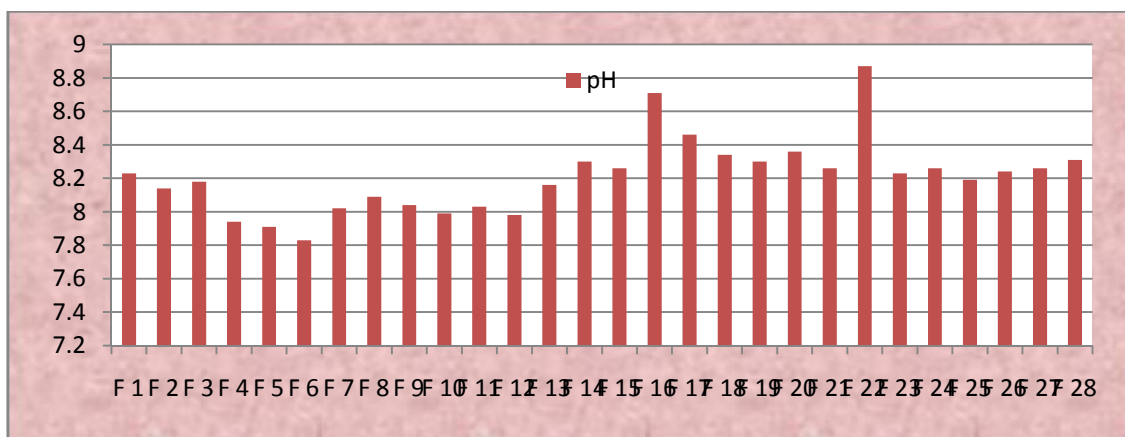


Fig.35 : Histogramme de la variation de pH des eaux de la nappe CT.

3.2.3. Conductivité électrique : La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface, et séparé l'une de l'autre de 1 cm, exprimés en μS.Cm⁻¹. La conductivité permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans

l'eau. Elle est également plus importante lorsque la température de l'eau augmente. L'OMS recommande comme valeur limite 1000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. La figure 36 montre que la teneur de la conductivité dans la nappe du CT varie entre 2120 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ et 8670 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

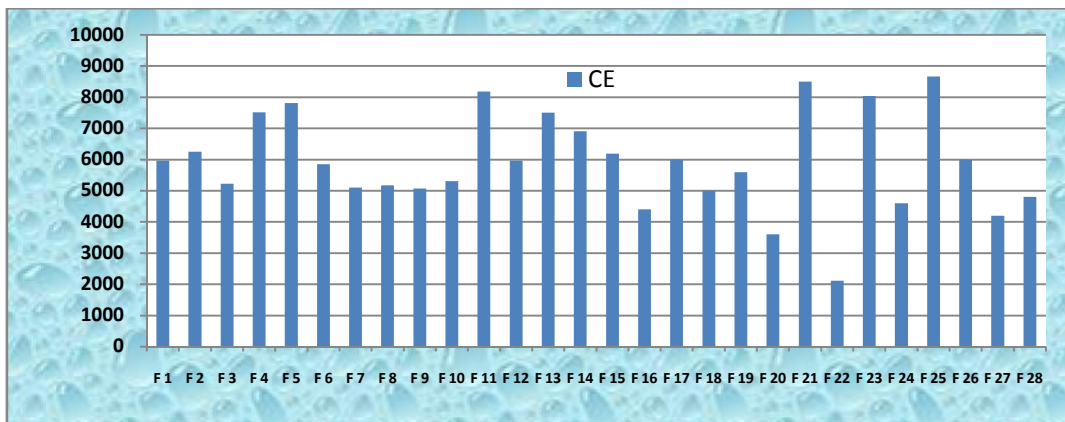


Fig.36 : Histogrammes de la conductivité électrique de la nappe du CT.

3.2.4. Le Calcium (Ca^{2+}): Le calcium est un élément alcalino-terreux, il peut provenir des formations gypsifères ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$) et la dissolution de calcaire (CaCO_3). La teneur en calcium dans les eaux de la nappe CT (Fig.37) dépasse la norme algérienne de l'eau potable (200 mg/l), sauf pour les forages mg/l.

L'histogramme montre aussi que la valeur maximale du calcium est 315 mg/l pour le forage (F11), ou les faibles teneurs observées à forage (F22) que la valeur minimale est 34 mg/l.

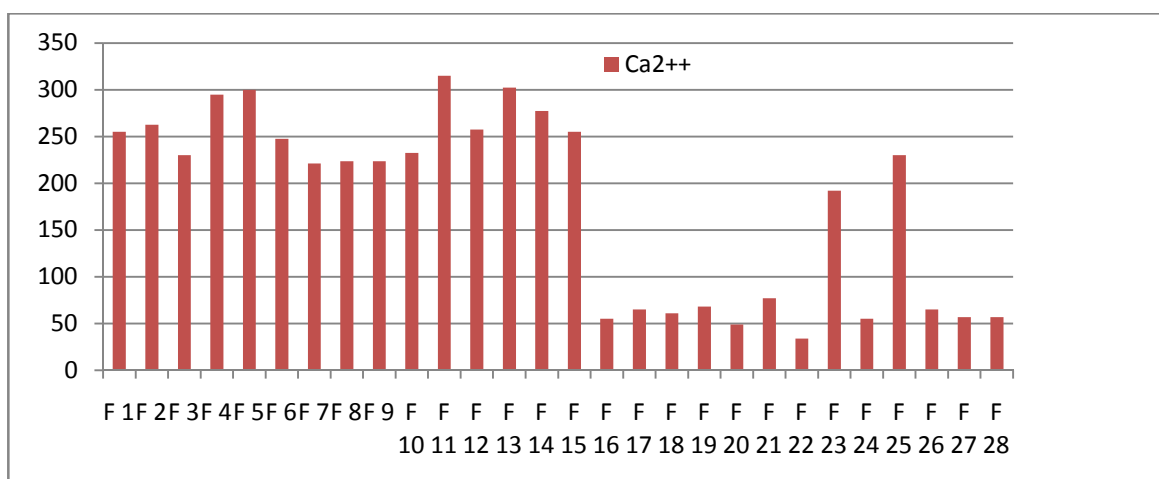


Fig 37 : Histogramme variation de (Ca^{++}) on fonctions des forages de la nappe CT de station d'Oued Righ 2017

3.2.5.. Le Magnésium (Mg^{2+}) : Second élément intervenant dans la dureté totale des eaux, le magnésium est moins abondant dans la nature que le calcium et le sodium. En effet, la majorité des forages de l'Oued Righ présentent des teneurs supérieures à la norme admissible de 150 mg/l, fixée par l'OMS et la norme algérienne des eaux de boisson. Les valeurs de magnésium varient entre 163.8 mg/l (F08) et 638 mg/l (F21).(Fig 38)

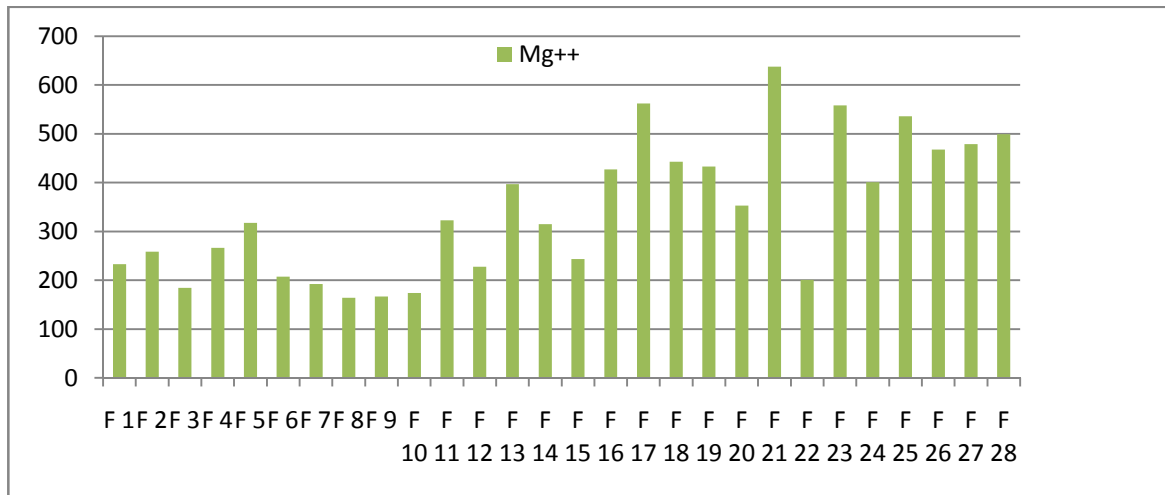


Fig 38 : Histogramme variation de (Mg⁺⁺) on fonctions des forages de la nappe CT de station d'Oued Righ 2017

3.2.6. Le Sodium (Na⁺) : Les teneurs en sodium admises dans la norme de l'O.M.S et la norme algérienne des eaux de boisson sont de l'ordre de 200 mg/l. Mis à part la dissolution de couches salifères, le sodium dans les eaux de complexe terminale peut provenir de phénomène d'échange de base des formations argileuses et marneuses.

Les concentrations de sodium dans les eaux de complexe terminale varient entre 190 mg/l (F22) et 1000 mg/l (F23 et F21). Elles sont donc dans la plus part des cas des teneurs supérieures à la norme de l'O.M.S et la norme algérienne des eaux de boisson.(Fig 39)

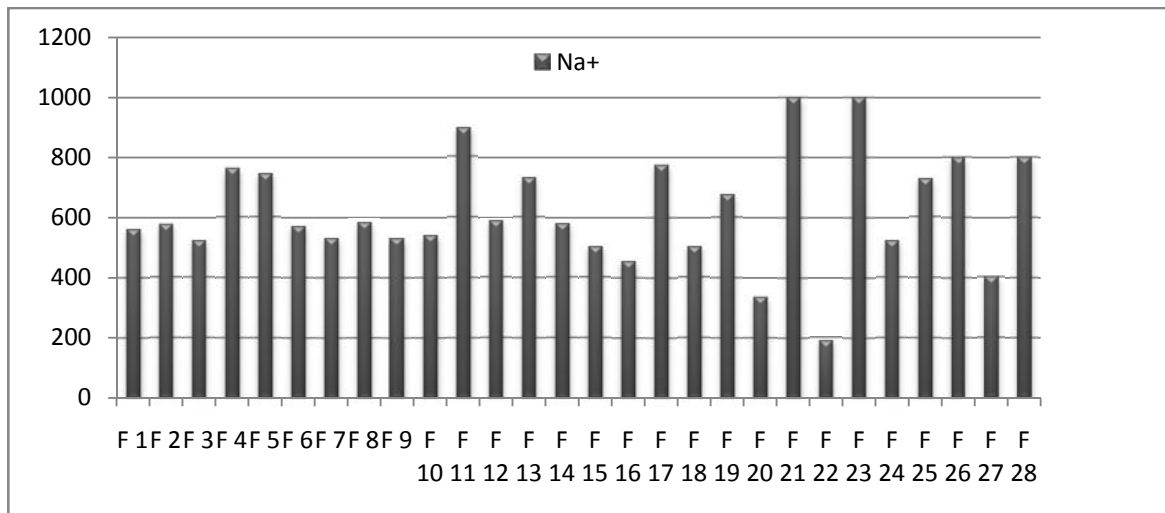


Fig 39 : Histogramme variation de (Na⁺) on fonctions des forages de la nappe CT de station d'Oued Righ 2017

3.2.7. Potassium (k⁺): La teneur de potassium dans les eaux de complexe terminal d'Oued Righ varie entre 12.3 mg/l (F07) et 46 mg/l (F21), elles dépassant donc la norme algérienne de l'eau potable (20mg/l). Sauf pour les puits F7, F8, F9, F10, F11, F14 et F15.(Fig 40).

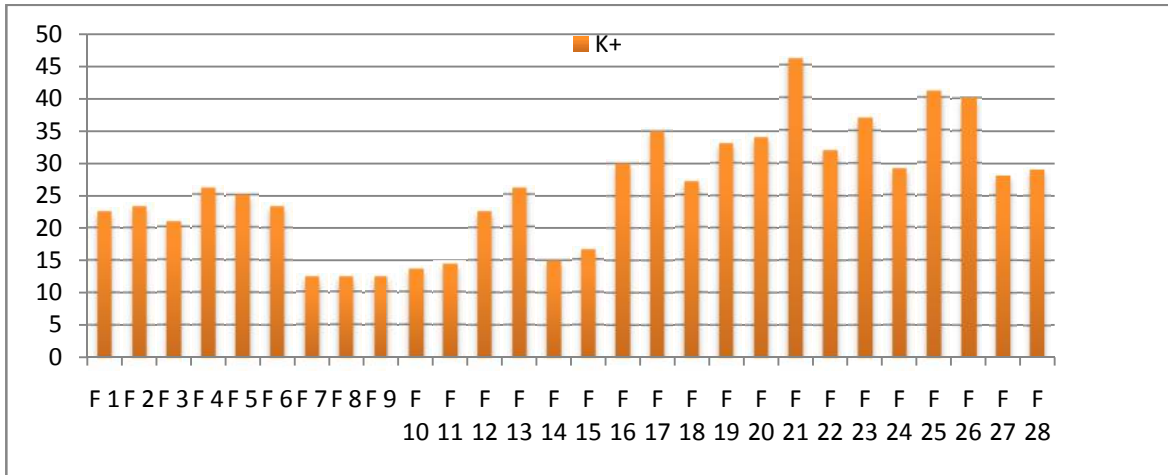


Fig 40 : Histogramme variation de (K⁺) on fonctions des forages de la nappe CT de station d'Oued Righ 2017

3.2.8. Les Chlorures (Cl⁻): La concentration de cet élément chimique (Fig.41) présente des teneurs variables et souvent très fortes qui varient entre 370mg/l dans le puits F22 et 3250mg/l dans F21. Excepté les puits (F7, F8, F9 et F22) tous les points de mesure dépassent la norme algérienne de l'eau potable qu'est 500 mg/l.

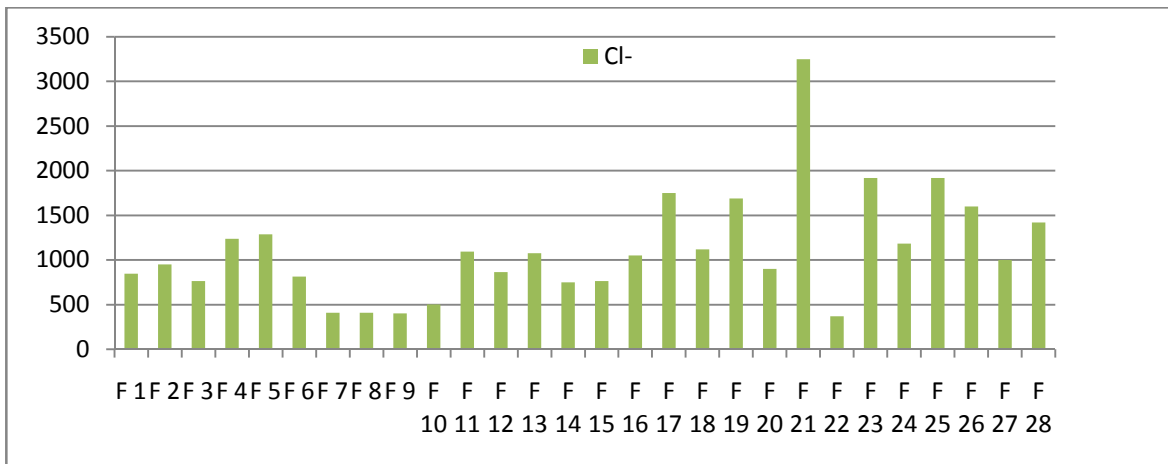


Fig 41 : Histogramme variation de (Cl⁻) on fonctions des forages de la nappe CT de station d'Oued Righ 2017

3.2.9. Les Sulfates (SO₄²⁻): les échantillons prélevés ont des teneurs comprises entre 655 mg/l et 2375 mg/l, ils dépassent normes l'OMS et la norme algérienne de l'eau potable. (Fig 42).

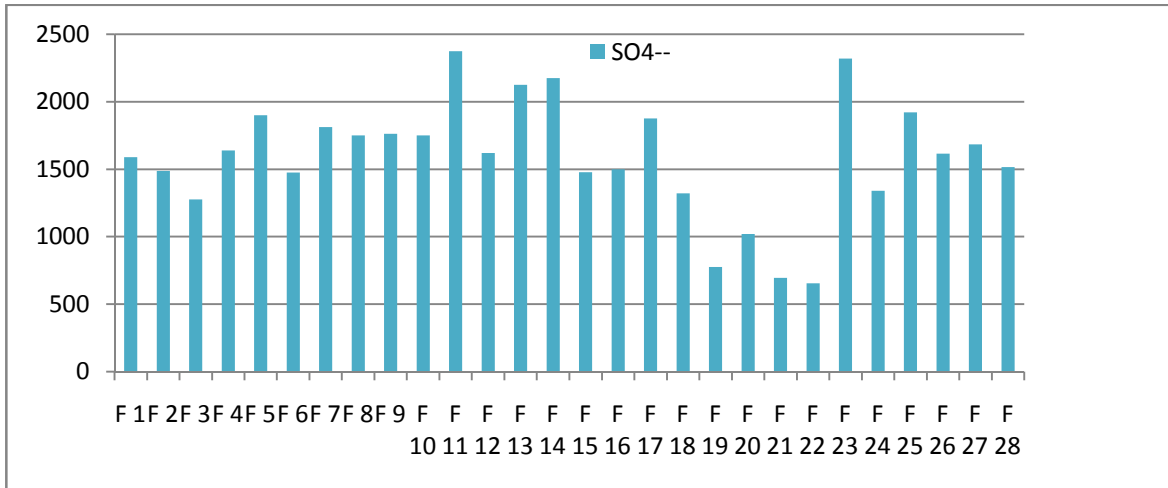


Fig 42 : Histogramme variation de (SO₄²⁻) on fonctions des forages de la nappe CT de station d'Oued Righ 2017

3.2.10. Les Bicarbonates (HCO₃⁻): Les bicarbonates sont le résultat de l'équilibre physicochimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique. La concentration des bicarbonates dans l'eau est fonction de la température de l'eau, tension du CO₂ dissous et de concentration de l'eau en sels et nature lithologique des terrains traverses.

On remarque que les valeurs de bicarbonates varient entre 88 mg/l (F 22) et 219.6 mg/l avec (F7), elles sont donc dans la norme de l'eau de boisson.(Fig 43)

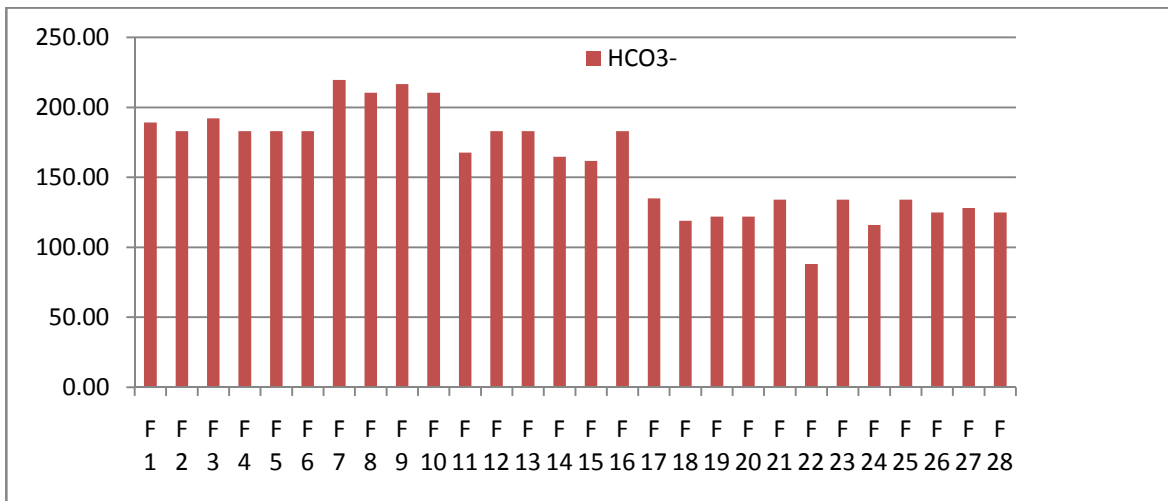


Fig 43 : Histogramme variation de (HCO₃⁻) on fonctions des forages de la nappe CT de station d'Oued Righ 2017

3.2.11. Les Nitrates (NO₃⁻): D'après l'historgramme des nitrates on remarque que ces concentrations sont conformes à la norme de l'O.M.S et la norme algérienne de l'eau potable (50 mg/l), elles varient de 0.2 mg/l (F8) à 33 mg/l (F25). Ces faibles concentrations

s'expliquent par la nature captive des nappes du Complexe Terminal qui assurent la protection des eaux contre toute contamination anthropique.(Fig 44)

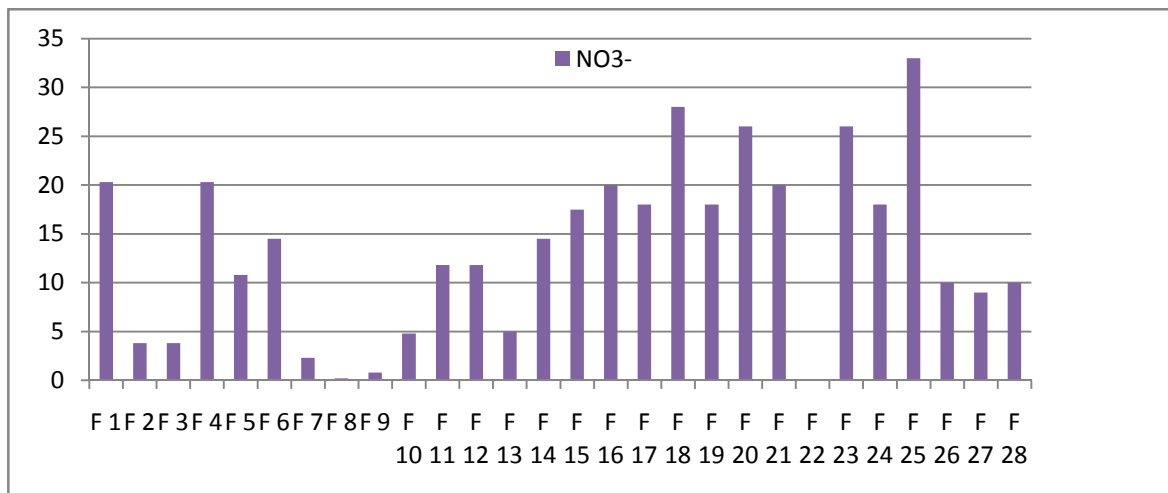


Fig 44 : Histogramme variation de (NO₃⁻) on fonctions des forages de la nappe CT de station d'Oued Righ 2017

3.3. Qualité des eaux de Complexe Terminal à l'irrigation :

Le Na⁺, Mg⁺² et Ca⁺² sont exprimés en mg/l et la conductivité électrique de l'eau par le μS/cm. La majorité des eaux du complexe terminal, présentent des valeurs de SAR moyennes à fortes, ils sont d'une qualité médiocre à mauvaise pour l'irrigation. Ces eaux s'arrangent selon deux classes (Fig.45) .

a. eaux médiocres (C₄S₂): les eaux faisant partie de cette classe sont fortement chargées en sels. Elles sont susceptibles de convenir à l'irrigation des plantes tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.

b. eaux mauvaises (C₄S₃): les eaux qui font partie de cette classe ne conviennent pas à l'irrigation, Leur utilisation pour l'irrigation doit être soumise à certaines conditions: sols très perméables, bon lessivage, plantes très tolérantes au sel.

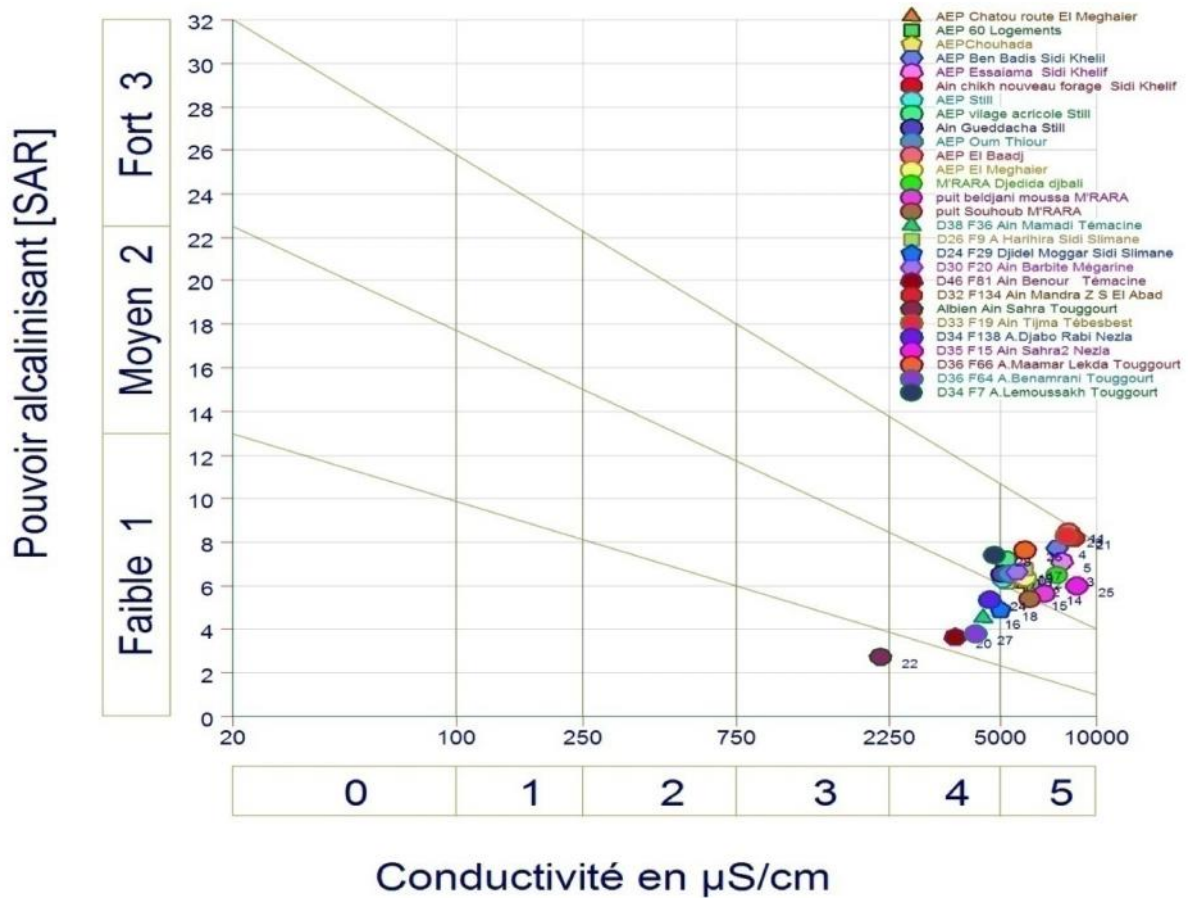


Fig.45 : Diagramme de Richards pour les eaux de Complexe Terminal.

4. La Nappe Continental Intercalaire

4.1. Etude de facies chimique des eaux de continentale intercalaire

La représentation des analyses chimiques sur le diagramme de Piper permet d'avoir, une approche vraie de la composition chimique d'une eau.

A partir du diagramme de Piper (Fig 46) nous remarquons que les eaux analysées (15 échantillons) à l'échelle de notre zone d'étude présentent les facies chimiques suivants :

- sulfaté magnésien (66.7 %)
- chloruré magnésien (26.7 %)
- sulfaté sodique (6.6%)

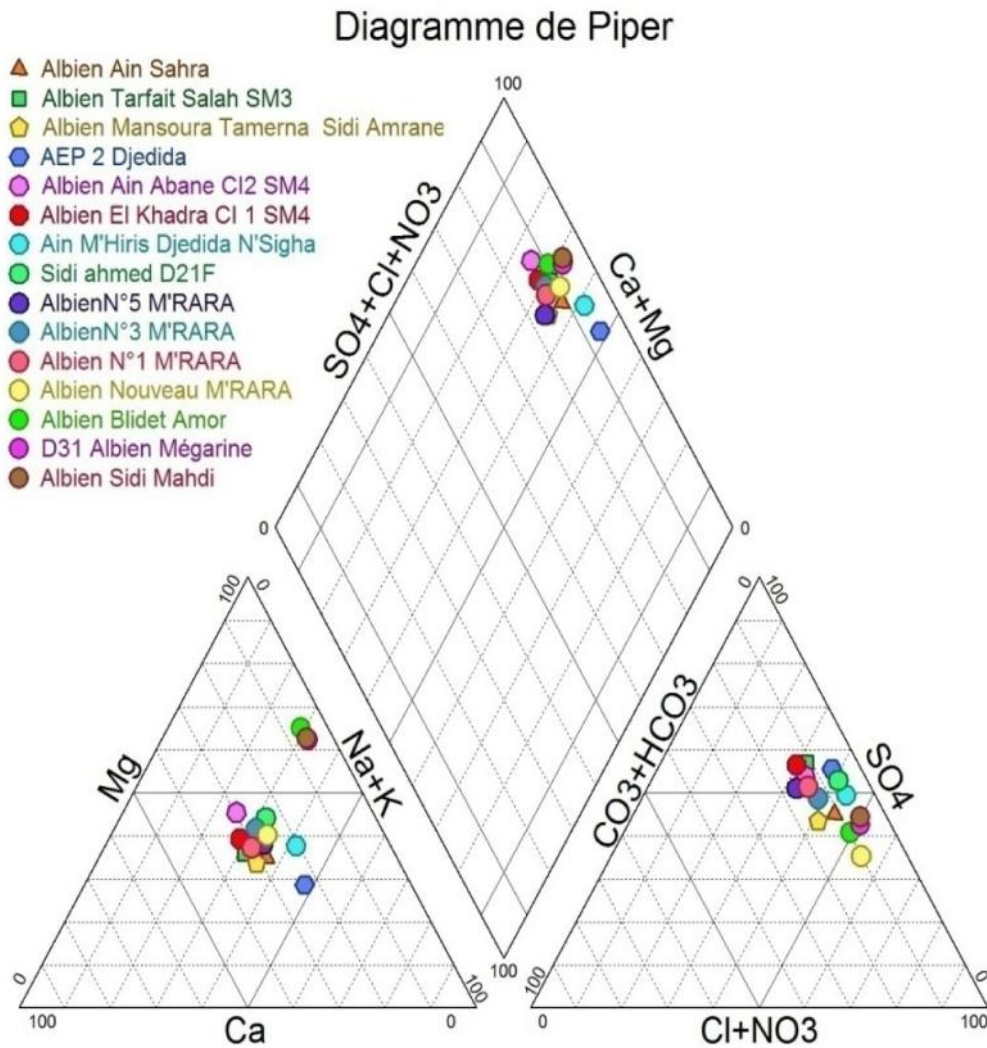


Fig.46 : Diagramme de piper des eaux du continentale intercalaire d'Oued Righ.

Les faciès Sulfato- sodique et magnésien est largement répandu sur l'ensemble de la région, c'est de ce fait le faciès prédominant.

4.2. Qualité des eaux de la nappe continentale intercalaire vis-à-vis à la potabilité

Le tableau 11 montre la variabilité et l'ordre de grandeur des différents variables physico-chimiques caractéristiques des eaux souterraines a l'échelle de tout le secteur étudié, ainsi que les normes de potabilité des eaux de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et les normes algériennes.

Tableau 11 : Statistiques élémentaires des différents paramètres physico-chimiques mesurées pour les eaux de Continentale Intercalaire d'Oued Righ 2017

Paramètre	N.ALG	N.OMS	Min	Max	Moy
Ca ⁺² (mg/L)	200	200	30	237.5	154.21
Mg ⁺² (mg/l)	150	150	115.2	266.2	169.13
Na ⁺ (mg/l)	200	200	140	542.5	243.92
K ⁺ (mg/l)	20	12	11.5	38	30.33
Cl ⁻ (mg/l)	500	250	265	775	479.7
SO ₄ ⁻² (mg/l)	400	250	485	1375	773.66
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	-	300	107	271.45	198.76
Cond(μS.Cm ⁻¹)	2800	1000	2000	5580	3215.33
NO ₃ ⁻ (mg/l)	50	50	0	12.5	2.19

4.2.1. La conductivité électrique : La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface, et séparé l'une de l'autre de 1 cm, exprimés en μS.Cm⁻¹. Les résultats doivent être présentés pour une conductivité équivalente à 25°C. La variation de conductivité est liée à la nature des sels dissous et leur concentration.

Les valeurs de conductivité des eaux de continentale intercalaire varient sensiblement dans notre région d'étude entre 2000 μS.cm⁻¹ et 5580 μS.cm⁻¹. Ces valeurs sont dues essentiellement à la présence des formations riche en sels soluble. Les eaux de continentale intercalaire affichent des conductivités électriques très élevées dépassant la norme algérienne de l'eau potable (2800 μS.cm⁻¹). (Fig 47)

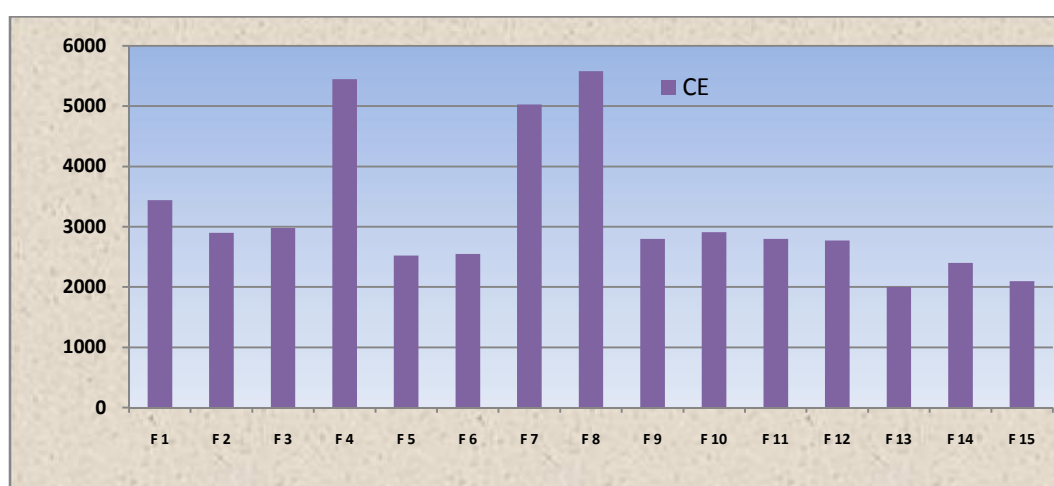


Fig.47 .Histogramme de conductivité de la nappe continentale intercalaire (2017)

4.2.2. Potentiel d'hydrogène : D'après l'histogramme (Fig.48) ci-dessous, le pH des eaux de nappe continentale intercalaire varie entre 7.19 et 8.46. Ces résultats de mesure ne dépassent pas la norme algérienne de l'eau potable (6.5 à 8.5).

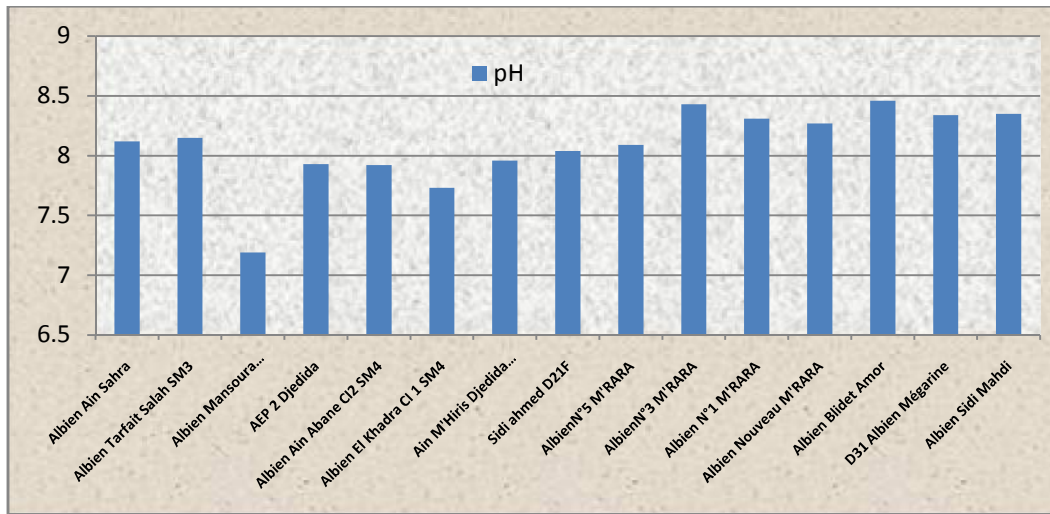


Fig.48.Histogramme de PH de la nappe continentale intercalaire (2017)

4.2.3. Calcium (Ca²⁺) : Il résulte de la dissolution des roches carbonatées en présence du CO₂ dans l'eau, comme il peut provenir des terrains gypseux (CaSO₄ .2H₂O).

Les teneurs de calcium dans les eaux du continentale intercalaire sont comprises entre 30 mg/l (F13) au et 237.50 mg/l (F08). Ces valeurs mesurées ne dépassent pas la norme algérienne de l'eau potable (200 mg/l), sauf dans les forages (F4, F7 et F8).(Fig 49)

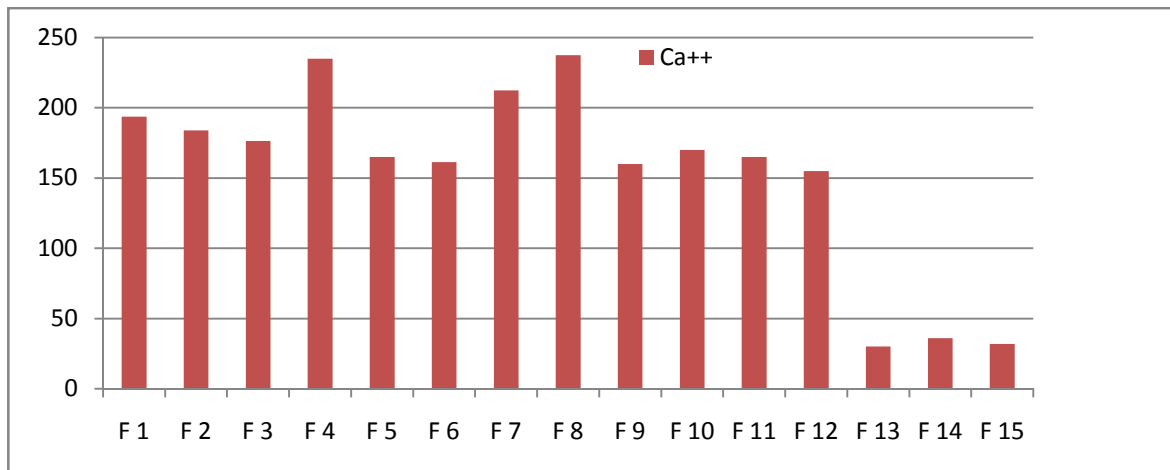


Fig 49 : Histogramme variation de (Ca⁺⁺) on fonctions des forages de la nappe CI de station d'Oued Righ 2017

4.2.4. Magnésium (Mg⁺²) : Il peut provenir de la dissolution des calcaires dolomitiques en présence du CO₂ ou de la dissolution des sels de manganèse dans les terrains gypsifères (MgSO₄).

Les eaux du continentale intercalaire renferment les concentrations de magnésium implorantes varient entre 115.20 mg/l (F03) et 266.20 mg/l (F08). Elles se trouvent à la limite de potabilité des eaux (150 mg/l), d'autres forages présentent des teneurs dépassent la norme de l'OMS et la norme algérienne, il s'agit des forages F4, F7, F8, F13, F14 et F15. (Fig 50)

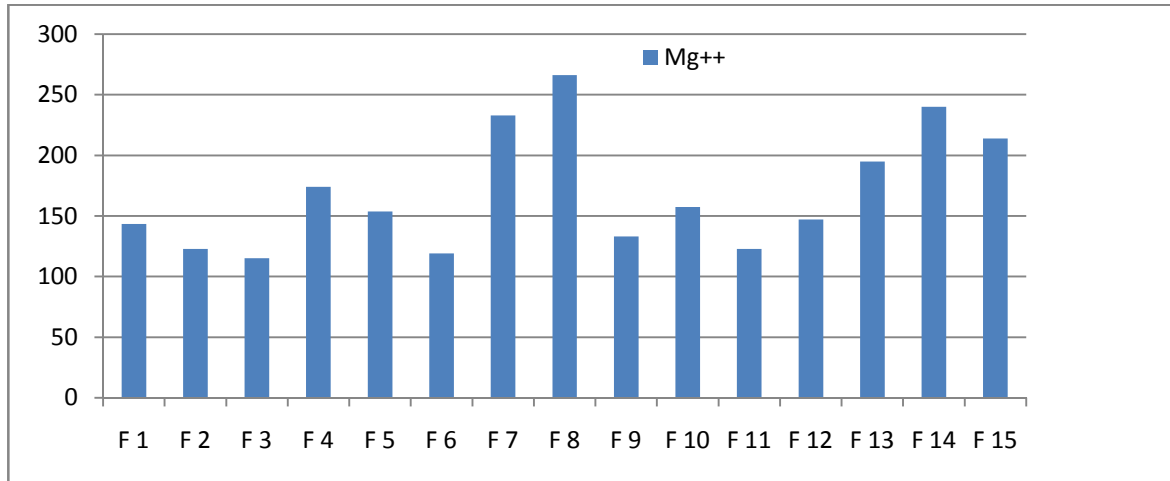


Fig 50 : Histogramme variation de (Mg⁺⁺) on fonctions des forages de la nappe CI de station d'Oued Righ 2017

4.2.5. Sodium et potassium (Na⁺ et K⁺) : Le sodium est toujours présent dans l'eau, provient du lessivage des formations géologique riches en NaCl, il est facilement entraîné en solution en présence de l'eau. Il est beaucoup plus abondant que le potassium qui se trouve essentiellement sous forme de chlorure dans les évaporites (sylvite).

D'après l'histogramme de répartition de sodium la teneur de Na⁺ dans les eaux du continentale intercalaire sont comprises entre 140 mg/l (F05) et 542.50 mg/l (F04). Alors que la teneur de potassium varie entre 11.5 mg/l (F08) et 38 mg/l (F01). (Fig 51et 52)

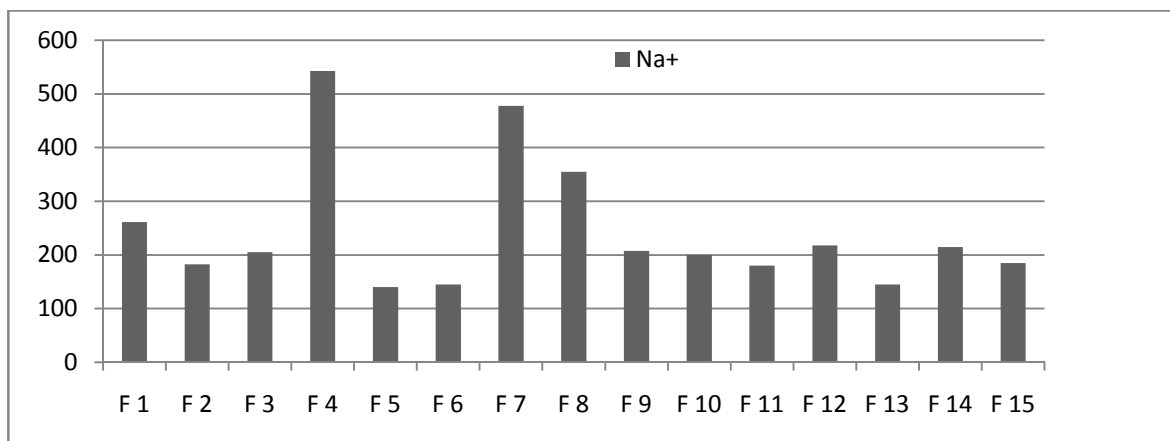


Fig 51 : Histogramme variation de (Na⁺) on fonctions des forages de la nappe CI de station d'Oued Righ 2017

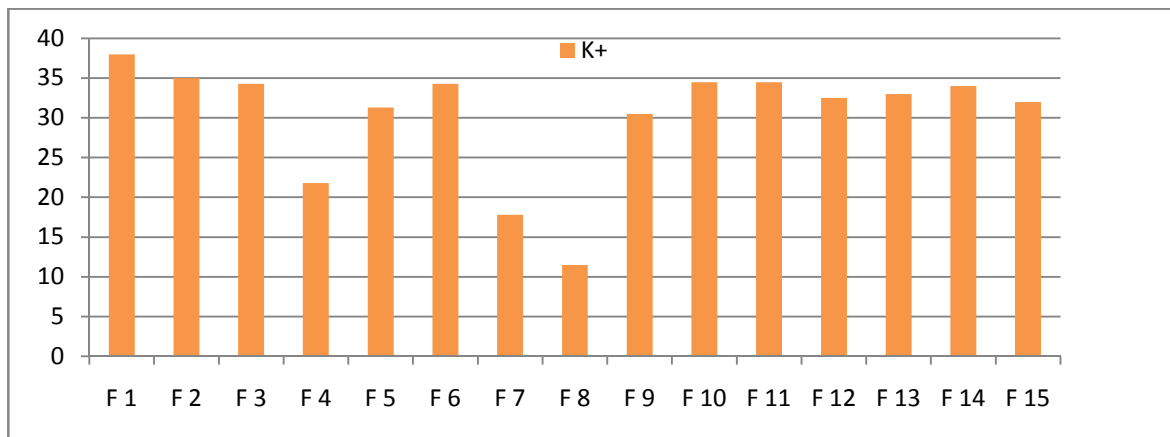


Fig 52 : Histogramme variation de (K⁺) on fonctions des forages de la nappe CI de station d'Oued Righ 2017

4.2.6. Chlorures (Cl⁻) : On les rencontres en grande quantité dans les eaux souterraines qui proviennent de la dissolution du sel par lessivage des terrains salifères. Les teneurs de Chlorures dans les eaux du continentale intercalaire sont comprises entre 265 mg/l (F06) et 775 mg/l (F07). Ces concentration mesurées ne dépassent pas la norme algérienne de l'eau potable qu'est 500 mg/l, sauf pour les forages F1, F4, F7, F8, F14 et F15. (Fig 53)

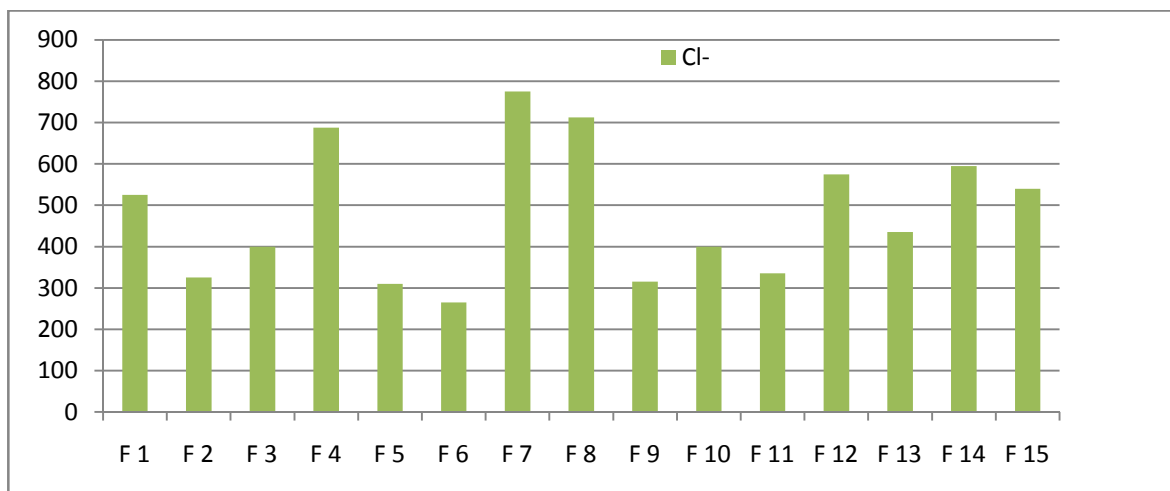


Fig 53 : Histogramme variation de (Cl⁻) on fonctions des forages de la nappe CI de station d'Oued Righ 2017

4.2.7. Sulfates (SO₄⁻²) : Ils sont toujours présents dans les eaux souterraines, leur présence dans l'eau provient de la légère solubilité des sulfates de calcium (CaSO₄.2H₂O) dans les

formations gypseuses. L'excès de la concentration des sulfates donne un gout amer à l'eau, (gout médical).

Les teneurs des sulfates dans les eaux du continentale intercalaire sont comprises entre 485 mg/l (F13) et 1375 mg/l (F04). Ces concentrations mesurées dépassent largement la norme algérienne de l'eau potable qu'est 400 mg/l. (Fig 54)

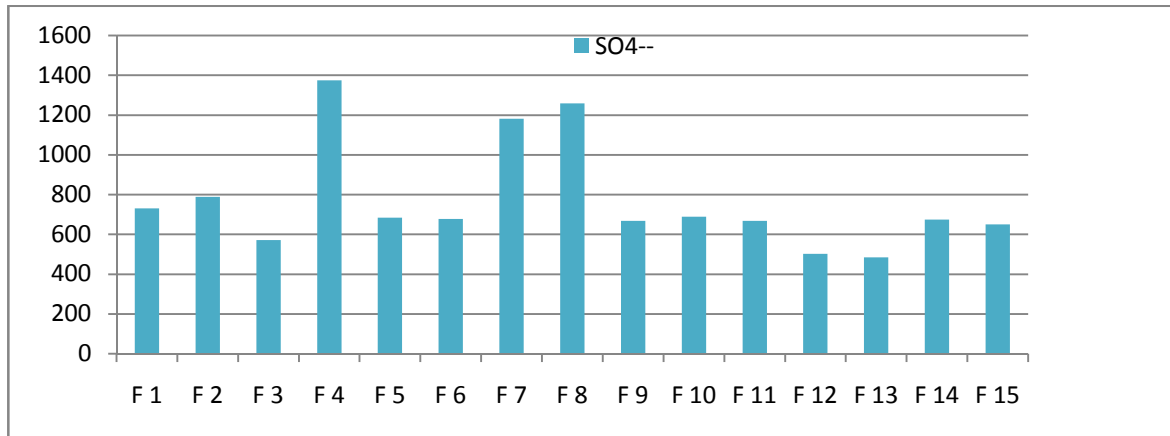
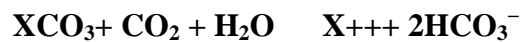


Fig 54 : Histogramme variation de (SO₄²⁻) on fonctions des forages de la nappe CI de station d'Oued Righ 2017

4.2.8. Bicarbonates (HCO₃⁻) : Ils proviennent de la dissolution des roches carbonatées dont l'eau est fonction de la tension en CO₂, de la température, du pH et de la nature lithologique des terrains traversés. Ce sont les résultats de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le CO₂, selon l'équation suivante :



Les teneurs de HCO₃⁻ dans les eaux du continentale intercalaire sont comprises entre 107 mg/l (F15) et 271.45 mg/l (F09). Ces concentrations sont donc ne dépassent pas la norme de l'OMS pour l'eau de boisson.(Fig 55)

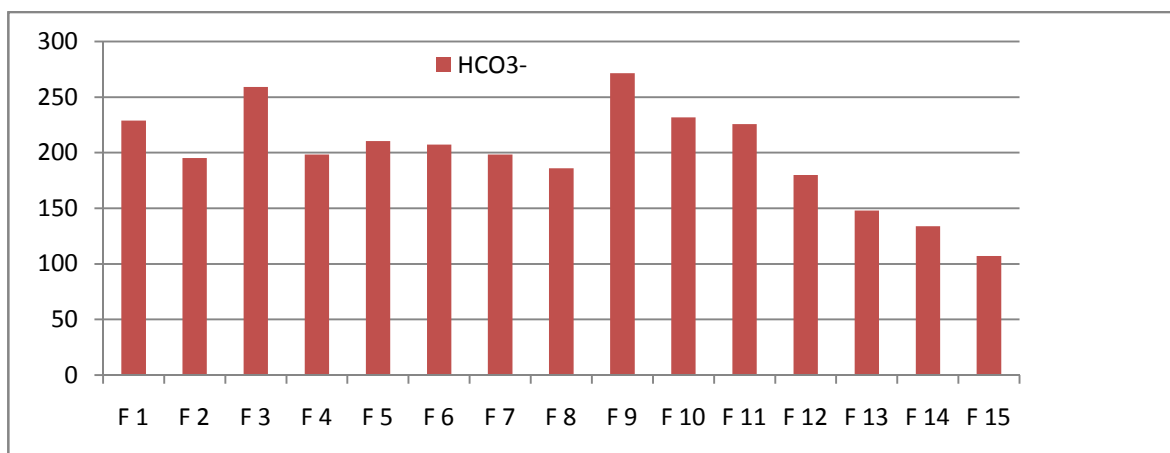


Fig 55 : Histogramme variation de (HCO₃⁻) on fonctions des forages de la nappe CI de station d'Oued Righ 2017

4.2.9. Nitrates (NO_3^-) : La plage de concentration rencontrée s'étale entre 0 mg/l et 12.5 mg/l, tous les puits mesurés présentent des concentrations de nitrate ne dépassent pas la norme algérienne de l'eau potable (50mg/l) .(Fig 56)

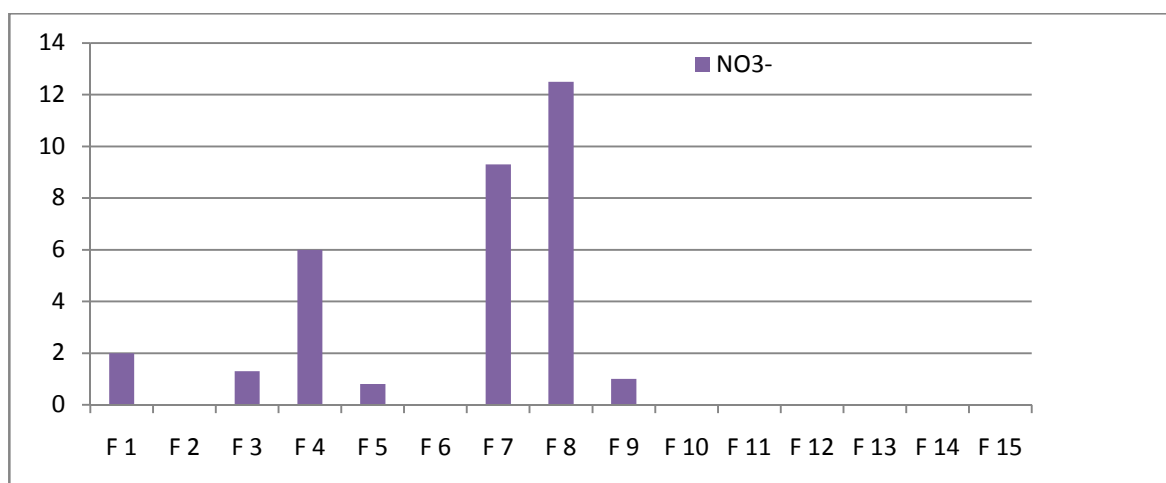


Fig 56 : Histogramme variation de (NO_3^-) on fonctions des forages de la nappe CI de station d'Oued Righ 2017

4.3. Aptitude des eaux à l'irrigation

Le Na^+ , Mg^{+2} et Ca^{+2} sont exprimés en mg/l et la conductivité électrique de l'eau par le $\mu\text{S}/\text{cm}$. La majorité des eaux du Continental Intercalaire, présentent des valeurs de SAR faible et moyennes, ils sont d'une qualité médiocre à mauvaise pour l'irrigation. Ces eaux s'arrangent selon deux classes (Fig.57) :

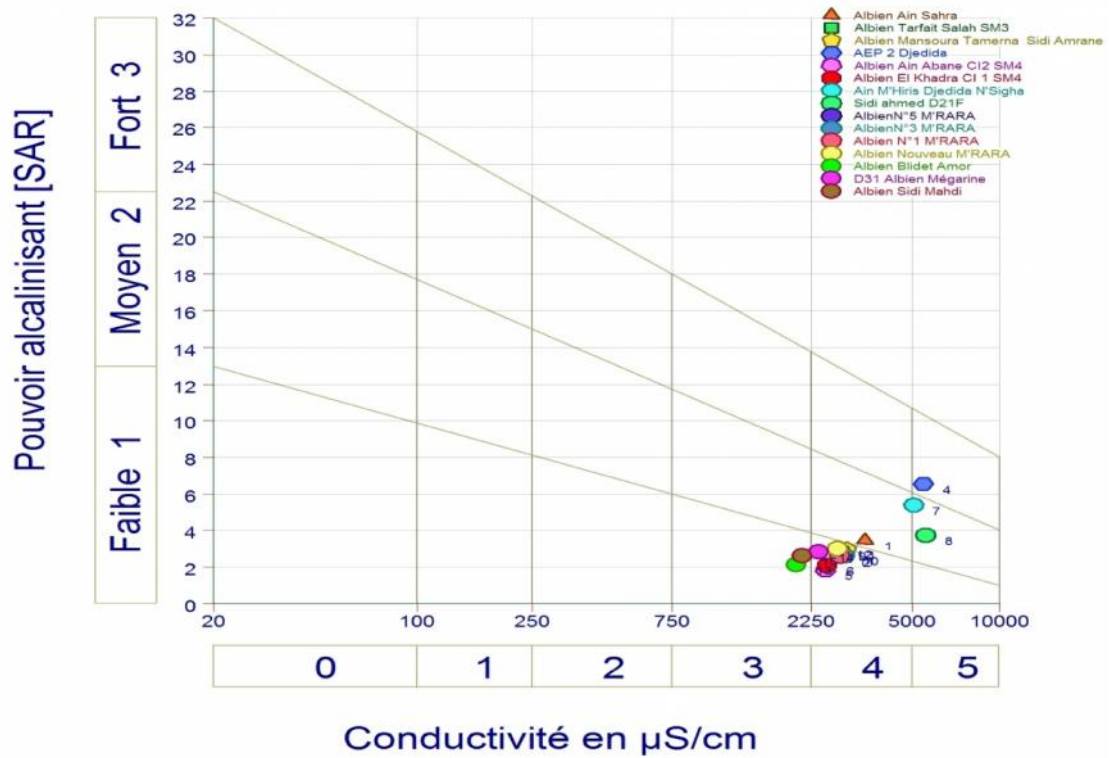


Fig.57 : Diagramme de Richards des eaux de la nappe Continentale Intercalaire.

Eaux médiocre : C₄-S₁, C₄-S₂ : eau fortement minéralisée pouvant convenir à l’irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.

Conclusion :

L’interprétation des analyses chimiques des eaux de la nappe phréatique montre la dominance des faciès évaporitiques (sulfaté sodique, chloruré sodique, sulfaté magnésien et chloruré magnésien). Elles sont non potables, très minéralisées. Les concentrations des éléments majeurs dépassent les normes recommandées par l’OMS et les normes algériennes pour l’eau potable. Ces eaux sont de qualité médiocre à mauvaise pour l’irrigation, car leurs représentation sur le diagramme de Richards, montre qu’elles s’arrangent selon trois classes; C₄S₂ et C₄S₃.

Les eaux des aquifères du complexe terminal sont dominées par deux faciès ; sulfaté sodique (42.8%) et chloruré magnésien (35.8%). La conductivité électrique des eaux varie entre 2120 et 8670 µS.cm⁻¹.Quant aux concentrations des éléments majeurs sont souvent supérieurs aux normes recommandées. Ces eaux sont de qualité médiocre à mauvaise pour l’irrigation, car

leurs représentation sur le diagramme de Richards, montre qu'elles s'arrangent selon trois classes; C_4S_1 , C_4S_2 et C_4S_3 .

Les eaux des aquifères du Continental Intercalaire, présentent trois facies ; sulfaté magnésien (66.7%), chloruré magnésien (26.7 %) et sulfaté sodique (6.6%). Malgré que la teneur en nitrates est faible, elles sont de mauvaise qualité physico-chimique en référence aux normes de l'OMS et aux normes algériennes pour l'eau potable, elles nécessitent un traitement avant l'utilisation. Elles sont aussi en majorité de qualité médiocre à mauvaise pour l'irrigation, elles se trouvent dans les classes de C_4S_2 et de C_4S_3 dans le diagramme de Richards.

Conclusion générale

La vallée d'Oued Righ se situe au Sud-Est de l'Algérie. Elle est fait partie du système aquifère du Sahara septentrional (SASS), ce dernier est constitué de trois aquifères, un aquifère superficiel libre, l'aquifère de Complexe Terminal (CT) et l'aquifère de Continentale Intercalaire (CI).

L'aquifère superficiel est contenu dans les sables fins à moyens, d'âge Quaternaire, sa puissance moyenne est d'ordre d'une vingtaine de mètres, son alimentation est faite par l'infiltration des eaux d'irrigation et des eaux usées urbaines.

L'aquifère complexe terminal regroupe trois nappes d'eau; La première et la deuxième nappe sont constituées de sable, sable argileux, de gravier et grès, d'âge Mio-pliocène. La troisième nappe du Sénonien-Eocène est constituée des roches carbonates de l'Eocène inférieur et de Sénonien supérieur. Le sens de l'écoulement général des eaux est de sud vers le nord (chott Merouane).

L'étude climatologique montre que le climat de la zone d'étude est saharien avec un hiver chaud. La précipitation moyenne interannuelle est d'ordre de 3.42 mm, le mois de mars est le plus arrosé avec 7.14 mm, et le mois de juillet est le moins arrosé avec 0.41 mm. La température moyenne annuelle est 21.97 °C, elle est maximale au mois de juillet avec une valeur de 34.53°C et minimale au mois de janvier avec une valeur de 10,81 °C. Le bilan hydrique de la zone d'étude est déficitaire, conséquence d'une faible précipitation et d'une forte évapotranspiration, la réserve facilement utilisable est nulle durant les douze mois de l'année et la recharge par la pluie efficace est négligeable.

L'aquifère Continental Intercalaire est le plus profond, constitué des sables et des grès avec des intercalations d'argiles, d'âge Barrémien et Albien, son profondeur dépasse 1600 m.

L'interprétation des analyses chimiques des eaux de la nappe phréatique montre la dominance des faciès évaporitiques (sulfaté sodique, chloruré sodique, sulfaté magnésien et chloruré magnésien). Elles sont non potables, très minéralisées. Les concentrations des éléments majeurs dépassent les normes recommandées par l'OMS et les normes algériennes pour l'eau potable. Ces eaux sont de qualité médiocre à mauvaise pour l'irrigation.

Les eaux des aquifères du complexe terminal sont dominées par deux faciès ; sulfaté sodique (42.8%) et chloruré magnésien (35.8%). La conductivité électrique des eaux varie entre 2120 et 8670 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Quant aux concentrations des éléments majeurs sont souvent supérieurs aux normes recommandées. Ces eaux sont de qualité médiocre à mauvaise pour l'irrigation.

Les eaux des aquifères du Continental Intercalaire, présentent trois facies ; sulfaté magnésien (66.7%), chloruré magnésien (26.7 %) et sulfaté sodique (6.6%). Malgré que la teneur en nitrates soit faible, elles sont de mauvaise qualité physico-chimique en référence aux normes de l'OMS et aux normes algériennes pour l'eau potable, elles nécessitent un traitement avant l'utilisation. Elles sont aussi en majorité de qualité médiocre à mauvaise pour l'irrigation.

Référence Bibliographie

ALAIT, HOSIN. (2016) : Etude hydrogéologique et hydrochimique de la région de Taïbet (SE Algérie). Université Kasdi Merbah –Ouargla-.

ANRH: Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (Ouargla 2017).

ACHOUR. S., (1990) : La qualité des eaux du Sahara septentrional en Algérie. Etude de l'excès de fluor. Tribune de l'eau.

ACHOUR. S., YUCEF. L., (2001) : Excès des fluorures dans les eaux du Sahara septentrional oriental et possibilité de traitement.

BELKSIER MOHAMED SALAH.(2009) : Hydrogéologie et hydrochimie de la nappe superficielle dans la région de l'Oued Righ et l'évaluation de sa vulnérabilité. Université Badji Mokhtar –Annaba-.

BETTAHR, ASMA. (2013) : Aspects qualité des eaux de la région de Touggourt (nappe de complexe terminale et continental intercalaire) Sud –Est de l'Algérie. Université Kasdi Merbah –Ouargla-.

BOUNEGAB BOUBAKEUR, KHADRAOUI ADEL. (2014) : Reconnaissance géologique de l'Aquifère du Mio-Pliocène de la région de Touggourt. Université Kasdi Merbah – Ouargla-.

BOUSELSAL,BOUALAM. (2017) : Groundwater quality in aride région :the case of Hassi Messaouad région (SE ALGERIA)

BUSSON. G., (1970) : Le Mésozoïque saharien. 2ème partie : Essai de synthèse des données des sondages algéro-tunisiens. Edit., Paris, Centre Rech. Zones Arides, Géol., 11, 811p. Ed. C.N.R.S.

BUSSON. G., (1971) : Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. Edit., Paris, 464p.

BOUZNADA IMED EDDINE.(2017) : Ressources en eau et gestion intégrée dans la vallée de Oued Righ (Sahara septentrional algérienne). Université Badji Mokhtar –Annaba-.

CASTANY. G (1982) : Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Dunod –univ. Bordas - Paris.

CORNET. A (1964) : Introduction à l'hydrogéologie du sahara.

CHAIB.W, BOUCHAHM.N.(2013) : Caractérisation hydrogéochimique eaux géothermales de la nappe du continental intercalaire de la région d'Oued Righ. Université Badji Mokhtar – Annaba-.

DUBIEF J. (1953) : Le climat du Sahara (Tome 1).

FINNECHE ABDALLAH (2015) : Qualité des eaux des aquifères de Ghardaia (NE Algérie). Université Kasdi Merbah –Ouargla.

FABRE. J., (1976) : Introduction à la géologie du Sahara d'Algérie et des régions voisines. SNED, Alger, 421p.

GHENDIR, LAHCEN (2016) : Suivis et étude des forages hydrauliques de la région d'Oued Righ .Université Kasdi Merbah –Ouargla-.

HALLAL FAYCEL, OURIHANE DALILA (2004) : Etude hydrogéologique du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal de la région de Touggourt. Aspect hydrochimique et problèmes techniques posés

LATRECHE HADJ BAKIR (2015) : Contribution a l'étude hydrochimique des eaux des lacs de la valle d'Oued Righ .Université Kasdi Merbah –Ouargla.

MARGAT. J., (1990) : Les gisements d'eau souterraine.

MIMOUNI SALIHA , ZOUBIEDI BASMA (2014) : Problème de vulnérabilité des eaux souterraines de la région d'el-oued. Université Hama Lakheder d'el Oued.

NECIB ABDELKRIM, TOUAMRIA ASMA (2011) : Qualité des eaux de la vallée d'Oued Righ .Université Kasdi Merbah –Ouargla.

OSS (Observatoire du Sahara et du Sahel),(2003) : Système Aquifère du Sahara Septentrional, volume 2: Hydrogéologie.284p.

Ould baba sy M. (2005) : Recharge et paléorecharge du système aquifère du Sahara septentrional. Thèse de Doctorat en Géologie. Faculté des Sciences de Tunis. Tunisie. 277p.

UNESCO. (1972) : Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. Projet ERESS , Rapport final, 7 plaquettes, Paris, France.

SERRAOUI .A, SERRAYE .A(2011) : Etude du potentiel hydraulique du continental intercalaire dans la région de Touggourt. Université Kasdi Merbah –Ouargla.

:

يقع وادي ريف في الجنوب الشرقي من الجزائر. وهي جزء من نظام مستودعات المياه الجوفية في الصحراء الشمالية (SASS), ويتكون هذا الأخير من منطقة مكونة من ثلاثة مكامن للمياه الجوفية , حوض المياه الجوفية السطحي , مياه المتداخل القاري (CT) , وطبقة مياه المركب النهائي (CI) إن تفسير البيانات الكيميائية لمياه الطبقات الصخرية الثلاثة يبين أنها تهيمن عليها السوائل التخيرية. إن طبقة المياه الجوفية السطحية شديدة التمدن , وتركيزات العناصر الرئيسية تتجاوز المعايير التي أوصت بها منظمة الصحة العالمية والمعايير الجزائرية لمياه الشرب. هذه المياه ذات نوعية متوسطة إلى سيئة للري. إن مياه طبقة المتداخل القاري (CT) , ومياه طبقة المركب النهائي (CI) , هي ذات جودة فيزيائية كيميائية ضعيفة مع الإشارة إلى معايير منظمة الصحة العالمية لمياه الشرب , وهي تتطلب المعالجة قبل الاستخدام , هم أيضا في الغالب فقيرة جدا لأغراض الري.

الكلمات المفتاحية : وادي ريف , , طبقة المركب النهائي , , نوعية المياه.

Résumé:

La vallée d'Oued Righ se situe au Sud-Est de l'Algérie. Elle fait partie de système aquifère du Sahara septentrional (SASS), ce dernier est constitué dans la région de trois aquifères, l'aquifère superficiel, l'aquifère de Complexe Terminal (CT) et l'aquifère de Continental Intercalaire (CI). L'interprétation des données chimiques des eaux des trois aquifères montres qu'elles sont dominées par les faciès évaporitiques. L'aquifère superficiel est très minéralisé, les concentrations des éléments majeurs dépassent les normes recommandées par l'OMS et les normes algériennes pour l'eau potable. Ces eaux sont de qualité médiocre à mauvaise pour l'irrigation. Les eaux du complexe terminal et Continental Intercalaire sont de mauvaise qualité physico-chimique en référence aux normes de l'OMS pour l'eau potable, elles nécessitent un traitement avant l'utilisation. Elles sont aussi en majorité de qualité médiocre à mauvaise pour l'irrigation.

Mots clés: Oued Righ, CT, CI, irrigation, potable. Qualité des eaux .

Abstract :

The Oued Righ valley is located in the south-east of Algeria . It is part of the Northern Sahara Aquifer Système (SASS) , the latter consisting in the region of three aquifers , the superficial aquifer, the Terminal Complex aquifer (CT) and the Continental Intercalaire (CI) aquifer .The interprétation of the chemical data of the waters of the three aquifer shows that they are dominated by evaporitic facies .The superficial aquifer is highly mineralized , the concentrations of major elements exceed the standards recommended by the WHO and the Algerian standards for drinking water. These waters are of mediocre quality to bad for irrigation .The waters of the terminal complex and Continental Intercalaire are of poor physico-chemical quality with reference to WHO standards for drinking water , they require treatment before use .They are also mostly poor to poor for irrigation.

Key words : Oued Righ , CT, CI , irrigation , drinking. Quality the water.