

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université hamma lakhdhar d'El-Oued

Faculté des Sciences et technologie

Département d'hydraulique et de génie civil

MEMOIR DE FIN D'ETUDE

En vue l'obtention du diplôme master (LMD) professionnel en hydraulique

Option : Conception et diagnostic du système d'AEP et d'Assainissement

THEME

**Etude comparative de la qualité des eaux
du Complexe terminal et du Continental
Intercalaire aux fins d'utilisation mixte
AEP-irrigation dans la zone d'Oued-Righ**

Présenté par :

- RAHAL Mohammed El-Mehdi
- BELAID Larbi

Encadrée par :

M^r : GUESSEIR Belgacem

Année universitaire 2018/2017

Dédicace

Je dédie ce travail

A dieu le tout miséricorde dieux,

A mon Père qui le donne à moi tous la force pour terminer mes études,

Je le souhaite la long vie.

A Ma très chers (MERE) Et ce chers (GRAND-MERE) qui m'a apporté

sans cesse amour, soutien et encouragement, et qu'elle trouve ici
l'expression

de mes vives reconnaissances.

Mes très chers frères.

A toute la famille RAHAL petits et grands.

A tous mes amis : Arbi BELAID, Zakaria RAHAL, Mohammed Salah
GUERRICHA, Ezzedine HOMMADI.

Et mes collègues groupent d'hydraulique.

Mohammed El-Mehedi

Dédicace

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde dans son vaste paradis, à toi mon père.

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, ma vie et mon bonheur, maman que j'adore.

Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour,

à tous mes

frères et mes sœurs, je dédie ce travail dont le grand plaisir leurs revient en premier lieu pour leurs conseils, aides, et encouragements.

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnaient durant mon chemin d'études supérieures, mes aimables amis, collègues d'étude.

LARBI

Remerciement

D'abord, nous remercions fort bien dieu qui donne l'opportunité d'apprendre langue différente de la mienne, qui m'a permis, de rédiger ce mémoire.

Nous remercions à tous les enseignants et les étudiants du département d'hydraulique.

Plus profonde gratitude va à monsieur M^r. Abdelmonem.M

Surtout ma encadreur monsieur M^r.GUESSEIR.B

Sans oublier toute l'équipe d'A.D.E d'El-Oued.

En fin, nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail et ceux qui travaillent pour la science et le pays.

Résumé :

Ce travail traite la problématique de la qualité des eaux des nappes souterraines du C.T et du C.I dans la région de l'Oued-Righ aux fins d'utilisation dans l'alimentation humaine et l'irrigation. Pour cela, les résultats obtenus font ressortir que les eaux albiennes sont plus ou moins acceptables pour la boisson alors que celle du C.T sont médiocres et nécessitent des traitements. Quant à leur utilisation dans le domaine agricole, le C.T est le plus indiqué vu les teneurs appréciables des éléments fertilisants notamment d'azote et phosphore. Les eaux du C.I doivent être au préalable refroidies et des traitements sont indispensables pour les eaux de ces nappes afin de corriger les taux élevés des différents éléments chimiques et physiques. Enfin on doit solutionner les problèmes d'agressivité, de dureté élevée, d'entartrage, etc..., afin de rendre ces eaux qualitativement normatives.

Mots clé : Nappes souterraines - continentale intercalaire - complexe terminale - agressivité - dureté - minéralisation.

Abstract :

This work deals with the water quality problem of the underground aquifers of C.T and C.I in the Oued-Righ region for use in human nutrition and irrigation. For this, the results obtained show that Albian waters are more or less acceptable for drinking while that of the C.T are poor and require treatment. As for their use in the agricultural field, the C.T is most indicated considering the appreciable contents of the fertilizing elements in particular of nitrogen and phosphorus. The waters of C.I must be previously cooled and treatments are essential for the waters of these aquifers in order to correct the high levels of the different chemical and physical elements. Finally we must solve the problems of aggressiveness, high hardness, scaling, etc ..., to make these waters qualitatively normative.

Keywords : Underground tablecloths - continental intercalary - terminal complex - aggressiveness - hardness - mineralization.

ملخص :

يتناول هذا العمل مشكلة نوعية المياه في مستودعات المياه الجوفية في C.T و C.I في منطقة واد ريغ لاستخدامها في تغذية الإنسان والري. لهذا تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن مياه ألبان مقبولة إلى حد ما أو أكثر للشرب بينما مياه C.T فقيرة وتتطلب العلاج. أما بالنسبة لاستخدامها في المجال الزراعي، فيتم الإشارة إلى أن C.T هو الأكثر مراعاةً للمحتويات البارزة لعناصر التسميد خاصة النيتروجين والفوسفور. يجب أن تكون مياه C.I مبردة من قبل وأن تكون المعالجات ضرورية لمياه طبقات المياه الجوفية هذه من أجل تصحيح المستويات العالية للعناصر الكيميائية والفيزيائية المختلفة. أخيراً، يجب أن نحل مشاكل العدوانية، الصلابة العالية، التدرج، إلخ...، لجعل هذه المياه معيارية نوعياً.

كلمات مفتاحية : الطبقات الجوفية – الطبقة الاخيرة (C.I) - الطبقة الثانية (C.T) - عدوانية - نقل - تمعدن.

Liste des abréviations

C.I : Continental intercalaire.

C.T : Complexe terminal.

I.N.R.A.A : Institut national des recherches agronomiques algérien.

O.M.S : Organisation mondial de la santé.

A.N.R.H : Agence nationale des ressources hydriques.

U.N.E.S.C.O : United nation education science culture and organization.

O.S.S : Observation du sahara et du sahel.

S.A.S.S : Système aquifère du Sahara septentrional.

E.R.E.S.S : Etude des ressources en eau du Sahara septentrional.

N.A : Normes algériennes.

F.A.O : Food and agriculture organization

N.S : Niveau statique.

A.E.P : Alimentation en eau potable.

D.R.E : Direction des ressources des eaux.

A.D.E : Algérienne des eaux.

S.A.R : Sodium absorption ratio.

B.R.G.M : Bureau de recherches géologique et minières.

C.E.E : Comite européen des eaux.

Sommaire

Introduction.....	01
-------------------	----

CHAPITRE I : Présentation de la région d'étude

I.1. présentation de la région d'étude.....	03
I.1.1. Localisation de la région d'Oued-Righ.....	03
I.1.2. Climatologie.....	05
I.1.2.1. Données météorologiques de la région d'Oued-Righ.....	05
I.1.2.1.1. Température.....	06
I.1.2.1.2. Précipitations.....	06
I.1.2.1.3. Humidité relative de l'air.....	07
I.1.2.1.4. Le vent.....	07
I.1.2.1.5. Evaporation.....	08
I.1.2.1.6. durée d'insolation.....	08
I.1.2.2. Climagramme d'Emberger.....	09
I.1.2.3. Indice d'aridité.....	09
I.1.2.4. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de l'Oued-Righ.....	10
I.1.3. Topographie.....	11
I.1.4. Hydrogéologie.....	12
I.1.5. Aperçu socio-économique.....	13
I.1.6. Conclusion.....	14

CHAPITRE II: Synthèse bibliographique.

II.1. Géologie régionale d'oued-Righ.....	16
II.1.1. Les formations de l'ère Secondaire.....	16
Crétacé.....	16
Néocomien.....	17
Le Barrémien.....	17
L'Aptien.....	17

L'Albien.....	17
Le Vraconien.....	18
Le Cénomaniens.....	18
Le Turonien.....	18
Le Sénonien.....	18
II.1.2. Les formations de l'Ere Tertiaire.....	19
L'Eocène.....	19
L'Eocène inférieur (carbonaté).....	19
L'Eocène moyen (évaporitique).....	19
Le Mio Pliocène.....	21
II.1.3. Les formations de l'ère Quaternaire.....	21
II.2. Tectoniques.....	21
II.3. le système aquifère et l'eau souterraine de la vallée Sud d'Oued Righ.....	22
II.3.1. Nappe phréatique.....	24
II.3.2. Nappe du complexe terminal (le Pontien C.T).....	24
II.3.2.1. La première nappe des sables C.T ₁	24
II.3.2.2. La deuxième nappe C.T ₂	25
II.3.2.3. La nappes des calcaires du Sénonien Eocène C.T ₃	25
II.3.2.4. Piézométrie de la nappe complexe terminal.....	26
II.3.3. La nappe du continental intercalaire (albienne C.I).....	27
II.3.3.1. Limites et morphologie du continental intercalaire.....	27
II.3.3.2. Toit du réservoir.....	28
II.3.3.3. Alimentation.....	28
II.3.3.4. Exutoires.....	28
II.3.3.5. Épaisseur du réservoir.....	29
II.3.3.6. Piézométrie de la nappe continental intercalaire.....	29
II.4. Qualité des eaux.....	31

II.4.1. Qualité des eaux potables.....	31
II.4.1.1. Réglementation concernant les eaux destinées à la Consommation humaine.....	31
II.4.1.2. Contrôle de qualité de l'eau.....	32
II.4.2. Qualité des eaux d'irrigation.....	35
II.4.2.1. Qualité des eaux albiennes pour l'irrigation.....	35
II.4.2.1.1. Température.....	35
II.4.2.1.2. Salinité.....	36
II.5. Conclusion.....	39

Chapitre III : Matériels & Méthodes

III.1. Choix des stations d'étude.....	41
III.2. Conditions et mode d'échantillonnage.....	43
III.3. Appareils utilisés et mode opératoire.....	43
III.3.1. Le potentiel hydrogène "PH".....	43
III.3.2. La conductivité électrique.....	44
III.3.3. La Température.....	45
III.3.4. Calcium.....	45
III.3.5. Magnésium.....	46
III.3.6. Sodium.....	46
III.3.7. Potassium.....	47
III.3.8. Anhydrique carbonique.....	47
III.3.9. Sulfates.....	47
III.3.10. Chlorures.....	48

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. Introduction.....	50
IV.2. Identification des faciès chimiques des eaux.....	51
IV.2.1. Diagramme de piper.....	51

IV.2.2. Diagramme de Schoeller- Berkaloff.....	54
IV.2.3. Aptitude des eaux à l'irrigation.....	56
IV.3. Les paramètres physico-chimiques.....	58
IV.3.1. Le potentiel hydrogène (pH).....	59
IV.3. 2. La température (°C)	60
IV.3.3. La conductivité électrique (C.E)	61
IV.3.4. Titre Hydrotimétrique	63
IV.3.5. Résidu sec (R.S).....	64
IV.3.6. Le calcium Ca^{2+}	65
IV.3.7. Le magnésium Mg^{2+}	66
IV.3.8. Le sodium Na^{+}	68
IV.3.9. Le potassium K^{+}	69
IV.3.10. Le chlorures Cl^{-}	70
IV.3.11. Les sulfates SO_4^{-}	71
IV.3.12. Les bicarbonates HCO_3^{-}	73
IV.3.13. Les nitrates NO_3^{-}	74
IV.3.14. Les nitrites NO_2^{-}	75
IV.4. Conclusion.....	77
Conclusion générale.....	79

Liste des tableaux

Tableau.I.01 : Données climatiques de la région d'Oued-Righ pour la période 2008-2017 (O.N.M. de Touggourt, 2018).....	05
Tableau.II.01 : Normes des paramètres physico-chimique concernant les eaux de boisson selon la CEE (1985), l' OMS (2012) et NA (2012).....	34
Tableau.II.02 : Normes extrêmes limitées aux eaux d'irrigation source : *(O.M.S). (2012),**F.A.O.(2003).....	38
Tableau.III.01 : Les forage de complexe terminal C.T choisis.....	42
Tableau.III.02 : Les forage de complexe intercalaire C.I choisis.....	42
Tableau.IV.01 : Relatif aux analyses physico-chimique de la nappe Albien.....	52
Tableau.IV.02 : Relatif aux analyses physico-chimique de la nappe Complexe Terminal.....	52
Tableau.IV.03 : Classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation par la méthod du S.A.R (in M.Louvrier 1976 -B.R.G.M-).....	57
Tableau.IV.04 : Variations du PH.....	59
Tableau.IV.05 : Variations de la Température (°C).....	61
Tableau.IV.06 : Variations de la conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$).....	62
Tableau.IV.07 : duretés des eaux de la région du Oued-Righ (mg/l).....	64
Tableau.IV.08 : Variation de Résidu sec (mg/l).....	65
Tableau.IV.09 : Variation de calcium Ca^{++} (mg/l).....	66
Tableau.IV.10 : Variation de Magnésium Mg^{++} (mg/l).....	67
Tableau.IV.11 : Variation de Sodium Na (mg/l).....	68
Tableau.IV.12 : Variation de Potassium K^+ (mg/l).....	70
Tableau.IV.13 : Variation de Chlorure Cl (mg/l).....	71
Tableau.IV.14 : Variation des Sulfates (mg/l).....	72
Tableau.IV.15 : Variation des bicarbonates (mg/l).....	73
Tableau.IV.16 : Variation des Nitrates NO_3 (mg/l).....	74
Tableau.IV.17 : Variation des Nitrites NO_2 (mg/l).....	76

Liste des figures

Figure.I.01 : Carte de situation géographique de la région d'Oued-Righ.....	04
Figure.I.02 : Températures moyennes mensuelles à la station de Touggourt (2008-2017)....	06
Figure.I.03 : Précipitations moyennes mensuelles à la station de Touggourt	06
Figure.I.04 : Humidités moyennes mensuelles à la station de Touggourt.....	07
Figure.I.05 : Vitesses moyennes mensuelles des vents à la station de Touggourt.....	07
Figure.I.06 : Evaporations moyennes mensuelles à la station de Touggourt	08
Figure.I.07 : Insolation moyennes mensuelles à la station de Touggourt.....	08
Figure.I.08 : place de la région d'Oued-Righ dans le climagramme d'Emberger.....	10
Figure.I.09 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson de la region de Oued-Righ (2008-2017).....	11
Figure.II.01 : Log stratigraphique synthétique schématique de la région de Touggourt (A.N.R.H.,2011).....	20
Figure.II.02 : Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrionale (U.N.E.S.C.O., 1972)	23
Figure.II.03 : Carte des ressources en eau souterraines (Continental Intercalaire et Complexe Terminal).....	23
Figure.II.04 : Coupe hydrogéologique du complexe terminal de la région d'Oued-Righ (A.N.R.H., 2008).....	26
Figure.II.05 : Carte piézométrique de la nappe du complexe terminal (S.A.S.S.,2002).....	27
Figure.II.06 : Coupe hydrogéologique transversale montrant le toit et la surface piézométrique du C.I (U.N.E.S.C.O., 1972).....	28
Figure.II.07 : carte piézométrique de la nappe du continental intercalaire (d'après S.A.S.S., 2002).....	30
Figure.III.01 : Localisation des points d'eau échantillonnés de la région.....	41
Figure.IV.01 : Le diagramme de piper des eaux de la nappe CT (région d'Oued-Righ,Avril 2018).....	53
Figure.IV.02 : Le diagramme de piper des eaux de la nappe CI (région d'Oued-Righ, Avril 2018).....	53

Figure.IV.03 : Le diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la nappe CT (région d'Oued-Righ,Avril 2018).....	55
Figure.IV.04 : Le diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la nappe CI (région d'Oued-Righ,Avril 2018).....	55
Figure.IV.05 : Classification des eaux de la nappe CT pour l'irrigation selon la méthode de SAR (région d'Oued-Righ,Avril 2018).....	57
Figure.IV.06 : Classification des eaux de la nappe CI pour l'irrigation selon la méthode de SAR (région d'Oued-Righ,Avril 2018).....	58
Figure.IV.07 : Variations du pH.....	60
Figure.IV.08 : Variations du pH.....	60
Figure.IV.09 : Variations de la température (C°).....	61
Figure.IV.10 : Variations de la conductivité électrique (µS/cm).....	62
Figure.IV.11 : Variations de la conductivité électrique (µS/cm).....	63
Figure.IV.12 : Variations des duretés des eaux de la région de l'Oued-Righ (mg/l).....	64
Figure.IV.13 : Variation de Résidu sec (mg/l).....	65
Figure.IV.14 : Variation de calcium Ca ⁺⁺ (mg/l).....	66
Figure.IV.15 : Variation de calcium Ca ⁺⁺ (mg/l).....	66
Figure.IV.16 : Variation de Magnésium Mg ⁺⁺ (mg/l).....	67
Figure.IV.17 : Variation de Magnésium Mg ⁺⁺ (mg/l).....	68
Figure.IV.18 : Variation de Sodium Na ⁺ (mg/l).....	69
Figure.IV.19 : Variation de Sodium Na ⁺ (mg/l).....	69
Figure.IV.20 : Variation de Potassium K ⁺ (mg/l).....	70

Figure.IV.21 : Variation de Chlorure (mg/l).....	71
Figure.IV.22 : Variation de Chlorure (mg/l).....	71
Figure.IV.23 :Variation des Sulfates (mg/l).....	72
Figure.IV.24 : Variation des Sulfates (mg/l).....	72
Figure.IV.25 : variation des bicarbonates HCO_3^- (mg/l).....	73
Figure.IV.26 : variation des bicarbonates HCO_3^- (mg/l).....	74
Figure.IV.27 : Variation des Nitrates NO_3^- (mg/l).....	75
Figure.IV.28 : Variation des Nitrates NO_3^- (mg/l).....	75
Figure.IV.29 : Variation des Nitrates NO_2^- (mg/l).....	76
Figure.IV.30 : Variation des Nitrates NO_2^- (mg/l)	76

Liste des photos

Photo.III.01 : Appareil PH mètre.....	44
Photo.III.02 : Appareil conductivimètre.....	45
Photo.III.03 : thermometer.....	45
Photo.III.04 : Spectrophotomètre d'absorption atomique.....	46
Photo.III.05 : Titration.....	47
Photo.III.06 : dessiccateur et balance.....	48
Photo.III.07 : Burette.....	48

Introduction

Introduction

Depuis longtemps et avec la maîtrise de la technique des forage , l'eau de la nappe de Complexe Terminal était utilisé pour l'alimentation humaine malgré sa médiocre qualité pour le boisson mais par contre convenable pour l'agriculture .Cette aquifère est considérée comme la colonne vertébrale de cette région phoenicicole au vu sur importance multiple . Mais au fil de temps, le pétrole avait fait sur apparition dans le Sud et l'appareillage de forage a ce dernière a été réutilisé pour la réalisation d'albien (Continental Intercalaire) dans un objectif d'amélioration de la qualité de l'eau de boisson et de diversification de la ressource car le Complexe Terminale s'est trouvé surexploité. Cependant, malgré que ces nappes forte la richesse hydrique de cette région elles posent par contre certaines contraintes à savoir la température élevée (C.I),minéralisation plus ou moins élevée , agressivité , dureté élevée entartrage etc.....

Pour toutes ces raisons, nous avons jugé utile d'apporter notre contribution par cette étude comparative de la qualité des eaux de ces deux nappes souterraines.

Pour cela, nous avons structuré notre étude en quatre chapitres:

- Chapitre I : présentation de la région d'Oued-Righ dans sur contexte géographique secondée d'une étude climatique, topographique, hydrogéologique et Aperçu socio-économique.
- Chapitre II : synthèse bibliographique concernant la géologie, système aquifère de la région de l'Oued-Righ et la qualité des eaux pour la boisson et l'irrigation.
- Chapitre III : matériel et méthodes d'analyse des eaux.
- Chapitre IV : partie expérimentale et interprétation des résultats suivie d'une conclusion et perspection.

CHAPITRE I

Présentation de la région d'étude

CHAPITRE I : Présentation de la région d'étude

I.1. présentation de la région d'étude :

I.1.1. Localisation de la région d'Oued-Righ :

La vallée d'Oued-Righ est située au sud du massif des Aurès, à la partie Nord du Sahara septentrional, le long du grand Erg oriental.

Actuellement, la vallée est à cheval sur deux wilayas : El Oued, qui comprend la daïra d'El Meghaier où débute la vallée précisément à la palmeraie d'Oum Thiour et la daïra de Djamaa, qui est le centre de la vallée.

Ouargla au sud qui comprend la daïra de Touggourt, Megarine et Temacine où se termine la vallée précisément à la palmeraie d'El Goug (**DOUADI, 1996**).

La vallée d'Oued-Righ s'étale sur une distance de cent cinquante (150) km de long et entre vingt (20) km et trente (30) km de large (**LEBDI, 2001**).

Elle est située géographiquement entre les latitudes 23°54 Nord et 34°9 Sud avec une longitude moyenne de 6°Est (**I.N.R.A.A, 2001**).

Cette zone dépressionnaire est bordée à l'Ouest par le plateau Miopliocène et à l'Est par de grandes dunes de l'Erg oriental. Au Nord, elle est limitée par le plateau Still, au Sud par la région d'EL HADJIRA et le plateau grésseaux d'époque tertiaire (**I.N.R.A.A, 2001**).

De l'amont à l'aval, son altitude passe très progressivement de plus 100 m (El Goug) à moins de 27 m au milieu de chott MARROUANE, en passant par plus de 7 m à Touggourt, plus de 30 m à Djamaa et 0 m de Meghaier, de direction Sud Nord (**DOUADI, 1996**).

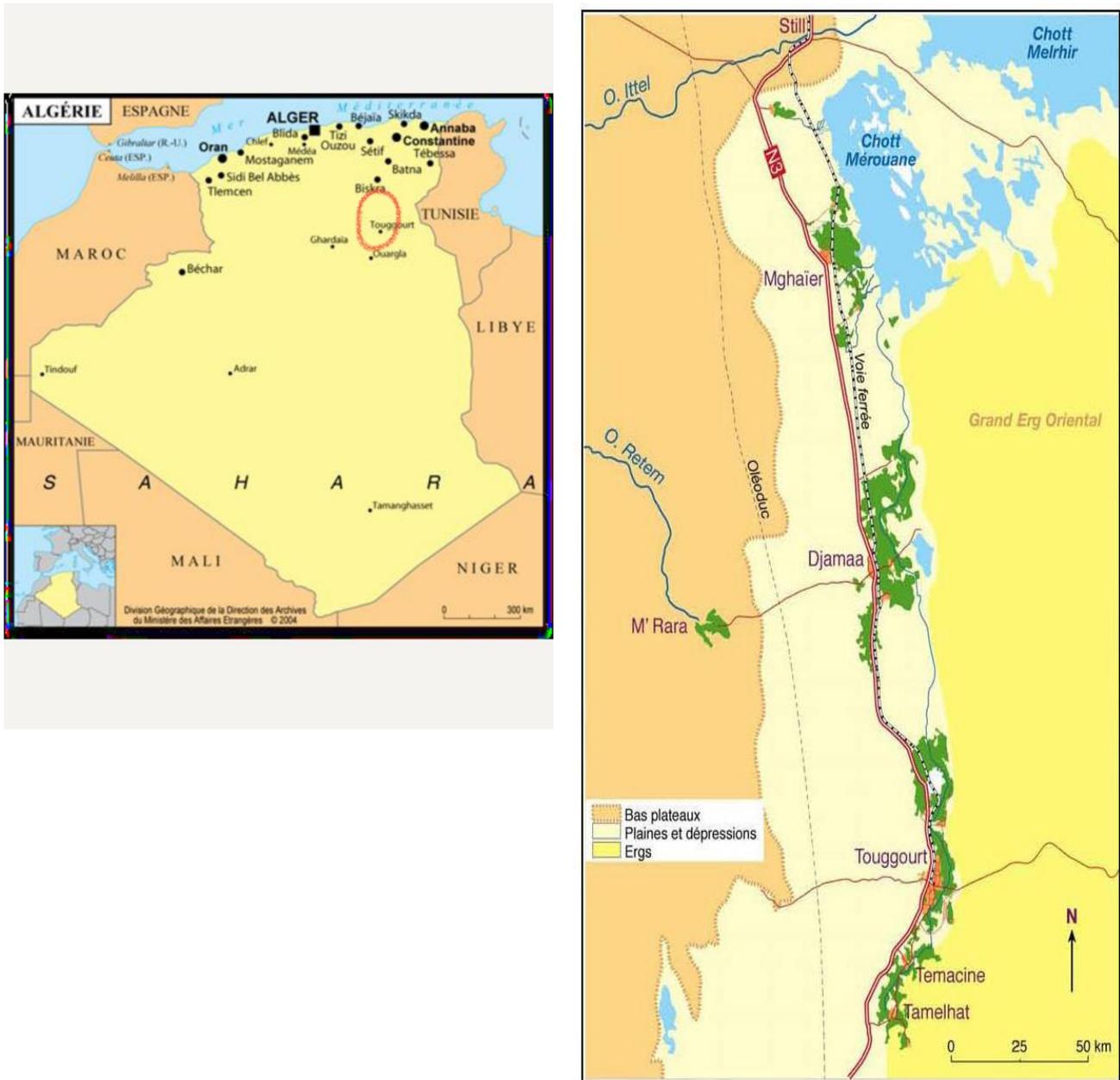


Figure.I.01 : Carte de situation géographique de la région d'Oued-Righ.

I.1.2. Climatologie :

I.1.2.1. Données météorologiques de la région d'Oued-righ :

En général, la vallée d'Oued-Righ est caractérisée par un climat sec et aride, accusant un écart de températures important diurne et nocturne et entre saisons.

Les données climatiques enregistrées durant 10 ans (2008-2017), sont données dans le tableau suivant:

Tableau.I.01 : Données climatiques de la région d'Oued-Righ pour la période 2008-2017
(O.N.M. de Touggourt, 2018)

Paramètre mois	T M (°C)	T m (°C)	H (%)	V (m/s)	Evap (mm)	Ins (h)	Tmoy (°C)	Préc (mm)
Septembre	36.4	21.6	32.5	3.5	227.3	266.1	28.9	5.58
Octobre	31.2	17.0	37.2	2.7	181.3	251.7	24.2	7.95
Novembre	23.7	9.5	43.98	2.8	132	225	16.5	4.63
Décembre	18.5	5.8	49	1.8	85.56	217.6	12.15	5.18
Janvier	18.1	5.4	48.95	2.8	82.10	225.85	11.2	20.92
Février	20.5	5.5	37.17	3.3	110.2	237.7	13	1.15
Mars	25.2	9.6	36.30	3.21	175.4	284.4	17.4	5.71
Avril	29.6	14.1	31.6	3.90	212.39	284.2	21.85	10.69
Mai	34.1	18.7	28.95	3.9	283.4	306.3	26.4	1.45
Juin	39.4	23.1	25.14	3.8	324.4	342.7	31.25	0.75
Juillet	42.5	27.5	22.91	2.7	347.8	356	35	0.07
Aout	41.9	26.1	24.65	2.9	296.7	311.5	34	4.5
Moy	30.09	15.23	34.86	3.10	2458.55*	275.75	22.65	68.52*

T M : température maximale.

T m : température minimale.

H : Humidité relative.

V : vents.

Ins : Insolation

T moy : Température moyenne

Préc : Précipitation

* : Cumul

I.1.2.1.1. Temperature :

La température est soumise à des variations mensuelles importantes, le mois de juillet avec 35°C est le plus chaud ; alors que le mois de Janvier, avec 11,2°C, est le plus froid de l'année.

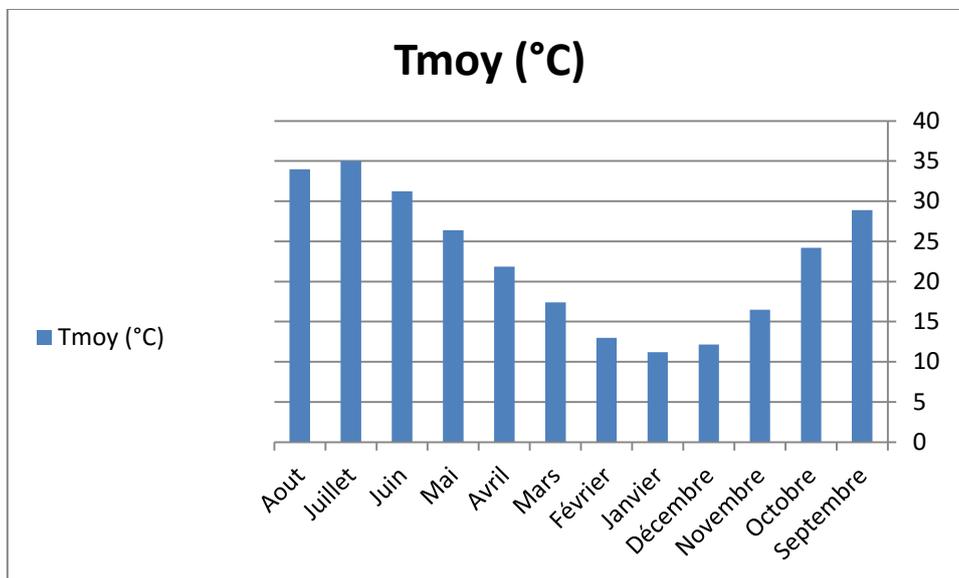


Figure.I.02 : Températures moyennes mensuelles à la station de Touggourt (2008-2017)

I.1.2.1.2. Précipitations :

Les précipitations sont rares et irrégulières, la moyenne annuelle, au cours de la période considérée, est de 68,52 mm.

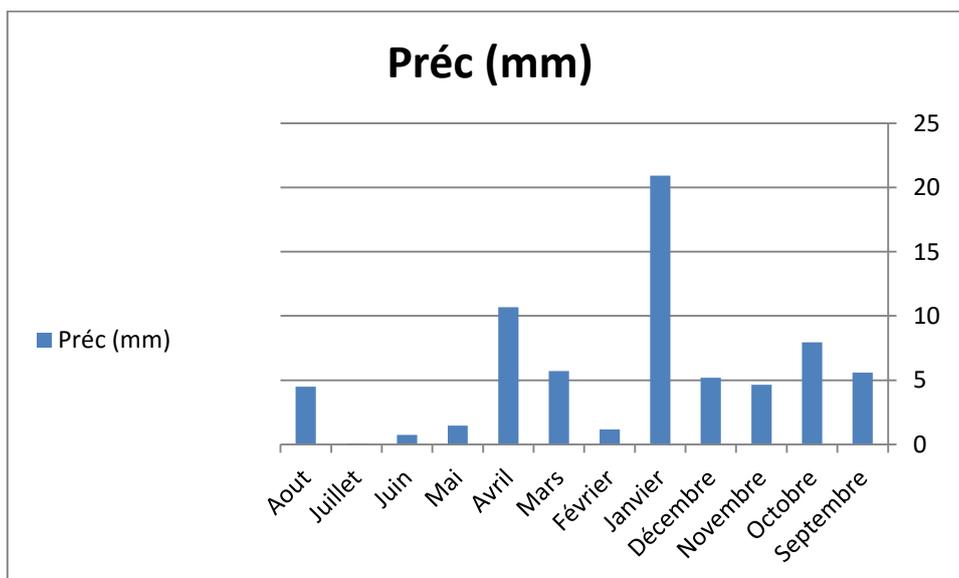


Figure.I.03 : Précipitations moyennes mensuelles à la station de Touggourt (2008-2017)

I.1.2.1.3. Humidité relative de l'air :

L'humidité est en fonction des saisons, nous enregistrons un maximum de 48,95 % au mois de Décembre et un minimum de 22,91 % au mois de Juillet.

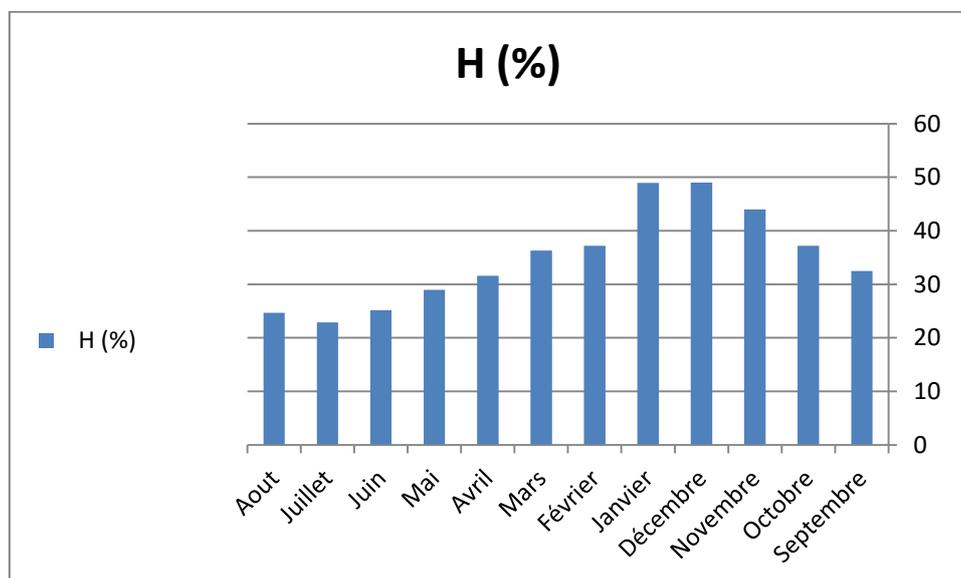


Figure.I.04 : Humidités moyennes mensuelles à la station de Touggourt (2008-2017)

I.1.2.1.4. Vents :

Les vents dominants sont surtout ceux du printemps provenant d'Ouest au Nord-Ouest. les vents les plus forts soufflent en fin d'hiver, début printemps. Les vents de sable arrivent pendant, le mois de Juin et parfois en Juillet (I.N.R.A.A, 2001).

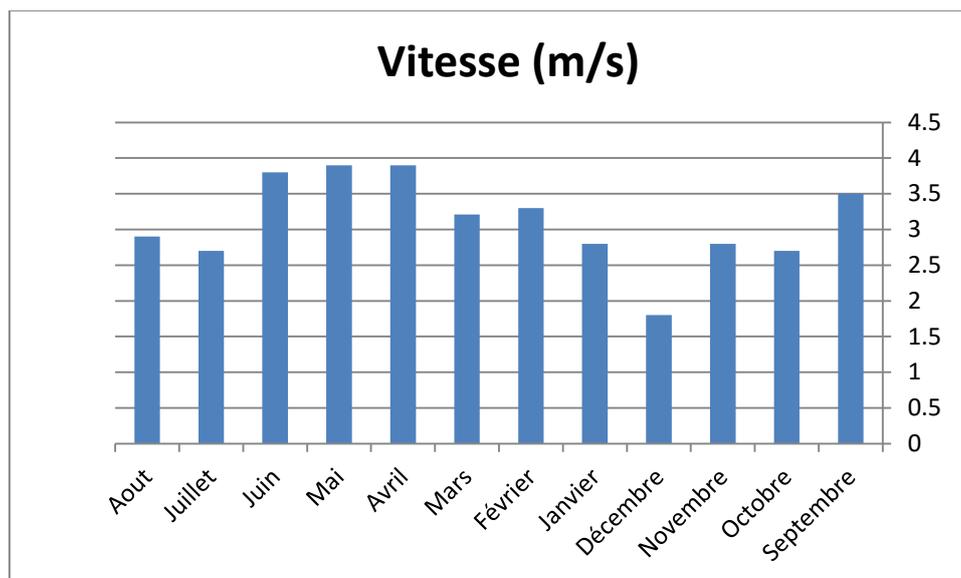


Figure.I.05 : Vitesses moyennes mensuelles des vents à la station de Touggourt (2008-2017)

I.1.2.1.5. Evaporation :

L'évaporation est très importante surtout lorsqu'elle est renforcée par les vents chauds. Le cumul est de l'ordre de 2458,55 mm/an avec un maximum mensuel de 347,8 mm au mois de juillet et un minimum de 82,10 mm en mois janvier (tableau I.01)

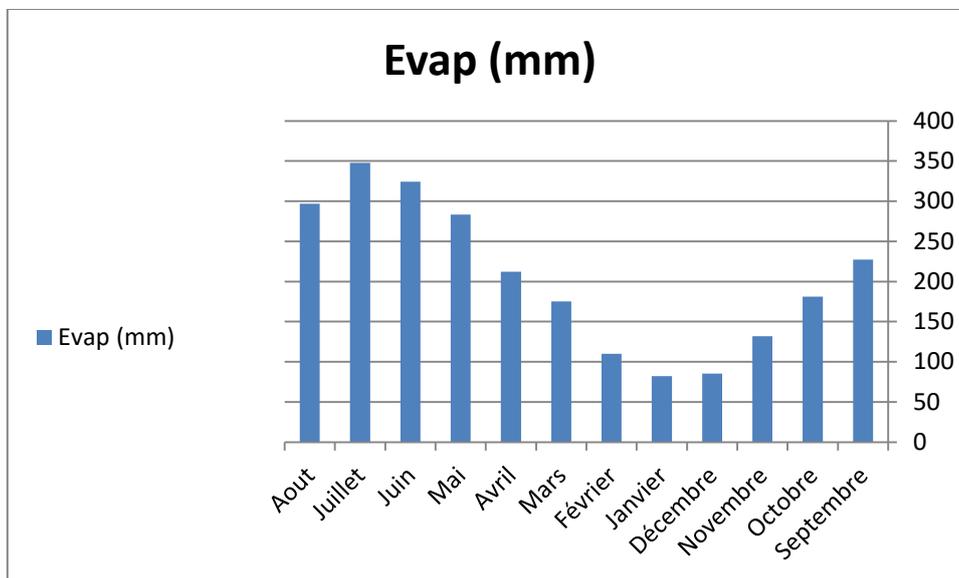


Figure.I.06 : Evaporations moyennes mensuelles à la station de Touggourt (2008-2017)

I.1.2.1.6. Durée d'insolation :

La répartition des moyennes mensuelles d'insolation nous permet de constater que la brillance du soleil est maximum au cours du mois de juillet avec une moyenne de 356 heures, et le minimum est enregistré pendant le mois de décembre avec une moyenne de 217,6heures. Dans la région, le rayonnement solaire est excessif (le moyen annuel est de 3309,5 h/ans) ce qui traduit par un pouvoir évaporant élevé.

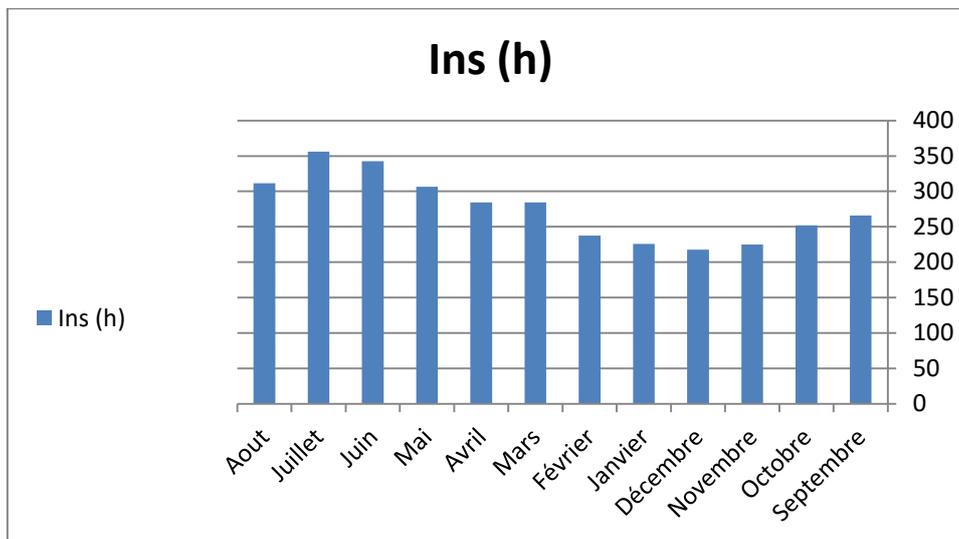


Figure.I.07 : Insulations moyennes mensuelles à la station de Touggourt (2008-2017)

I.1.2.2. Climagramme d'Emberger :

L'indice est égal au quotient pluviométrique d'Emberger qui peut s'écrire selon STEWART, (1969) in (SAKHRI, 2000) :

$$Q2 = 3.43 P / (M - m)$$

Soit :

Q2 : quotient pluviométrique d'Emberger (1955) modifié par Stewart (1968) pour l'Algérie et le Maroc.

P : la somme des précipitation annuelle exprimées en (mm).

M : la moyenne des températures maxima du mois le plus chaud en (°C).

m : la moyenne des températures minima du mois le plus froid en (°C).

Après calcul du Q2, la région d'Oued-Righ est classée dans un étage bioclimatique saharien à hiver doux (Q2 = 5.15).

D'après la figure (I.08), il est remarqué que la région d'études est située dans l'étage bioclimatique saharien à hiver doux et son quotient thermique (Q2) est de 5.15 à Oued-Righ.

I.1.2.3. Indice d'aridité :

Cet indice dépend essentiellement des précipitations moyennes mensuelles en (mm) et la température annuelle en (°C), en appliquant la formule suivante :

$$I = P / T + 10$$

I : Indice d'aridité

P : Précipitation moyenne mensuelle 80.09 (mm).

T : Température moyenne annuelle 21.6 (°C).

$$P = 80.09 \text{ mm} ; T = 21.6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$I = 80.09 / 21.6 + 10 = 2.53 \text{ mm}/^\circ\text{C}$$

Sur la base des fourchettes de l'indice d'aridité fixées par De Martone, nous pouvons tirer le type de climat de notre région d'étude.

I < 5.....Climat hyper -aride

5 % < I < 7.5.....Climat désertique

7.5 % < I < 10.....Climat steppique

10 % < I < 20.....Climat semi-aride

20 % < I < 30.....Climat tempéré

Ce qui confirme que notre région est caractérisée par un climat hyper aride.

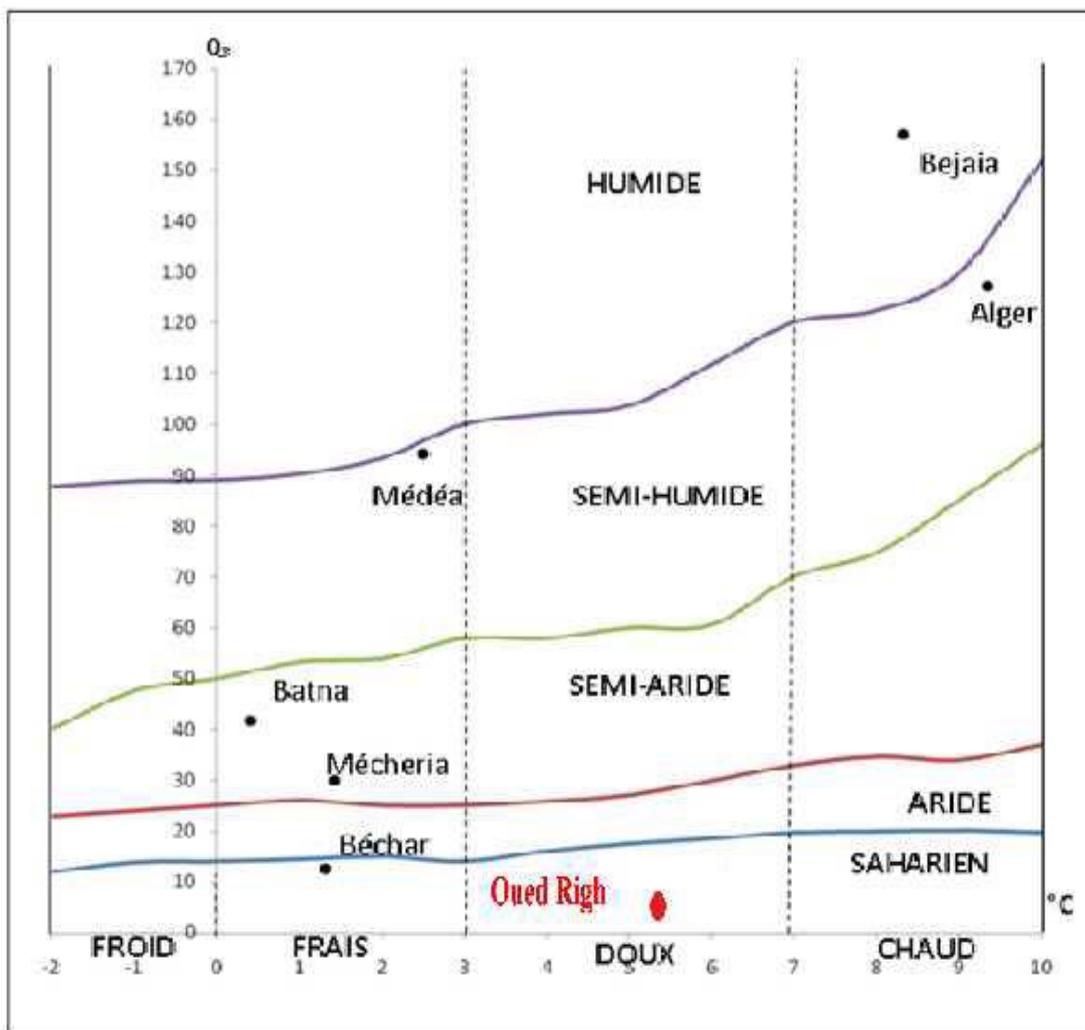


Figure.I.08 : place de la région d'Oued-Righ dans le climagramme d'Emberger

I.1.2.4. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de l'Oued-Righ :

Le diagramme ombrothermique de Gausсен et de Bagnouls permet de calculer la durée de la saison sèche. Il tient compte de la pluviosité moyenne mensuelle et la température moyenne mensuelle qui sont portées sur des axes où l'échelle de la température est double de la pluviosité. La diagramme ombrothermique de Gausсен de la région de Oued-Righ pour la période nous renseigne qu'il existe une seule période sèche qui s'étale durant toute l'année

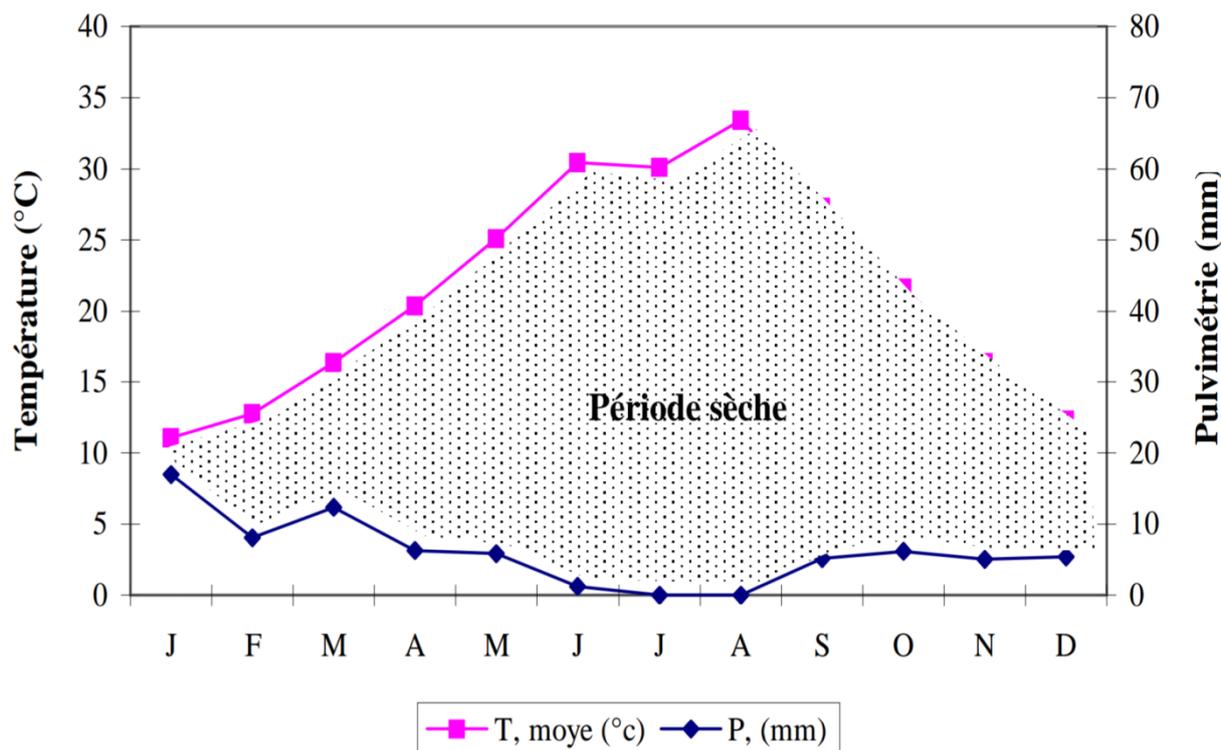


Figure.I.09 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson de la région d'Oued-Righ (2008-2017).

Le diagramme Ombrothermique ci-dessus montre que, la période sèche s'étale sur toute l'année, ce qui nécessite la pratique de l'irrigation toute l'année.

I.1.3. Topographie :

Le relief de la vallée de l'Oued-Righ est de basse altitude, notamment dans la zone des chotts au Nord, où les altitudes sont inférieures au niveau de la mer, d'où son appellation 'Bas Sahara'. La caractéristique principale de cette région est son inclinaison vers le Nord ou plus particulièrement vers les grands chotts. Cette inclinaison permet aux eaux excédentaires de s'écouler vers le Nord (**Dubost, 1991**). L'orientation Sud-Nord de cette cuvette est marquée par la présence de deux oueds fossiles : l'Oued Mya venant du Tassili et l'Oued igharghar qui viendrait du massif de l'Ahaggar. Ces deux Oueds confluent à une trentaine de kilomètres au Sud de Touggourt et sont prolongés par l'Oued-Righ, qui connaît une pente très nette, de la côte 100 à Touggourt et 10 au chott Merrouane. L'Oued-Righ ne connaît plus de crues mais il reçoit d'inféoflux de ses deux branches supérieures qui lui donnent des possibilités en eau particulières (**Perennes, 1979**).

I.1.4. Hydrogéologie :

Le bassin artésien de l'Oued-Righ est un des plus importants du monde déclare F. Paix cité par Perennes (1979). En effet, dans cette région l'alternance de couches imperméables et de couches aquifères d'une part, l'existence d'un fossé de subsistances d'autre part, ont permis la formation de nappes souterraines superposées .

En raison de cette stratigraphie, l'Oued-Righ bénéficie du jaillissement de quatre nappes artésiennes principales :

- la première nappe, contenue dans des couches sableuses du miopliocène, est atteinte entre 20 et 50 mètres selon les endroits :
- la deuxième nappe, dite du "complexe terminal", est atteinte entre 60 et 100 mètres .
- la "nappe des calcaires" se trouve entre 100 et 200 mètres environ .
- la "nappe albiennaise", dite du "continental intercalaire" a été atteinte en 1954 à 1957 , à la faveur des forages pétroliers. Cette nappe est à 2000 mètres de profondeur au Nord de l'Oued-Righ, elle est caractérisée par une pression de 20 kg au cm², une température entre 46° à 60°C et un débit de 1500 m³/heure .

Qualitativement, ces eaux sont des eaux sulfatées calco-magnésiennes à faciès chloruré plus ou moins prononcé, donnent un résidu sec à l'évaporation allant de 3,3 à 8,6 grammes de sel par litre d'eau et des températures relativement élevées :

50°C en moyenne pour l'Albien et entre 20 et 25°C pour les autres nappes. Ces données constituent des contraintes aux cultures, ce qui exige des irrigations abondantes et un drainage performant (**Perennes, 1979**).

D'après Côte (2005), la vallée de l'Oued-Righ est constituée de quatre étages aquifères : la nappe supérieure comprend elle-même trois nappes localisées, de haut en bas, dans les sables gris (entre El Goug et Touggourt) à environ 20 à 40 m sous la surface, les sables gris des puits arabes (entre El Goug et El Arfiane), à environ 50-80 m de profondeur, et les sables rouges, fins argileux, sur l'ensemble de l'Oued-Righ, à environ 100-130 m de profondeur ; la deuxième nappe dans les grès, sables et petits graviers de l'ensemble de l'Oued-Righ, à 140-180 m de profondeur à l'amont et 180-220 m à l'aval. La nappe des calcaires sur l'ensemble de l'Oued-Righ, profonde de 160m et plus à l'amont, 240 m et plus à l'aval ; enfin le deuxième niveau éocène calcaro-marnaux.

I.1.5. Aperçu socio-économique :

Le domaine agricole qui était jadis la principale activité est un peu délaissé actuellement à cause du faible rendement des palmiers dû aux effets néfastes de la salinisation des eaux et des sols, des phénomènes de : la remontée de la nappe phréatique, le vieillissement des palmiers...etc. de plus les sociétés pétrolières offrent des emplois plus rémunérés. Parmi les espèces cultivées; la variété de Deglat Nour prédomine, suivie par Ghars , Degla Bayda...etc. On note aussi l'existence d'élevage et quelques espèces animales typiques (généralement Ovins et Caprins), les chèvres sont élevées pour leur lait et les brebis pour leur chair. Dans le domaine de l'industrie, il existe plusieurs petites usines surtout des briqueteries implantées à proximité de la source de matière primaire, ainsi que des complexes de transformations hydrocarbures, transformation des plastiques, fabrique d'aluminium, ainsi que des entreprises de conditionnement de dattes. Le tourisme existe aussi, de par l'existence de quelques repères touristiques comme les oasis, le lac de Temacine, les anciennes Medinas, les tombeaux des rois...etc. Et surtout la Zaouïa Tidjania qui accueille de nombreux visiteurs chaque année.

I.1.6. Conclusion :

La climat de l'Oued-Righ de caractérise comme toutes les régions sahariennes par un climat continental froid en hiver (période courte) et chaud en été (période très longue) exigeant l'irrigation durant toute l'année. Cette zone phoenicécicole renferme de grandes réserves d'eau souterraine mais elles sont très mal exploitées. Notons que les forages du C.I, sont onéreux et exigent un refroidissement avant leur utilisation. Quant au C.T, il connait de sérieux problèmes de rabattement exigeant des restrictions en matière de réalisation. Le nappe phréatique est trop salée d'où son inutilisation.

CHAPITRE II

Synthèse Bibliographique

CHAPITRE II : Synthèse Bibliographique

La zone étudiée appartient au Bas Sahara. Cet environnement socio-économique se situe dans un contexte climatique de type désertique hyperaride, où les précipitations sont très faibles et irrégulières ne jouent qu'un rôle limité dans la recharges des nappes. Du point de vue géologique, depuis le Cambrien jusqu'au Tertiaire, tous les terrains sont dissimulés en grande partie sous le Grand Erg Oriental. Seuls quelques affleurements sont observés, sur les bordures. La série géologique permet de distinguer deux ensembles hydrogéologiques, Post Paléozoïques importants le Continental Intercalaire et le Complexe Terminale

(**Bouznad,I.2009**).

II.1. Géologie régionale d'oued-Righ :

De point de vue géologique, la zone de l'oued-Righ appartient au plateau Saharien, elle s'étend sur des ensembles géologiquement différents totalement aplatés au début de l'Ere secondaire, elle se comporte actuellement comme une vaste dalle rigide et stable.

La vallée de l'Oued-Righ apparait comme une vaste fosse synclinale dissymétrique qui est limité :

- Au nord par l'accident sud atlasique et les premiers contreforts des monts des Aurès.
- Au sud, par la falaise du TINHERT.
- L'est par les affleurements crétacés du DAHAR tunisien.
- A l'Ouest par la dorsale du Mzab.

C'est donc entre la bordure septentrionale du Hoggar et la bordure méridionale de l'Atlas saharien que se situe le grand bassin sédimentaire du Bas-Sahara. Il s'étend des pieds de l'Aurès au nord jusqu'au Tassili au sud. Une grande partie du bassin est recouverte par le grand Erg oriental, soit 125000 Km². La région de Touggourt fait partie de cet ensemble (**A.N.R.H, 2006**).

II.1.1. Les formations de l'ère Secondaire :

❖Crétacé :

Cette époque géologique est intéressante pour deux raisons :

- D'une part, le Crétacé affleure sur les bords du Bas Sahara (**Cornet, 1964**) repose sur le socle primaire composé des roches variées : schistes, grès et calcaire.

- D'autre part, l'étendue des affleurements crétacés est très importante en Algérie Orientale. Ce Crétacé est une série en grande partie continentale formée d'une alternance de couches gréseuses et argileuses.

➤ **Néocomien :**

Se subdivise en deux séries :

○ **La série inférieure :**

A prédominance argileuse, elle est représentée par des argiles grises et vertes, plus au 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 dolomitiques. L'épaisseur du Néocomien est de 350 m.

➤ **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.

➤ **L'Aptien :**

L'Aptien est constituée de dolomies microcristallines à cristallines, parfois blanches, crayeuses et tendres, contenant des débris de mollusque et entrecoupé de marnes grises dolomitiques. L'Aptien présente les caractéristiques d'un terrain semi-perméable, son épaisseur varie de 28 à 31 m.

➤ **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 depuis les valeurs supérieures à 10 % jusqu'à des valeurs proches de 0 zéro.

- L'Albien se présente comme une série très épaisse (200-300 m).

➤ **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 110m environ.

➤ **Le Cénomaniens :**

Le Cénomaniens est constitué 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).

➤ **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 90-100 m.

➤ **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 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.

○ **Le Sénonien carbonate :**

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 L'ensemble ayant une puissance de 800-900 m.

II.1.2. Les formations de l'Ere Tertiaire :

❖ L'Eocène :

Comme pour le Sénonien, on distingue dans l'Eocène deux ensembles lithologiques :

- L'Eocène carbonaté à la base.
- L'Eocène évaporitique au dessus.

➤ L'Eocène inférieur (carbonaté) :

Il est composé de bancs de dolomies, de calcaire dolomitique, de calcaire à nummulites et à rognons de silex. Il garde le même caractère lithologique, dans la vallée de l'Oued-Righ, il a 100 m d'épaisseur à Sidi Slimane. Avant la fin de l'Eocène carbonaté, la mer quitte définitivement le Sahara qui ne connaîtra plus qu'un régime continental, puis désertique et ce jusqu'à nos jours.

➤ L'Eocène moyen (évaporitique) :

Au dessus de l'Eocène carbonaté, on rencontre une formation constituée par une alternance de calcaires, d'argiles, de marnes et d'anhydrites. Elle renferme une faune d'âge Eocène à Nummulites et Globigérines. C'est cette formation que l'on désigne dans le bas Sahara sous le nom d'Eocène évaporitique. Elle existe dans la vallée de l'Oued Righ, son épaisseur est de l'ordre de 100 m. Les bancs carbonatés sont suffisamment importants pour constituer des niveaux aquifères.

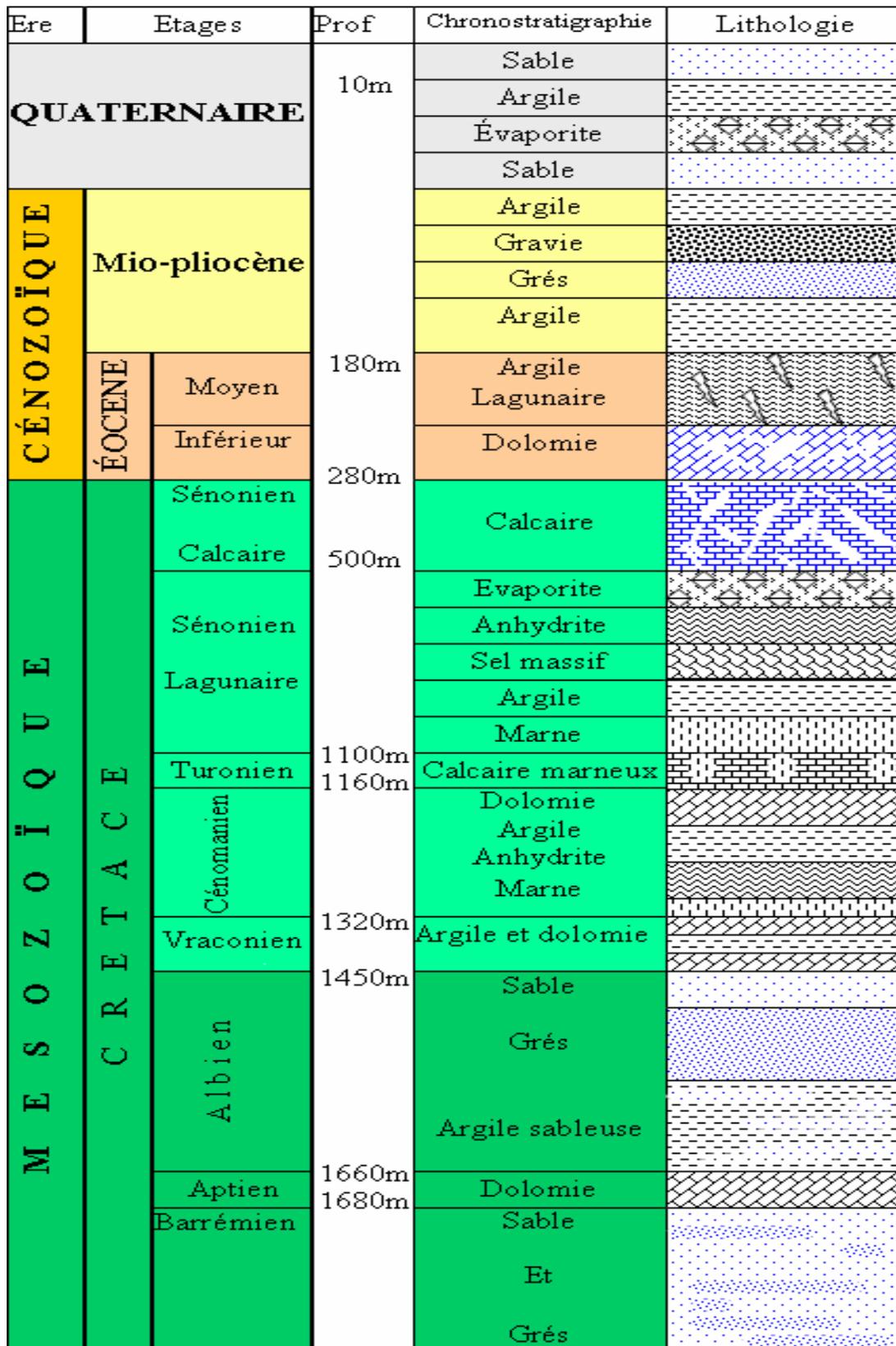


Figure.II.01 : Log stratigraphique synthétique schématique de la région de Touggourt.

(A.N.R.H.,2011)

❖ **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. **Bel (1970)** distingué de bas en haut quatre niveaux dans ces dépôts lenticulaires :

- **Niveau 01** : argileux, peu épais, il existe uniquement dans la zone centrale du Sahara Oriental suivant une bande Nord-Sud. Ces argiles constituent une barrière très peu perméable entre la nappe du Sénonien et de l'Eocène carbonaté et celle des sables de niveau 02.

- **Niveau 02** : grés-sableux, c'est le niveau le plus épais et le plus constant à sa base on trouve parfois des graviers, alors que le sommet se charge progressivement en argiles pour passer au niveau 03. Il atteint 400 m au Sud de Gassi Touil. Le niveau 02 est le principal horizon aquifère du Mio-Pliocène.

- **Niveau 03** : C'est une formation argilo sableuse dont les limites inférieures et supérieures sont assez mal définies. Cette couche imperméable n'existe que dans certaines zones, elle est épaisse et constante que dans la région des chotts.

- **Niveau 04** : C'est le deuxième niveau sableux du Mio-Pliocène. Parfois en continuité avec le niveau 02. Le sommet de niveau 04 affleurant sur de grandes surfaces et souvent constitué par une croûte de calcaire gréseux (croûte hamadienne). L'épaisseur de cet horizon est de l'ordre de 300 m.

II.1.3. Les formations de l'ère Quaternaire :

Le Quaternaire est constitué de sable éoliens et sables argileux, résultat de la destruction 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 peut atteindre localement une dizaine de mètres.

II.2. Tectoniques :

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

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

Les mouvements de l'Eocène moyen à supérieur, sont bien nets, la phase du Miocène inférieur lui succède et donne naissance au Tell et aux Aurès.

Enfin, la phase Plio-Quaternaire qui s'inscrit 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 Aurésien », ces fractures régissent l'écoulement des eaux souterraines d'où la naissance des chotts tel que chott Merouane et chott Melguig. La flexure Sud Atlasique de direction Est-Ouest sépare deux domaines distincts, c'est ainsi qu'on peut avoir au Nord des points culminants « Monts des Aurès » et au Sud les points les plus affaissés.

Nous présentons un tableau récapitulatif des étapes probables des tectoniques dans le Sahara algérien (d'après Cornet 1964).

II.3. Le système aquifère et l'eau souterraine de la vallée Sud d'Oued-Righ :

Les réserves théoriques des deux grandes aquifères sahariennes (Complexe terminal et Continental intercalaire) sont estimées à près de 60.000 milliards de m³. Etant donné, l'importance des réserves, il n'est pas logique de limiter l'exploitation aux seuls volumes renouvelables. Si l'on se contentait d'en exploiter seulement le dixième, on obtiendrait un débit fictif continu de 100 m³/s pendant 2000 ans.

Cependant, sur le plan pratique, les nappes subiront des rabattements continus, mais ceux-ci seront très variables suivant les endroits. Cet abaissement continu des niveaux se traduira sur le plan économique par :

- un accroissement des investissements avec le temps.
- augmentation du nombre de forages et des frais de pompage.
- un accroissement du coût du mètre cube d'eau.
- une dégradation de la qualité des eaux par endroits (salinisation).

Les ressources en eau souterraines du Sahara sont essentiellement constituées de Ressources non renouvelables représentées par les deux grandes aquifères :

- Continentale Intercalaire.
- Complexe Terminal.

Ces deux systèmes hydrauliques fond du Sahara algérien une région considérée comme très riche en ressource hydrique.

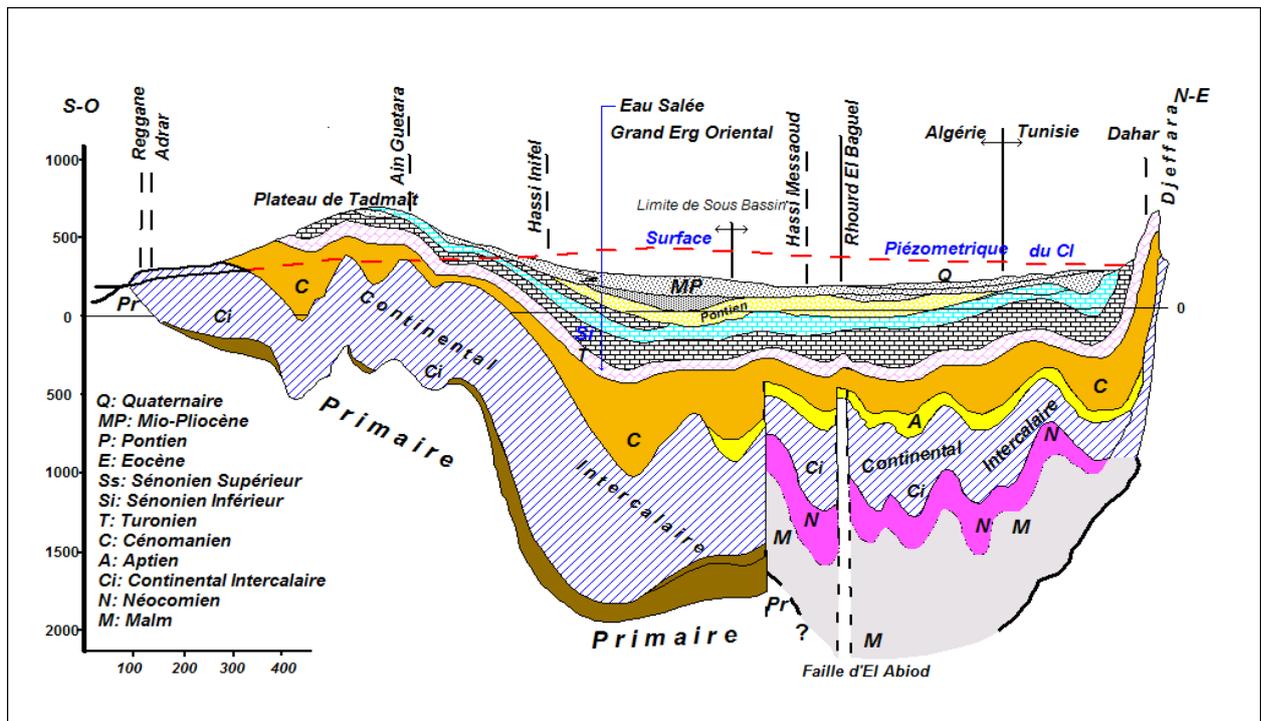


Figure.II.02 : Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrionale (U.N.E.S.C.O., 1972).

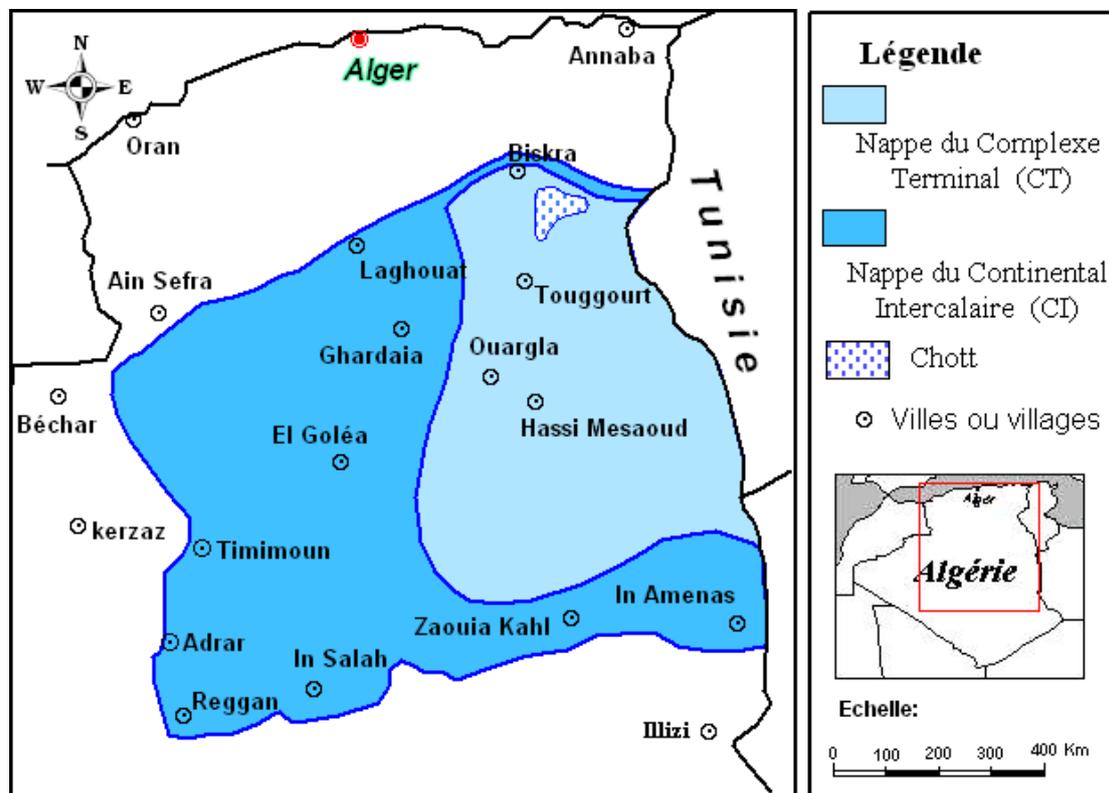


Figure.II.03 : Carte des ressources en eau souterraines (Continental Intercalaire et Complexe Terminal), (U.N.E.S.C.O., 1972).

II.3.1. Nappe phréatique :

Elle est continue dans les niveaux sableux et argilo évaporitiques du Quaternaire. Elle se présente sous forme pelliculaire par rapport à la nappe des sables qui lui succède en profondeur et dont elle est généralement séparée par un niveau semi-perméable du Mio-Pliocène.

La nappe phréatique est présentée dans toutes les oasis de la vallée. Elle est contenue dans les sables fin 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.

Elle est caractérisée par des eaux de fortes salinités ; les analyses des eaux de cette nappe montrent qu'elles sont très salées, la conductivité électrique est de l'ordre de 4.91 ms/cm à 13.44 ms/cm.

La nappe phréatique est gonflée par l'excès de l'eau d'irrigation et des pompages du C.I et du C.T. C'est pour drainer cet excès que le réseau de drainage artificiel a été réalisé dans la dépression de l'oued-Righ. Elle est principalement alimentée par l'infiltration des eaux d'excès d'irrigation et des eaux d'assainissement, 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

II.3.2. Nappe du complexe terminal (le Pontien C.T) :

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.

Le terme de nappes 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.

II.3.2.1. La première nappe des sables C.T₁ :

Hormis, La nappe phréatique, cette nappe est la moins profonde, sa puissance varie entre 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'argile constitue son substratum et son toit est constitué par des argiles et des évaporites .c'est une nappe captive. Elle était jadis très exploitée avec des débits faibles à moyens de l'ordre de 20 à 40 l/s. cependant à cause de la salinité élevée de l'eau, les forages qui la captent sont actuellement moins utilisés.

II.3.2.2. La deuxième nappe CT₂ :

Les formations contenant cette nappe sont également d'âge Mio-Pliocène comme la première nappe, elle est formée essentiellement de grès, de gravier et de sable avec la présence de quelques lentilles argileuses. Son épaisseur est de 20 à 36 m, elle est très exploitée 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 sont alimentées localement par les rares précipitations et les infiltrations d'eaux de surface (de la nappe phréatique et du canal d'Oued-Righ), et les percolations des nappes artésiennes sous jacentes les prélèvements par forages représentent leur seul exhaure.
- Ces deux nappes surmontent l'autre ensemble du Complexe Terminal constituant la troisième formation aquifère formée par les carbonates de l'Eocène inférieur Sénonien supérieur.

II.3.2.3. La nappes des calcaires du Sénonien Eocène CT₃ :

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, sa puissance varie entre 200 m à Touggourt et 360 m à Meghaier. Il n'est pas très exploité. L'artésianisme étant à l'origine plus important au Nord. A la base, le Sénonien lagunaire forme le substratum de cette nappe et au sommet, le toit est surtout argileux (Figure.II.01).

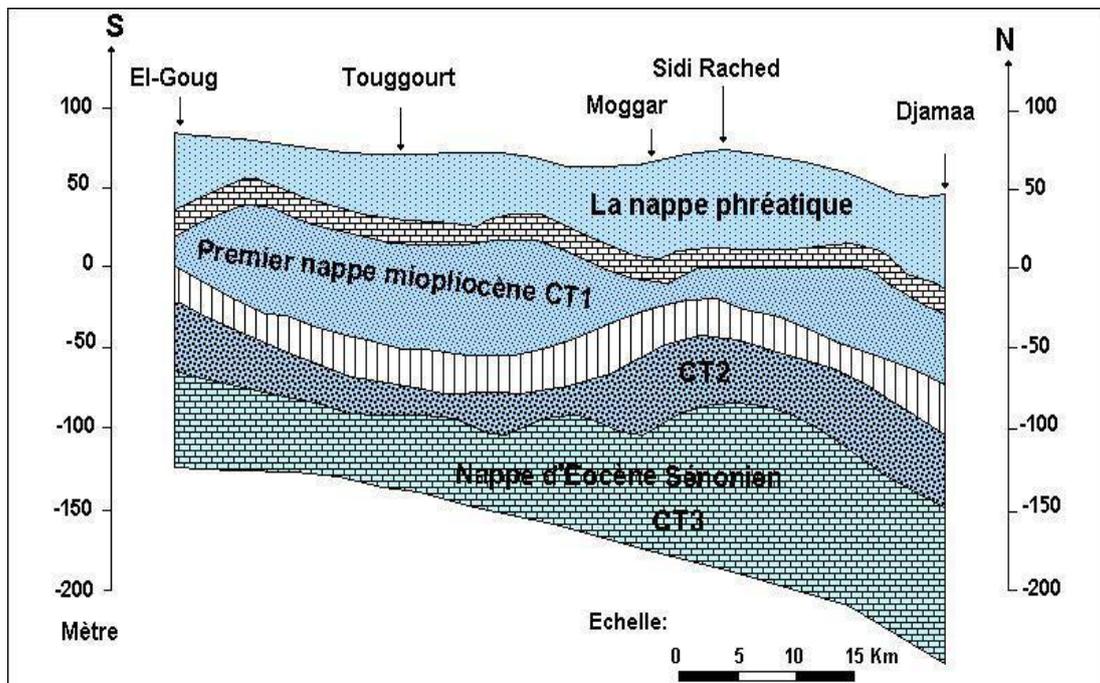


Figure.II.04 : Coupe hydrogéologique du Complexe Terminal de la région de Oued-Righ (A.N.R.H., 2008).

II.3.2.4. Piézométrie de la nappe complexe terminal :

La construction de la carte piézométrique du (C.T) 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 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 sénoniens et éocènes ainsi que les sables du Pontien d'Oued-Righ et de 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 (O.S.S., 2003).

À l'échelle locale, ou dans la vallée de Oued-Righ la carte ci-dessous montre un écoulement qui se produit dans le sens Sud-Ouest à Nord-Est (Figure.II.05).

Généralement, la nappe présente un sens d'écoulement vers le Nord- Est, c'est-à-dire vers la zone des Chotts algéro-tunisiens.

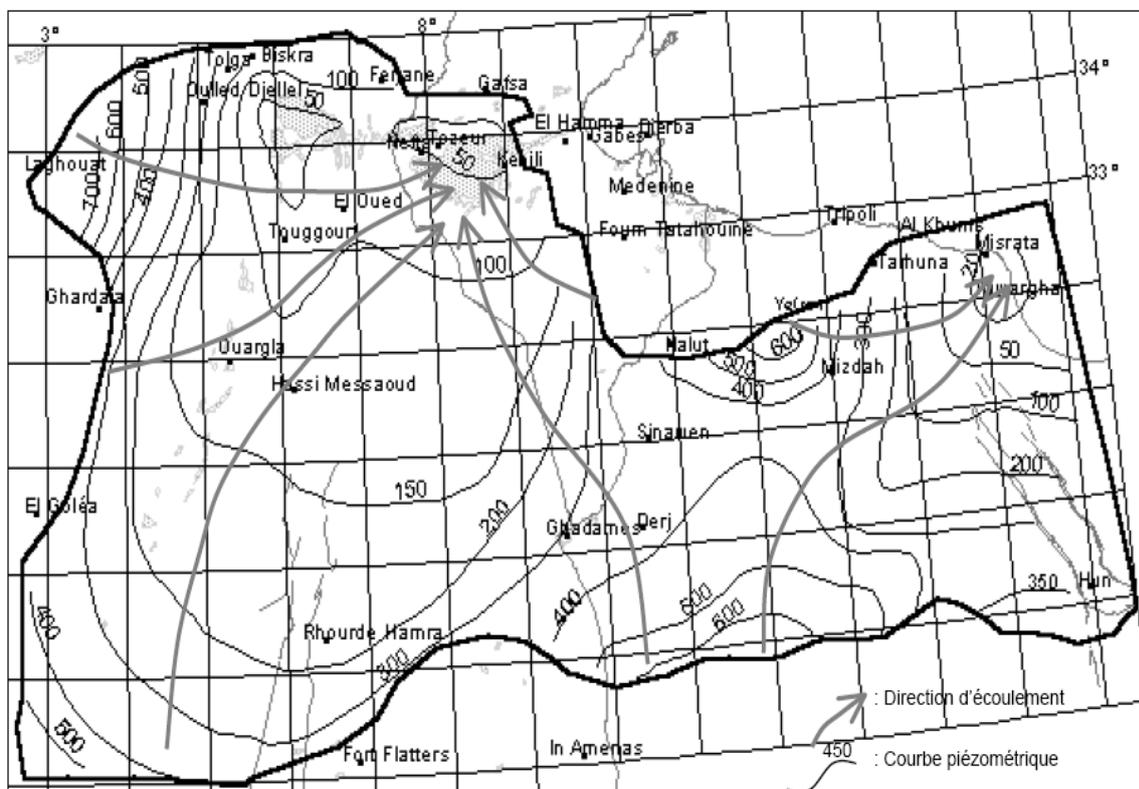


Figure.II.05 : carte piézométrique de la nappe du complexe terminal (Baba., 2006).

II.3.3. La nappe du continental intercalaire (albiennien C.I) :

C'est une nappe qui est partagée entre trois pays maghrébins (l'Algérie, la Tunisie et la Libye). La partie Algérienne du Continental Intercalaire couvre 600000 km².

Cette nappe est plus connue sous la dénomination nappe 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).

II.3.3.1. Limites et morphologie du continental intercalaire :

Le CI est limité au Nord par l'Atlas Saharien, à l'Ouest par l'axe Bechar Reggan et au Sud par l'axe Reggan-Ain Amenas à l'Est il se prolonge au delà des frontières Algéro-Libyenne et Algéro-Tunisienne. Il est partagé par la dorsale du M'zab en deux bassins (figure.II.06) :

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

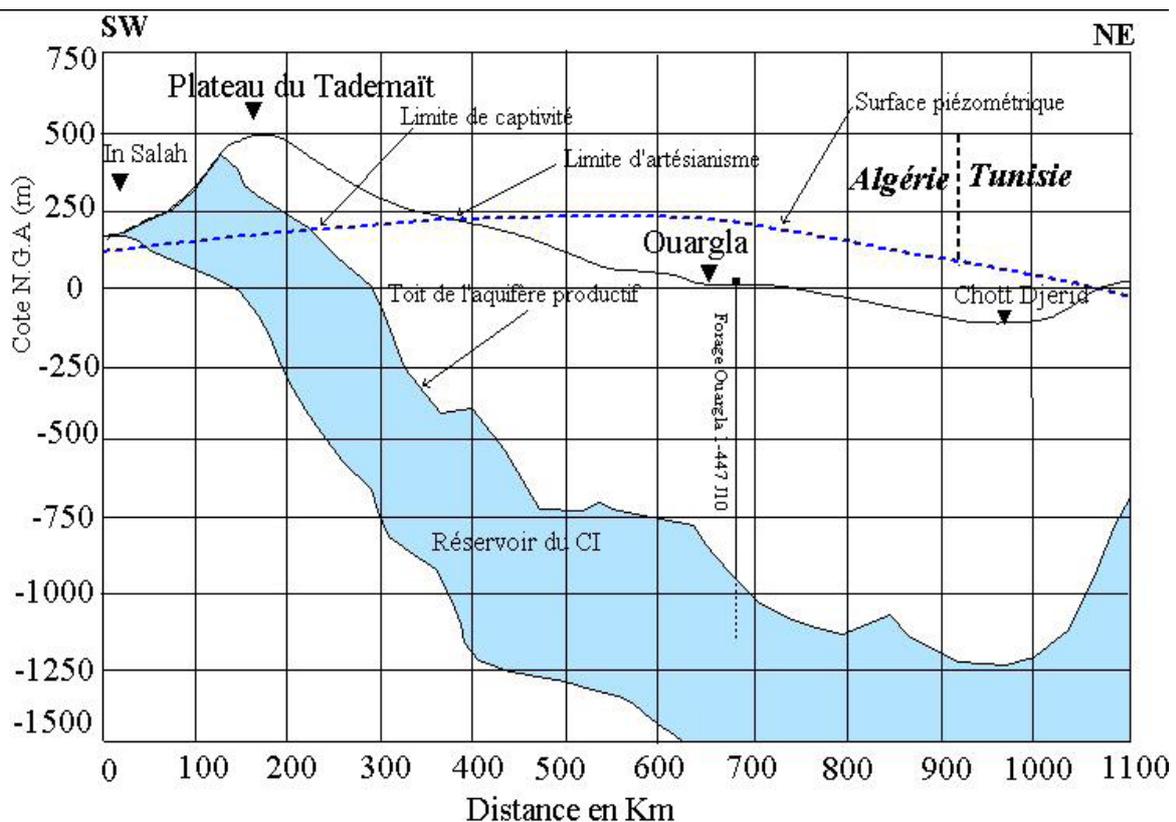


Figure.II.06 : Coupe hydrogéologique transversale montrant le toit et la surface piézométrique du C.I (U.N.E.S.C.O., 1972)

La transgression Cénomaniennne donne au Continentale Intercalaire une limite supérieure beaucoup plus uniforme que sa limite inférieure. A la périphérique, le Continentale Intercalaire, se termine évidemment en biseau sur les anciens reliefs hercyniens, mais il atteint très vite une grande puissance dans les anciennes cuvettes d'accumulation. Au sens large, le Continentale Intercalaire recoupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base du Trias et le sommet de l'Albien (la définition donnée par l'UNESCO dans « l'étude sur les ressources en eau du Sahara Septentrional »).

II.3.3.2. Toit du reservoir :

Le toit du CI débute presque toujours au toit du Albien (plus de 2000 m par apport au sol), le Mur de CI coïncide avec la discordance hercynienne sous les plateaux du Tadmaït et du Tinhert.

Le toit de cette nappe varie selon les régions : à l'Ouest (Gourara-Touat), il est en surface et l'aquifère forme une nappe libre captée par les foggaras. à l'Est, le toit plonge progressivement sous d'épais terrains, jusqu'à atteindre son maximum de profondeur dans la dépression d'Oued-Righ.

Une même morphologie du substratum est observée dans le sens méridien, qui atteint son maximum au Nord, en bordure de l'Atlas Saharien.

II.3.3.3. Alimentation :

Cette nappe s'est chargée au cours des périodes pluviales du Quaternaire. Actuellement, elle reçoit une faible recharge, surtout à partir du piémont de l'Atlas Saharien, la quantité d'eau qui tombe annuellement sur les affleurements du Crétacé inférieur continental est estimée en 2,5 milliards m³/an. Mais, il est difficile d'appliquer à ces formations un coefficient d'infiltration, les conditions climatiques (hauteur de pluies faibles et évaporation intense), étant très différentes de celles des régions où ces coefficients ont pu être expérimentées :

Le volume d'eau emmagasiné dans le CI, évalué à 3.5×10^9 milliards m³, ce qui se signifie qu'il faudrait un débit continu de 1000 m³/s pendant 1000 ans pour le remplir.

II.3.3.4. Exutoires :

Ils sont constitués par :

- **Les foggaras** : longues galeries drainantes, fonctionnant sous un faible rabattement et utilisant la topographie locale pour permettre l'écoulement libre de l'eau vers des points bas (cas du bassin occidental).
- **Les puits artésiens** : (bassin oriental).

➤ **Les sebkhas** : vastes étendues humides et salines, surfaces évaporantes dont le débit total n'est pas négligeable.

II.3.3.5. Épaisseur du réservoir :

Son épaisseur utile est souvent déterminé à partir des diagraphies, cette épaisseur utile correspond à la sommation des horizons perméables gréseux et des couches calcaires dolomitiques de l'Aptien immergées au sein de cette série gréseux-sableuse.

Les plus fortes épaisseurs sont localisées à l'Est d'El Goléa où elles sont comprises entre 750 m et 1000 m. La vallée d'Oued-Righ et les Zibans sont un peu moins bien lotis avec des valeurs inférieures à 350 m.

Les caractéristiques du réservoir montrent que les niveaux argileux ne constituent jamais des horizons continus de grandes extensions qui permettraient la formation d'un système aquifère multicouche.

L'écoulement des eaux de cette nappe se fait dans la partie occidentale du Nord vers le Sud et dans sa partie orientale de l'Ouest vers l'Est (Tunisie).

Le Continental Intercalaire proprement dit nappe d'eau douce comprise dans les grès Albo-Barremiens.

II.3.3.6. Piézométrie de la nappe continental intercalaire :

Pour élaborer la carte piézométrique du (C.I), les données publiées dans les études précédentes telles que **ERESS en 1972**, ont été mises à contribution. Nous utiliserons la carte piézométrique du (C.I), élaborée dans le cadre du projet **SASS 2002** (figure.II.07) .

Cette carte définit l'écoulement de la nappe à l'état naturel, peu ou pas influencé par pompage. Concernant notre zone d'étude, L'écoulement de cette nappe se produit Dans le sens Ouest-Est, où les eaux en provenance de l'Atlas Saharien, se convergent vers l'exutoire tunisien. N.B : C'est la dorsale du M'Zab l'axe Nord-Sud qui sépare l'écoulement dans les sous bassins Occidental et Oriental en ces deux directions distinctes précitées (Nord-Sud et Sud-Nord).

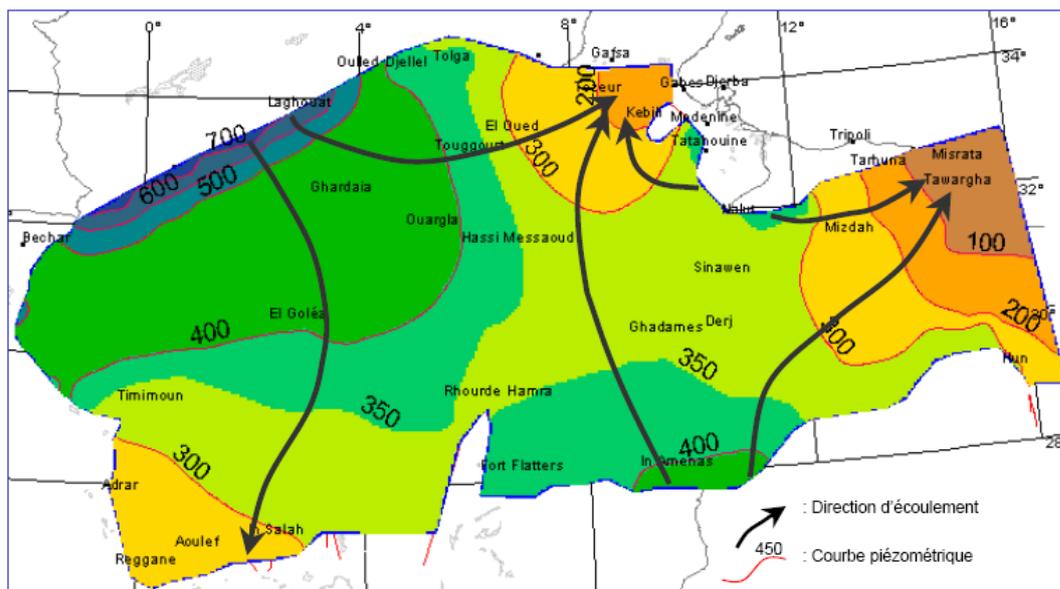


Figure.II.07 : carte piézométrique de la nappe du continental intercalaire
(d'après S.A.S.S., 2002)

II.4. Qualité des eaux :

II.4.1. Qualité des eaux potables :

La qualité de l'eau destinée à la consommation humaine doit impérativement être, conforme aux normes de potabilité au niveau bactériologique, physico-chimique et toxicologique.

Les normes de potabilité ont pour but d'éviter tout risque sanitaire.

II.4.1.1. Réglementation concernant les eaux destinées à la consommation humaine :

Le code des eaux en Algérie, du 16 juillet 1983, stipule dans son article 52, chapitre I qu'une eau est potable, « lorsqu'elle n'est pas susceptible de porter atteinte à la santé de ceux qui la consomment, elle ne doit contenir, en quantité nuisible, ni substances chimiques, ni germes nocifs à la santé ».

En Algérie, la loi N° 85-05 du 16 février 1985 relative à la protection et à la promotion de la santé fait référence, dans son chapitre II, pour les mesures de protection du milieu et de l'environnement, à des normes de qualité de l'eau, mais sans qu'elles soient encore établie :

- **Art. 32** l'eau destinée à la boisson, à l'usage ménager et à l'usage corporelle, doit satisfaire aux normes de qualité définies par voie réglementaire, tant en qualité qu'en quantité.

Directive du conseil de l'union européenne N° 98/83/CE du 03 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

- **Art. 2** Aux fins de la présente directive on entend par : « eaux destinées à la consommation humaine ».

- Toutes les eaux, soit en l'état, soit après traitement, destinées à la boisson, à la cuisson, à la préparation d'aliments, ou à d'autres usage domestiques, quelle que soit leur origine et qu'elles, soient fournies par un réseau de distribution, à partir d'un camion-citerne ou d'un bateau-citerne, en bouteille ou en conteneurs.

- toutes les eaux utilisées dans les entreprises alimentaires pour la fabrication, la transformation. la conservation ou la commercialisation de produits ou de substances destinées à la consommation humaine, à moins que les autorités nationales n'aient établi que la qualité des eaux ne peut affecter la salubrité de la denrées alimentaires finale.

II.4.1.2. Contrôle de qualité de l'eau :

L'analyse de l'eau destinée consommation humaine comprend l'étude :

A- des caractères organoleptiques.

B- des paramètres physico-chimiques et les éléments constitutifs de l'eau.

C- Des éléments indésirables.

D- des éléments toxiques.

CONTROLE DE QUALITE DE L'EAU

Caractères
Organoleptiques

La couleur
L'odeur
La saveur
La turbidité

Caractères
phisico-chimique

-Température
-Dureté total
-Magnésium
-Calcium
-Sodium
-Potassium
-Sulfates
-Chlorures
-PH
-Aluminium

Éléments indésirables

-Les nitrates
-Les matières organiques
-Composés
-Azotés
-Le fer
-L'argent
-Le manganèse
-Le fluor
-Les hydrocarbures
 dissous
-Les phénols
-Les phénols
-Les agents de surfaces
-Le phosphore total

Analyse microbiologique

Bactériologique
Virologie
Parasitologie

Éléments toxiques

-Métaux lourds : Cr, Ni
Cd, Sb, Pb, Hg
-As, CN-, Se
-HAP
-Pesticides et apparentés

Tableau.II.1 : Normes des paramètres physico-chimique concernant les eaux de boisson selon la CEE (1985), l'O.M.S (2012) et norme Algériennes (2012).

paramètre	Unité	Normes OMS 2012	Normes CEE 1985	Norme Algérienne 2012
Paramètre physique				
PH	/	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8.5
C.E	MicroS/cm	400	450	2800
T	C°	25	20	25
Salinité		-	-	-
Paramètre chimique				
Na⁺	mg/l	100	30	200
TH	mg/l	300	150	-
Ca⁺⁺	mg/l	125	100	200
Mg⁺⁺	mg/l	50	30	150
NH₄⁺	mg/l	0.5	0.03	0,5
K⁺	mg/l	12	10	20
Cl⁻	mg/l	300	250	500
Turbidité	NTU	0.3	0.1	2
HCO₃⁻	mg/l	50	30	-
TAC	F°	12	15	-
NO₃⁻	mg/l	50	50	50
Fe(totale)	mg/l	0.5	0.3	-
PO₄⁻	mg/l	2	0.3	-
NO₂⁻	mg/l	3	0.1	-
SO₄²⁻	mg/l	400	250	400
RS	mg/l	1500	1000	2000

II.4.2. Qualité des eaux d'irrigation :

II.4.2.1. Qualité des eaux albiennes pour l'irrigation :

II.4.2.1.1. Température :

La température élevée de l'eau (plus de 50°C) la rend impropre à l'irrigation par submersion traditionnellement pratiquée. La stagnation de l'eau chaude au contact des jeunes plantes détermine très rapidement (en quelques minutes) des brûlures et la destruction de la culture. En cas de contact prolongé, plusieurs heures, des palmiers adultes peuvent eux mêmes être détruits. En plus de ces effets spectaculaires, les apports répétés d'eau chaude provoquent un appauvrissement dramatique des sols par lessivage des éléments minéraux et destruction de la microflore. Il est fréquent dans ces conditions, d'obtenir, après une campagne d'irrigation, des sols complètement stériles où même les mauvaises herbes sont incapables de se développer.

Aussi a-t-on prévu à l'origine des refroidisseurs, des tours à claire-voie amenant l'eau à 40° C environ. Un autre modèle à bassins circulaires superposés fonctionne à Hassi Ben Abdallah. Les uns comme les autres ont une efficacité insuffisante. Les refroidisseurs à claire-voie devraient comporter une ventilation forcée. Ainsi conçues ces installations augmenteraient le coût de l'eau de 1 à 2 centimes par m³.

Le refroidissement entraîne en outre l'addition de polyphosphates pour éviter l'entartrage rapide des canalisations. En effet, la détente à l'air libre des eaux du continental intercalaire accompagnée de la libération de CO₂, provoque des dépôts abondants de carbonate de calcium. Ce traitement supplémentaire, indispensable lorsque le réseau de distribution est réalisé en conduites enterrées, entraîne un surcoût de 1 à 2 centimes au m³.

Au total, le refroidissement de l'eau, inévitable pour l'alimentation en eau potable, constitue une charge supplémentaire pour l'utilisation agricole qui peut s'évaluer à 30% du prix du m³.

On comprend immédiatement l'intérêt des méthodes modernes d'irrigation, l'aspersion et le goutte à goutte, qui permettent sans autre précaution, d'utiliser l'eau sans refroidissement préalable.

Ces deux techniques expérimentées à Sidi Mahdi ont donné satisfaction et nous verrons plus loin l'usage qui peut en être fait en vraie grandeur.

II.4.2.1.2. Salinité :

Les eaux albiennes contiennent généralement moins de 2 g de résidu sec par litre. Elles peuvent être localement plus chargées, surtout dans la région d'Ouargla-Hassi Messaoud où elles peuvent atteindre 6 g de résidu sec par litre. Le S.A.R. (Sodium Absorption Ratio) :

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

Est compris entre 4 et 7-10 étant la limite maximale admise pour l'agriculture. Pour le Sahara, c'est une eau peu sale, celle du complexe terminal est généralement plus minéralisée (3 à 7 g de de résidu sec par litre).

Le taux des ions Ca^{++} est plus élevé que celui des ions Mg^{++} et Na^{+} . Les anions Cl^{-} sont en quantité équivalente aux anions SO_4^{-} . Signalons enfin que pour un même forage les analyses concordent assez peu et offrent une grande dispersion de résultats. Sur le plan de la qualité chimique, les eaux du continental intercalaire sont relativement satisfaisantes et viennent heureusement corriger par lessivage la salinité des sols partout excessive dans l'Oued-Righ.

L'eau des forages albiens possède des qualités physio-chimiques qu'il importe de bien connaître pour maîtriser les problèmes de distribution. Les propriétés de l'eau changent notablement au moment de sa décompression à l'air libre. A l'intérieur du tubage la température est de $58^{\circ}C$ et la pression de 30 kg cm^2 , le pH de 6,6. la teneur de CO_2 est de 70 mg/litre et cette eau est nettement agressive. Après décompression à l'air libre et évacuation du CO_2 libre, le pH est nettement plus élevé l'eau devient alors entartrante et on assiste à des dépôts importants de $CO_3 Ca$ très ferrugineux (33%). C'est la raison pour laquelle l'exploitation de l'eau après refroidissement par une tour à claire-voie provoquait l'entartrage des canalisations en quelques années. Depuis l'abandon du refroidisseur et le passage direct du forage au réseau, ce problème ne se pose plus. mais il est nécessaire alors de résoudre celui de la température élevée en pratiquant l'arrosage par aspersion ou l'irrigation localisée.

Il convient de se protéger de l'agressivité de l'eau en utilisant des matériaux insensibles à la corrosion : acier galvanisé, bronze, aluminium et surtout matières plastiques (PET et PVC).

Au plan agronomique l'eau albienne présente deux inconvénients : sa température mais aussi sa faible teneur en azote et en phosphates. Les agriculteurs de la région, habitués depuis des

siècles à l'irrigation avec les eaux du continental terminal beaucoup plus riches en ces éléments font le lien empirique entre l'eau abondante (en excès en réalité) et la bonne végétation des plantes. Cette relation est totalement en défaut dans le cas des eaux albiennes et l'excès d'eau aboutit au contraire à un lessivage des éléments utiles et à la carence des cultures, principalement en azote très soluble. Ce phénomène renforce la nécessité d'une irrigation bien conduite avec des doses soigneusement calculées.

En revanche les eaux albiennes sont relativement peu minéralisées. A Sidi Mahdi la conductivité électrique semble s'être stabilisée à 3500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ce qui correspond à un résidu sec d'environ 2,7g. La composition ionique montre une prédominance des cations Na^+ Ca^{++} , mais les ions Mg^{++} et K^+ sont bien représentés. Les anions sont essentiellement des ions SO_4^- et Cl^- , les nitrites et les nitrates clemeurant à l'état de traces. Cependant. le petit nombre d'analyses et leur manqué de concordance entre elles ne permettent pas de conclusions suffisantes pour un programme de fertilisation raisonnée. Des travaux plus précis sont nécessaire pour determiner les solution metre et les doses à employer pour une irrigation fertilisante. Ils feront l'objet du programme des prochaines années.

Tableau.II.2 : Normes extremes limitées aux eaux d'irrigation.

Source:*O.M.S.(2012),**F.A.O.(2003).

Parameter	Normes
PH	6.5 à 8.5
Conductivité électrique (ms/cm)	< 3*
MES (mg/l)	< 70*
DCO (mg/l)	< 40*
DBO₅ (mg/l)	< 30*
NO₃⁻ (mg/l)	< 50*
NO₂⁻ (mg/l)	< 1*
PO₄⁻ (mg/l)	< 0.94*
HCO₃⁻ (mg/l)	500**
SO₄²⁻ (mg/l)	400**
Cl⁻ (mg/l)	1065**
Ca²⁺ (mg/l)	400**
Na⁺ (mg/l)	920**
Mg²⁺ (mg/l)	60.75**
Cd (mg/l)	0.01*
Pb⁺ (mg/l)	0.05*
Zn⁺ (mg/l)	2*
Cr (mg/l)	0.1*
Nh₄⁺ (mg/l)	< 2*

Conclusion :

A partir de cette étude, nous constatons que la région a une particularité spécifique du point de vue géologique. Ainsi les conditions tectoniques et paléogéographiques ont permis la mise en place d'une série sédimentaire avec une lithologie variée dans le temps, régulière et homogène dans l'espace.

Ces conditions ont favorisé la formation dans la zone d'Oued-Righ, et dans tout le bas Sahara, de plusieurs formations aquifères à comportement hydrodynamique variable en fonction de leurs faciès.

La qualité de l'eau destinée à la consommation humaine et l'irrigation doit impérativement être, conforme aux normes.

CHAPITRE III

Matériels & Méthodes

Chapitre III : Matériels & Méthodes

III.1. Choix des stations d'étude :

Dans ce chapitre, nous allons présenter les stations d'étude et les étapes de notre travail commençant par la réalisation des analyses physicochimiques des eaux effectués sur les 12 échantillons prélevés des forages de différentes nappes : 06 forages CT et 06 forage Albiens CI dans les différentes localités de la région.

Les choix de ces stations obéissent à des raisons de facilité d'accès et de proximité, et pour balayer toute la zone d'étude, il s'agit des stations en service :

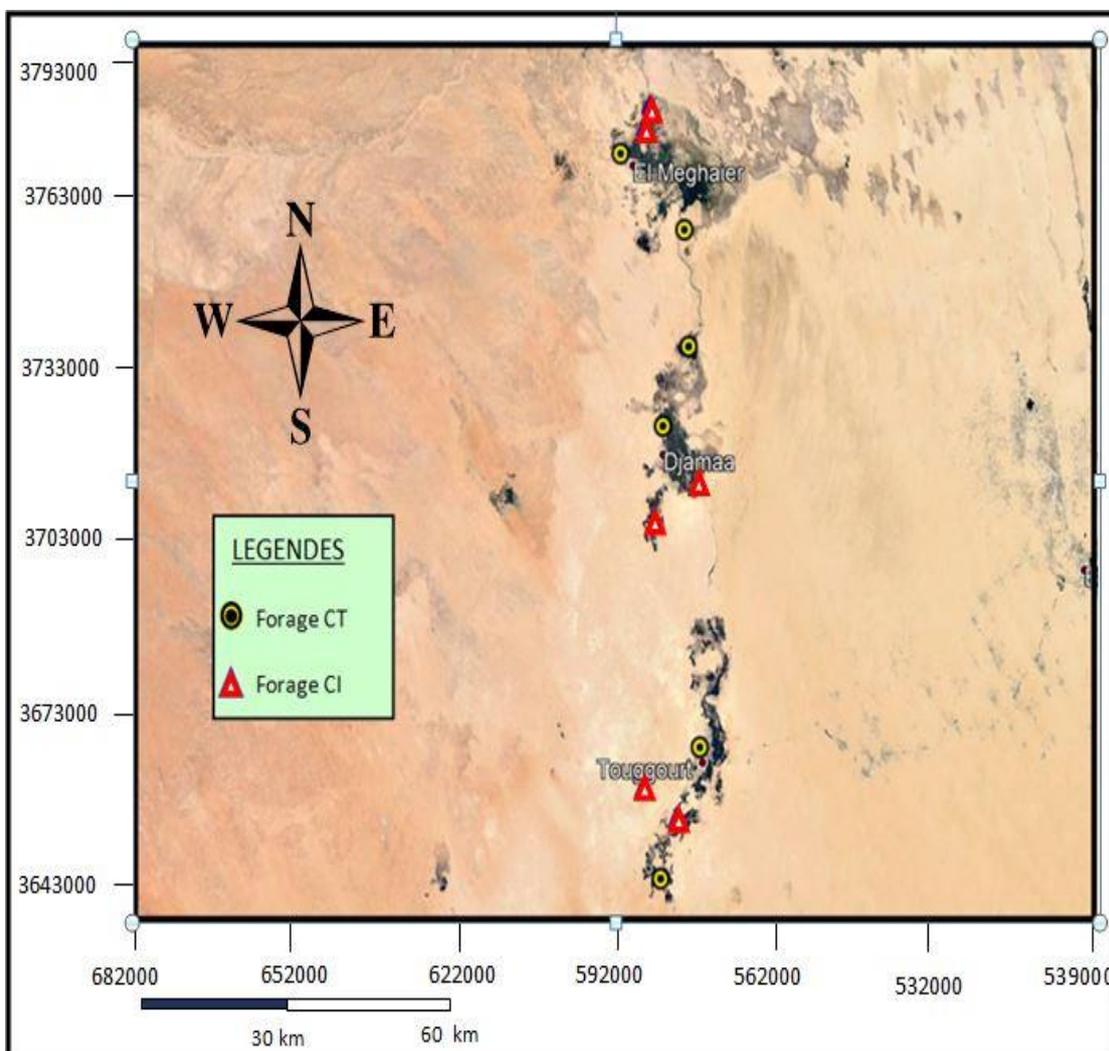


Figure.III.01 : Localisation des points d'eau échantillonnés de la région.

Tableau.III.01 : Forages de complexe terminal C.T choisis (D.R.E,2018)

Forages	Année de réalisation	Les coordonnées			Prof (m)	Débit (l/s)	N S (m)	Usage
		X	Y	Z				
Sidi Khilil (Meghaier)	2012	05°58'20"	33°25'03"	-7	221	42	32	AEP et IRR
El Meghaier (El Meghaier)	2012	06°03'55"	33°30'17"	-3	221	44	33	AEP et IRR
Tendla (Djamaa)	2007	05°57'00"	33°58'54"	18	171	45	34	IRR
Djamaa (Djamaa)	2013	05°56'51"	33°58'17"	28	178	44	36	IRR
Temacine (Touggourt)	1995	05°59'24"	32°57'05"	85	130	-	-	AEP
Tebesbest (Touggourt)	2002	06°00'50"	33°00'38"	58	177	-	-	AEP

Tableau.III.02 : Forages de complexe intercalaire C.I choisis (D.R.E., A.D.E.,2018)

Forages	Année de réalisation	Les coordonnées			Prof (m)	Débit (l/s)	Usage
		X	Y	Z			
Sidi Amrane (Djamaa)	1981	5°58'884"	33°52'677"	62	1818	80	Mixte
Sidi Amrane (Djamaa)	1997	5°54'483"	33°57'343"	26	1880.36	180	Mixte
El Meghaier (El Meghaier)	1999	06°02'05"	33°41'14"	-17.07	2213.1	120	IRR
El Meghaier (El Meghaier)	1998	5°58'35.7"	33°34'53.7"	-4.1	2220	120	IRR
Temacine (Touggourt)	1984	05°58'47"	32°56'40"	95	1580	140	AEP
Nezla (Touggourt)	1974	06°04'19"	33°07'13"	89	1760	150	AEP

III.2. Conditions et mode d'échantillonnage :

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté, il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc.).

En outre Le matériel de prélèvement doit faire l'objet d'une attention particulière. L'emploi de flacons neufs en verre borosilicaté ou en polyéthylène haute densité avec des bouchons en téflon lavés avec une solution détergente à chaud et rincés avec de l'eau distillée puis séchés. Ces flacons sont susceptibles de réutilisation après un lavage adéquat si l'échantillon n'est pas excessivement pollué. Les flacons destinés au prélèvement pour l'analyse des éléments minéraux seront traités à l'acide nitrique. tous ces étapes sont réalisés à l'aide de laboratoire d'A.D.E d'El Oued.

III.3. Appareils utilisés et mode opératoire :

III.3.1. potentiel hydrogène 'PH' :

- Méthode Potentiométrique

Principe de la méthode :

Détermination potentiométrique de la concentration des ions hydrogènes dans l'eau.

Réactifs :

- 1- solution tampon à PH = 4
- 2- solution tampon à H = 6.9
- 3 - solution tampon à PH = 9.2

Mode opératoire :

Après avoir étalonné le PH-mètre à l'aide des solutions tampons, on lave soigneusement les électrodes avec l'eau distillée. Ensuite, on les introduit dans la solution, agitée pour déterminer son PH .



Photo.III.01 : Appareil PH mètre.

III.3.2. Conductivité électrique :

Principe de la méthode :

La conductivité électrique offerte d'une eau au passage du courant électrique est fonction directe de la concentration ionique de la solution. Sa détermination donne donc une mesure indirecte des substances dissoutes.

Mode opératoire :

On lave soigneusement les électrodes à l'eau distillée, et on les plonge dans l'échantillon. agitée. Ensuite, on lit la température de l'échantillon et on la fixe sur le compensateur du conductimètre. Enfin, on lit la conductivité sur l'échelle, le résultat est exprimé en $\mu\text{S}/\text{cm}$ et mS/cm .



Photo.III.02 : Appareil conductivimètre.

III.3.3. Température :

La mesure de la température est effectuée sur le terrain sur le thermomètre après son immersion dans l'eau pendant une durée de 10 minutes.



Photo.III.03 : thermomètre.

III.3.4. Calcium :

Il pourrait se déterminer par l'utilisation de la méthode par absorption atomique basée sur la propriété qu'ont les atomes neutre d'absorber à une certaine longueur d'onde un quantum d'énergie.

On acidifie par 1 ml de HCl un échantillon de 100 ml d'eau. On porte à l'ébullition. Après refroidissement, ramener au volume initial. On dilue à l'aide de la solution de chlorure de strontium de façon à ramener les teneurs dans les limites de la courbe d'étalonnage. La lecture s'effectue à une longueur d'onde de 422.67 nm tout en se rapportant à la courbe d'étalonnage.

III.3.5. Magnésium:

On évapore le filtrat acétique provenant de la précipitation du calcium jusqu'à environ 150 ml. On ajoute 2 gouttes de HCl puis 20ml phosphate d'ammonium à 25%. On porte à l'ébullition. On neutralise la solution encore chaude par de l'ammoniaque puis ajouter 1/5 de volume d'ammoniaque pure. Agiter et laisser au repos 12 heures à la température ambiante. Filtrer sur filtre sans cendres et laver la précipité a l'ammoniaque au 1/2. Sécher puis calciner au rouge vif dans une capsule tarée. Peser, soit P mg de pyrophosphate de magnésium.



Photo.III.04 : Spectrophotomètre d'absorption atomique.

III.3.6. Sodium :

Dans deux tubes à centrifuger conique de 15 ml. On introduit dans le premier 2 ml d'eau analysé et 11 ml de réactif ZUA et dans le second 2 ml d'eau distillée et 11ml de ZUA. On mélange avec un agitateur 2 mn et on laisse reposer pendant 15mn. On centrifuge pendant 15 mn puis on décante le liquide surnageant. On lave le précipité en le remettant en suspension dans 2 ml d'alcool acétique puis on centrifuge et laisse ce décanter.

Enfin, on effectue les lectures au spectrophotomètre à la longueur de l'onde de 420 nm. On se reporte à la courbe d'étalonnage.

III.3.7. Potassium :

On évapore au bain marie 100 ml d'eau à analyser en présence de 1 ml de solution de soude au 1/4. Porte le résidu à l'étuve à 180°C 2 heures. Reprendre par 5 à 10 ml d'eau distillée chaude acidifié par HCl. Transvaser dans un tube à centrifuger puis traiter ensuite la solution comme les tubes étalons. Enfin, on effectue les lectures au spectrophotomètre à 590 nm tout en se reportant à la courbe d'étalonnage.

III.3.8. Anhydrique carbonique :

Dans une fiole jaugée de 200 ml. On introduit 10 ml de solution d'hydroxyde de sodium N/40, puis on complète avec de l'eau à analyser. On ajoute 6 à 8 gouttes de solution de phénolphaléine.

On titre ensuite avec HCl N/10 jusqu'à décoloration. La quantité de CO₂ en ml litre est donnée par l'expression : $1.0526A \times 22$



Photo.III.05 : Titration.

III.3.9. Sulfates :

On introduit 100 ml d'eau à analyser dans un bécher. On ajoute 5 ml de HCl à 10%. On chauffe jusqu'à ébullition. On fait tomber goutte à goutte 20 ml de solution de chlorure de baryum à 10%. On prolonge l'ébullition et on laisse reposer. On décante sur un filtre puis on lave le précipité avec H₂O. On calcine et on refroidit dans un dessiccateur et on pèse. Soit P le poids de sulfate de baryum trouvé. La teneur en sulfates en mg/l est : $P \times 10 \times 0.416$.



Photo.III.06 : dessiccateur et balance.

III.3.10. Chlorures :

On introduit 10 ml d'eau à analyser filtrée dans un erlenmeyer de 250 ml. On ajoute 2 à 3 gouttes de HNO_3 puis une pincée de CaCO_3 et 3 gouttes de solution de chromate de $\text{K} + 10\%$. On verse par une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à l'apparition d'une teinte rougeâtre. Soit V le nombre de ml de nitrate d'argent $\text{N}/10$ utilisés. La teneur en mg de chlorure par litre d'eau est : $V \cdot 10 \cdot 5.85$.



Photo.III.07 : Burette

CHAPITRE IV

Résultats et discussions

Chapitre IV : résultats et discussions

IV.1. Introduction :

On sait que les caractéristiques chimiques des eaux souterraines sont presque toujours Influencées par la nature physico-chimique du terrain constituant leurs aquifères.

De plus la vitesse de circulation dans l'aquifère est un facteur important, suivant lequel les contacts eaux et sol peuvent être court ou long, diminuant ou augmentant l'importance des échanges ioniques entre l'eau et le terrain qui les contient, par ailleurs

on sait que la perméabilité d'un aquifère est un facteur important agissant sur la vitesse de circulation de la nappe contenue suivant sa pente (Aya,B.,2014).

Nous exposons dans ce chapitre les caractéristiques physico-chimiques de différentes nappes (C.T et C.I) dans la région d'étude et nous allons faire une interprétation des résultats des compositions chimiques.

Les éléments dosés ont été portés essentiellement sur les cations (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ et K^+) et les anions (Cl^- , HCO_3^- et NO_3^-).

Le principal objectif de cette étude est de donner un aperçu sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines de différents nappes (C.T et C.I) et la comparaison entre eux d'une part, et entre les normes de potabilité Algérienne et celles de l'OMS d'autre part. Grâce à l'échantillonnage suffisamment représentatif de la nature des eaux de la région, aussi bien les eaux destinées à l'alimentation en eau potable que les eaux d'irrigation.

IV.2. Identification des faciès chimiques des eaux :

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

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

Les principales classifications basées sur la composition chimique des eaux naturelles et les plus utilisées sont celles de PIPER, STABLER et SCHOELLER.

IV.2.1. Diagramme de Piper :

C'est une représentation graphique de la chimie d'un ou plusieurs échantillons d'eau. Les anions et les cations sont représentés dans deux diagrammes ternaires distincts. Les deux diagrammes ternaires sont projetés dans un losange déterminant le faciès chimique d'une eau.

Ce type de représentation est particulièrement adaptée pour étudier l'évolution, dans le temps, du faciès des eaux.

Les diagrammes de nos analyses sont représentées sur les figures : (IV.01) (IV.02). Selon ces diagrammes, on remarque que :

a - Dans les cas de eaux de la nappe C.T ce diagramme de piper, permet d'avoir une approche globale de la composition chimique des eaux souterraines. Nous remarquons que la plus part des eaux analysées (75%) présentent un faciès Chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes et (25%) présentent un faciès chloruré sodique et potassique, en liaison avec la nature lithologique des terrains aquifères.

b - Dans les cas de eaux de la nappe C.I , On remarque que les eaux analysées présentent un faciès Chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes en liaison avec la géologie de l'aquifères.

Tableau IV.01 : Relatif aux analyses physico-chimique de la nappe Albien (mg/l).**(résultats, 2018)**

Forage	T°C	pH	e25°C	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	TH	RS
SIDI AMRANE (DJAMAA)	54,6	7,24	2210	180,36	72,915	170	32	183	418,345	351	0,012	1,126	750	1932
SIDI AMRANE (DJAMAA)	56,8	7,13	2210	200	72,9	190	30	177	347	452	0	1,3	800	1640
El Meghaier (Meghaier)	55,4	7,39	2310	168	80,2	200	34	189	560	202	0	2,1	750	1920
El Meghaier (Meghaier)	53	7,23	2200	200,4	80,6	160	33	195	531	637	0	1,16	830	1800
Temnacine Touggourt	51,2	7,19	2910	168	255	150	30	107	500	830	0	0	780	1900
Nezla Touggourt	54	7,26	3040	168	320	220	33	106	725	838	0	0	790	1690

Tableau IV.02 : Relatif aux analyses physico-chimique de la nappe Complexe Terminal (mg/l).**(résultats, 2018)**

Forage	T°C	pH	e25°C	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	TH	RS
Sidi Khilit(Meghaier)	27,7	7,9	2010	425	125	217	43	170,8	775	787	0	0,2	1220	2064
Meghaier (Meghaier)	26	7,6	4540	463	290	775	62	161,04	1475	2115	0	0	1250	2986
TENDLA DJAMAA	18,6	7,77	4110	394	307	1200	36,8	176,9	1625	2625	0	1,75	1300	3078
SIDI AMRANE DJAMAA	15,6	7,61	3970	502	200	786	21,8	158,6	1260	1812	0	19	1250	4082
DJAMAA DJAMAA	24,6	7,57	3700	480	179	720	20,8	164,7	1125	1813	0	15	1250	3964
Temnacine Touggourt	14,2	7,69	3720	502	192	722	20,8	164,7	1268	1824	0	15,5	1380	4002

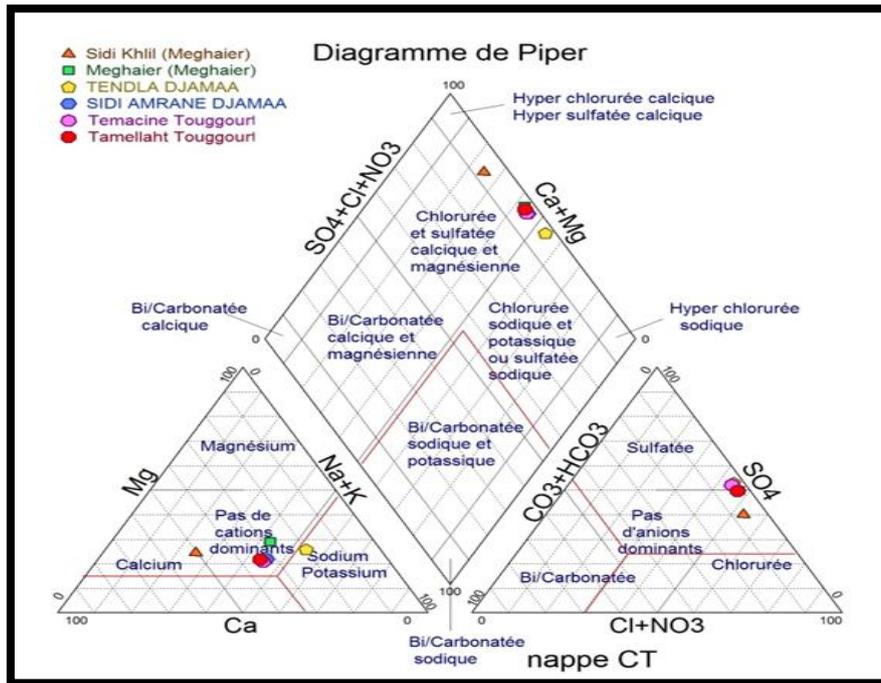


Figure.IV.01: Diagramme de piper des eaux de la nappe CT (région d'Oued-Righ, Avril 2018).

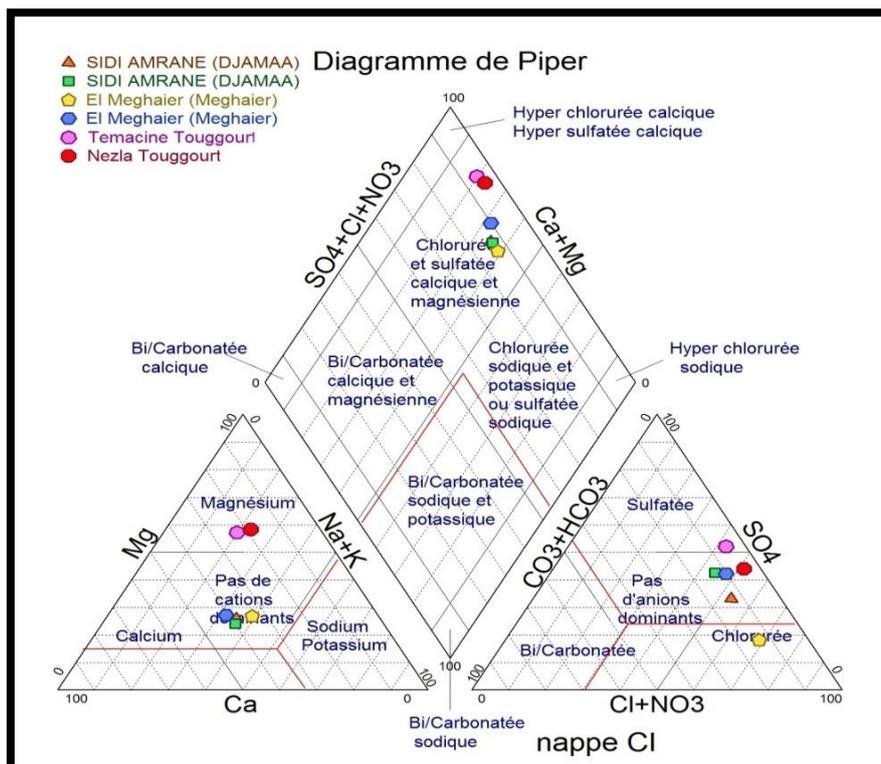


Figure.IV.02 : Diagramme de piper des eaux de la nappe C.I (région d'Oued-Righ, Avril 2018).

IV.2.2. Diagramme de Schoeller- Berkaloff :

Il permet de représenter le faciès chimique de plusieurs eaux à la fois.

La concentration de chaque éléments chimiques est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. Une ligne brisé est formée en reliant tous les points figurant les différents éléments chimiques. Les concentrations sont exprimées en en mg/1 ou meq/1.

a - Selon la figure IV.05 (eaux de la nappe CT). On remarque presque les droites se superposent coté anions et présentent une légère divergence du côté des cations. Mais indiquent dans tous les cas la dominance des sulfates et du sodium et donc un faciès pour tous les échantillons de type sulfaté sodique. Les anions dominants sont :

$\text{SO}_4^{--} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$, et les cations dominants sont : $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++}$.

b - D'après la figure IV.06 (eaux de la nappe Cl). il est noté qu'il existe une superposition à la coté anion et présentent une légère divergence du côté des cations. mais en général on a le même faciès qui prédomine le sulfaté calcique. Les anions dominants sont :

$\text{SO}_4^- > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$, et les cations dominants sont : $\text{Ca}^{++} > \text{Na}^+ > \text{mg}^{++}$.

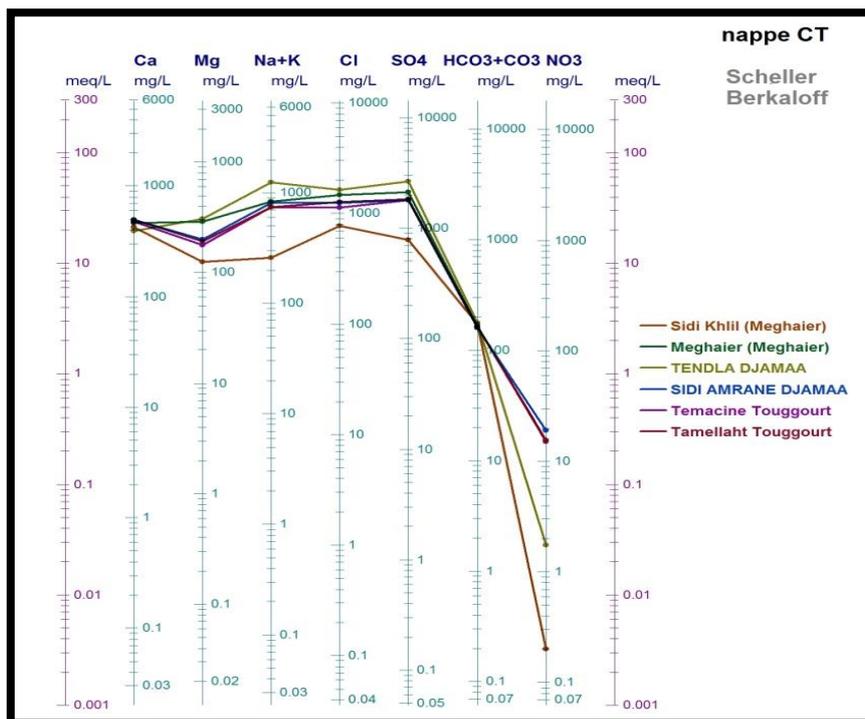


Figure.IV.03 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la nappe C.T (région d’Oued-Righ,Avril 2018).

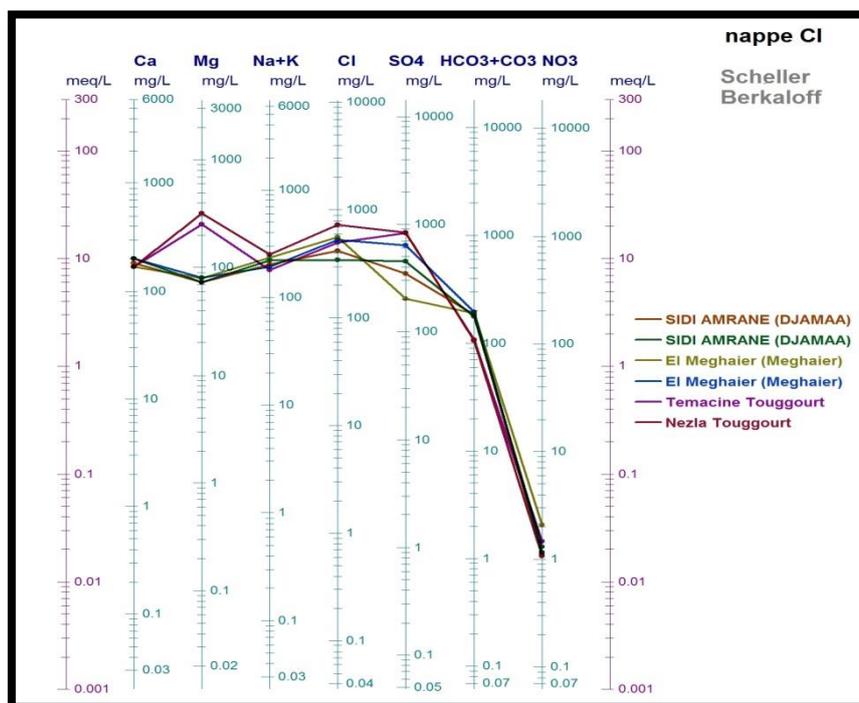


Figure.IV.04 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la nappe C.I (région d’Oued-Righ,Avril 2018).

IV.2.3. Aptitude des eaux à l'irrigation :

L'aptitude des eaux à être utilisées pour l'irrigation, peut être évaluée par un certain nombre de coefficients plus ou moins fiables parmi lesquels :

- Le pourcentage en sodium (Na %).
- Sodium adsorption ratio (S.A.R).

❖ Sodium Adsorption Ratio (S.A.R) :

Le S.A.R est un indice qui mesure le danger que représente l'existence d'une teneur donnée en sodium dans l'eau.

Il se calcule par la formule suivante :

$$S.A.R = \frac{Na+}{\sqrt{\frac{1}{2}(Ca+Mg)}}$$

Où tous les éléments sont exprimés en méq/l . les valeurs de SAR ont été calculées à partir des données des analyses chimiques.

Le report des résultats sur ces diagrammes montrent que les eaux souterraines de la région de Oued-Righ appartiennent à deux classes (figures (IV.7), (IV.8), et le tableau IV .1 et le tableau IV.2).

Il s'agit de C4-S1 C4-S2 de qualité médiocre et C4-S3 de mauvaise qualité. La qualité des eaux pour l'irrigation est donc du type médiocre à mauvais. En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.

Tableau.IV.03 : Classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation par la méthode du S.A.R (M.Louvrier 1976 -B.R.G.M) (Source: BRINIS N 2011).

Degré	Qualité	Classe	L'état d'utilisation
1	Excellente	C1-S1	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart du sol.
2	Bonne	C2-S1 C2-S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel sur sols ayant une bonne perméabilité
3	Admissible	C3-S1 C3-S2 C2-S3	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée
4	Médiocre	C4-S1 C4-S2 C3-S3	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés
5	Mauvaise	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions. Sol très perméables, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel.

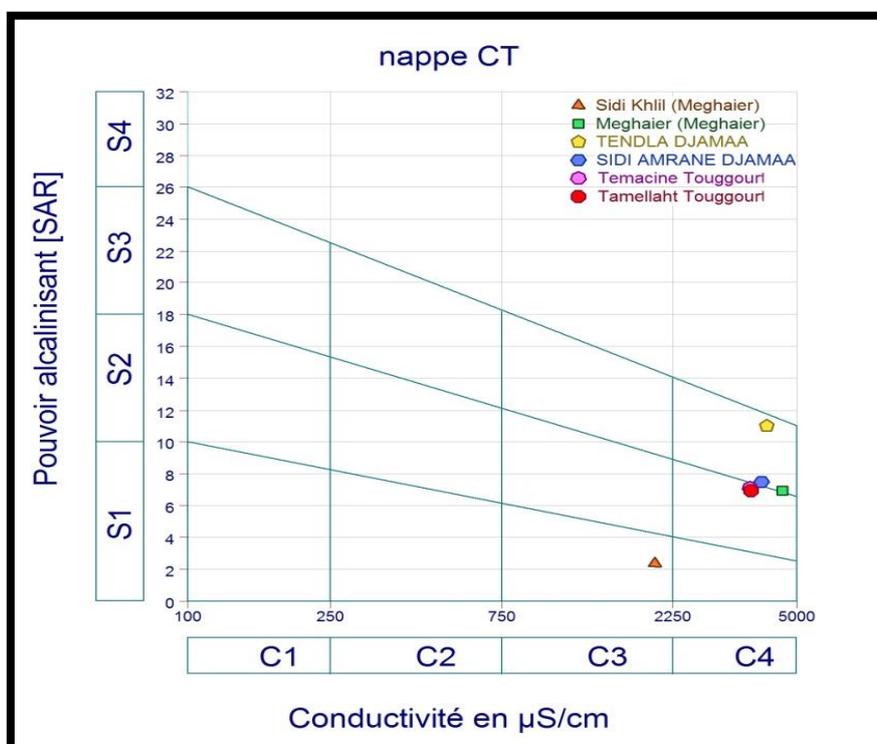


Figure.IV.05 : Classification des eaux de la nappe C.T pour l'irrigation selon la méthode de SAR (région d'Oued-Righ,Avril 2018).

IV.3.1. Potentiel hydrogène (PH) :

Le pH indique la concentration en ions H^+ présents dans l'eau ou plus exactement le cologarithme décimal de cette concentration (exprimé en mol/l). Pour les eaux naturelles, le pH est fonction des concentrations en gaz carbonique dissous (CO_2 libre) et en bicarbonates dissous (HCO_3^-). Le pH influe sur les différents procédés de traitement physico-chimique.

$$pH = 10 - \log [H_3O^+]$$

Le pH des eaux naturelles est généralement compris entre 6,5 et 8,5. La concentration des ions (H^+) est exprimée par le logarithme décimal de l'inverse de cette concentration :

$$pH = \log[1/H^+]$$

L'échelle du pH varie de 0 à 14 :

- Pour un milieu neutre ($H^+ = OH^-$) ou $pH = 7$.
- Pour un milieu acide ($H^+ > OH^-$) ou $pH < 7$.
- Pour un milieu basique ($H^+ < OH^-$) ou $7 < pH < 14$.

Les valeurs de pH mesurées pour tous les échantillons prélevés dans les nappes de la région d'étude (Tableau IV.04) paraissent proches de la neutralité à légèrement alcalins dans la zone d'étude avec de faibles écarts types. Dans l'histogramme (fig.IV.07) et pour juste comparer les valeur de pH obtenus avec le pH neutre.

Tableau.IV.04 : Valeurs du PH.

Les nappes	Valeur Max	Valeur Min	Valeur Moy	Ecart-type	Coefficient de variation
CI	7,39	7,13	7,24	0,095	0,013
CT	7,9	7,57	7,69	0,13	0,002

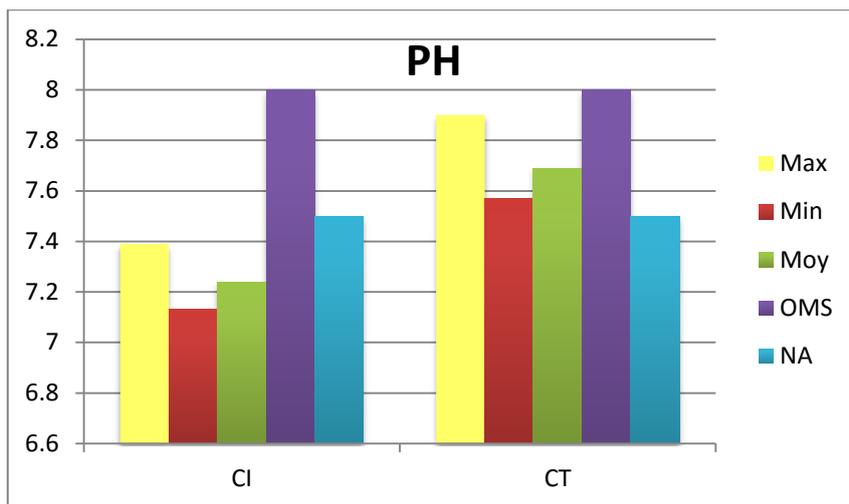


Figure.IV.07 : Valeurs du PH pour l’AEP.

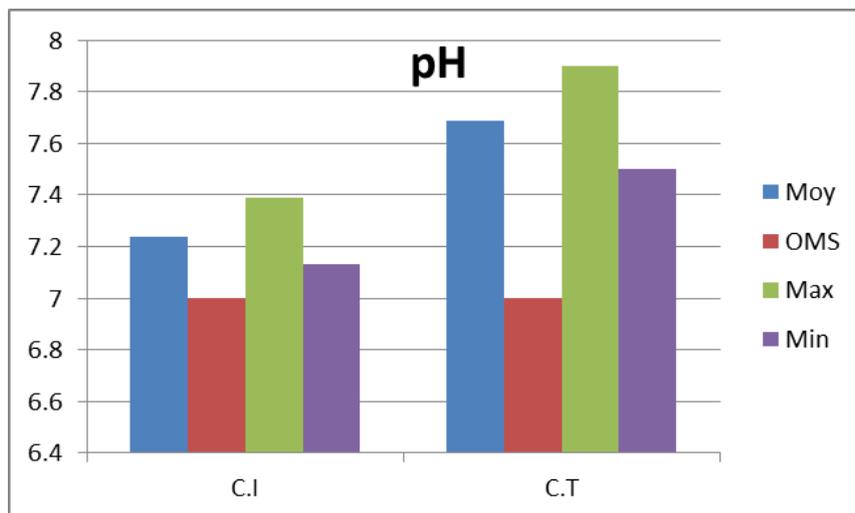


Figure.IV.08 : Valeurs du PH pour l’irrigation.

IV.3.2. Température (°C) :

La température joue un rôle primordial dans la solubilité des sels et des gaz et par conséquent sur la conductibilité. Elle permet de différencier entre les eaux qui circulent en profondeur et celles qui circulent près de la surface, donc sur son origine.

Les températures (Tableau IV.05) on remarque : pour de la nappe complexe terminal est thermiquement homogènes et dans les normes de potabilité.

La nappe de l'albien se caractérise dans la région d'étude par des eaux à températures très élevées (des eaux thermales), la température est de l'ordre de 56°C ceci implique la nécessité d'un refroidissement avant la distribution urbaine.

Tableau.IV.05 : Valeurs de la Température (°C).

Les nappes	Valeur Max	Valeur Min	Valeur Moy	Ecart-type	Coefficient de variation
CI	56,8	51,2	54,3	2,859	0,053
CT	27,7	14,2	21,9	4,467	0,204

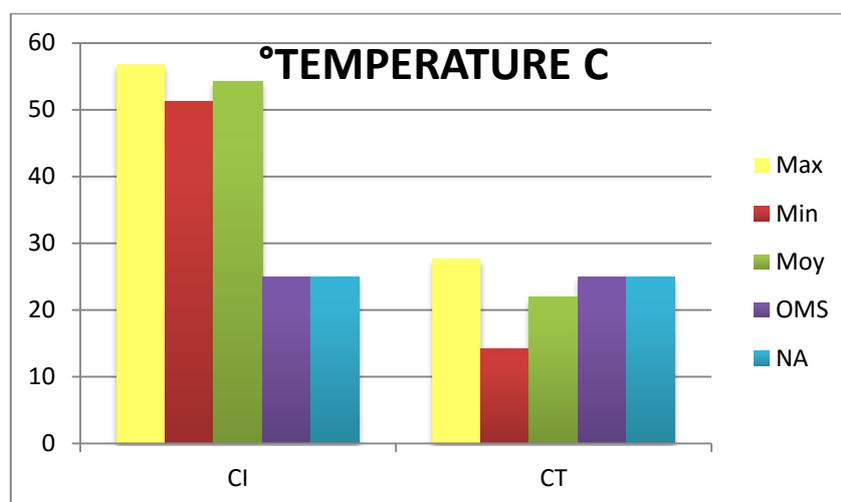


Figure.IV.09: Valeurs de la Température (c°) pour l'AEP.

IV.3.3. Conductivité électrique CE :

La conductivité électrique est un moyen important d'investigation en hydrogéologie. Sa mesure est précise et rapide .sa variation est liée à la nature des sels dissous et leur concentration. Elle correspond à la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1cm² de surface.

Elle est exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$. Généralement les valeurs sont ramenées à 25° C.

La conductivité, ou son inverse la résistivité, permet donc une estimation de la minéralisation des eaux. On sait qu'une eau salée est très conductrice, par contre une eau pure est très résistante.

Toutes Les valeurs obtenus de la conductivité indiquent une minéralisation élevée car elles sont toutes globalement ($>1000 \mu\text{S}/\text{cm}$). De plus elles correspondent à des valeurs de minéralisation totale dépassant les normes algériennes de potabilité (soit 2800 mg/l).

Remarquons enfin que cette salinité est avant tout d'origine géologique (salinité primaire).

Notons ici que les valeurs de la C.E en tant que valeurs supérieures pour l'eau de C.T (3893 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et de valeur minimum pour le C.I (2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) Ceci nous amène à programmer des stations de dessalement (déméralisation) afin d'améliorer la qualité de cette eau et sa potabilité.

Tableau.IV.06 : Valeurs de la conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Les nappes	Valeur Max	Valeur Min	Valeur Moy	Ecart-type	Coefficient de variation
CI	3040	2200	2480	387,7	0,156
CT	4540	2010	3675	871,7	0,24

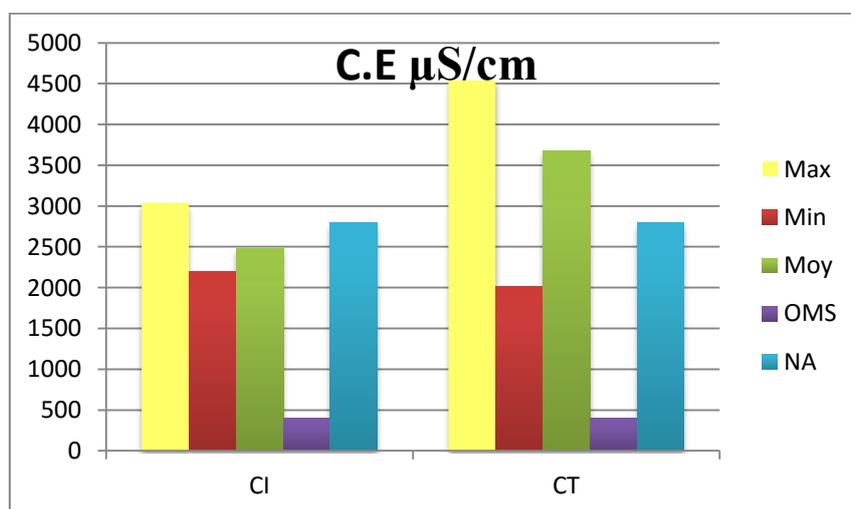


Figure.IV.10 : Valeurs de la conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$) pour l'AEP.

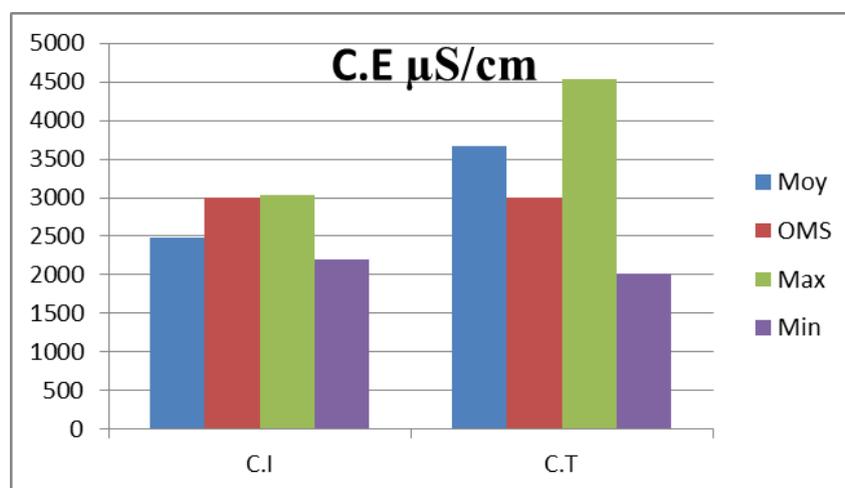


Figure.IV.11 : Valeurs de la conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$) pour l'irrigation.

IV.3.4. Titre Hydrotimétrique :

La potabilité de l'eau peut être évaluée par la dureté ou le titre hydrotimétrique (TH) qui correspond à la somme des concentrations en calcium (Ca^{++}) et en magnésium (Mg^{++}).

L'origine de la dureté est la constitution géologique du sol qui est riche en roches sédimentaires.

$$\text{TH} = \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} \text{ (mégq/l)}$$

$$\text{Delta TH} = (\text{Ca}^{++} + \text{mg}^{++}) \times 5 \text{ (°F)}$$

La dureté en degré français: $1^\circ\text{F} = 10 \text{ mg/l CaCO}_3$

La dureté de l'eau influe essentiellement sur l'état des canalisations, des appareils de chauffage, sur le lavage du linge (mousse difficilement), elle durcit les légumes secs à la cuisson et goût désagréable au thé. Une eau dure donne des dépôts de tartre dans les canalisations, les bouilloires et chauffe-eau, ainsi que dans les filtres des robinets. D'autre part, ces dépôts carbonatés ont un effet bénéfique en protégeant les conduites de la corrosion.

Les résultats obtenus de la dureté, pour tous les échantillons prélevés dans les nappes de la région d'étude classées dans le tableau IV.07. On observe que la dureté affiche des valeurs maximales dans les eaux de C.T (1380 mg/l), et des valeurs minimales dans le C.I (750 mg/l).

Tableau.IV.07 : duretés des eaux de la région de l'Oued-Righ (mg/l).

Les nappes	Valeur Max	Valeur Min	Valeur Moy	Ecart-type	Coefficient de variation
CI	830	750	783,3	34,45	0,043
CT	1380	1220	1275	57,53	0,045

D'après les normes de potabilité des eaux établies par l'O.M.S (2012), on remarque que pour tous les échantillons prélevés, le titre hydrotimétrique minimal dépasse 54°F , ce qui montre que les eaux de notre région sont très dures.

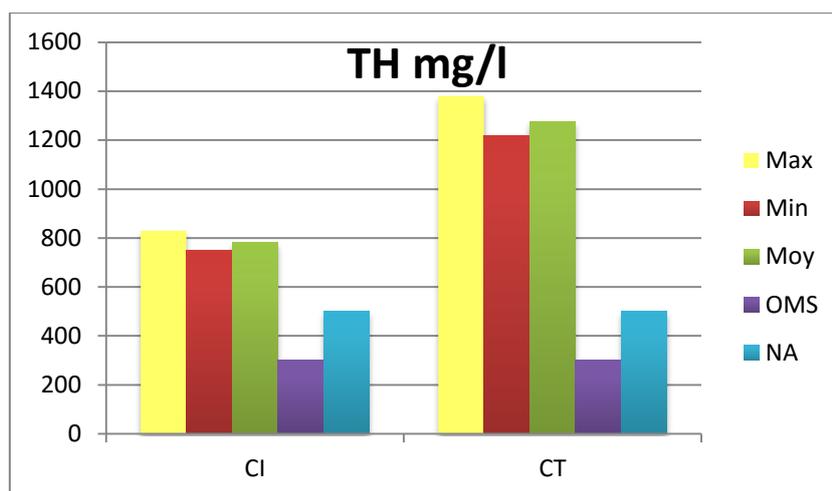


Figure.IV.12 : Valeurs des duretés des eaux de la région de l'Oued-Righ (mg/l) pour l'AEP.

IV.3.5. Résidu sec (RS) :

Exprimé en milligramme par litre (mg/l), il représente la minéralisation totale de l'eau, c'est-à-dire la totalité des sels dissous et la matière organique contenue dans l'eau, obtenue par pesées après dessiccation de l'échantillon à 105°C.

Cette teneur en résidu sec est liée à la nature lithologique des formations.

Tableau.IV.08 : Valeurs de Résidu sec (mg/l).

Les nappes	Valeur Max	Valeur Min	Valeur Moy	Ecart-type	Coefficient de variation
CI	1932	1640	1814	108,45	0,059
CT	4082	2064	3362,7	799,6	0,237

D'après le tableau IV.08, on remarque que ces concentrations dépassent les normes de potabilité algérienne (2000 mg/l) et de l'O.M.S (1500 mg/l), surtout dans les deux aquifères C.T (3362,7 mg/l).

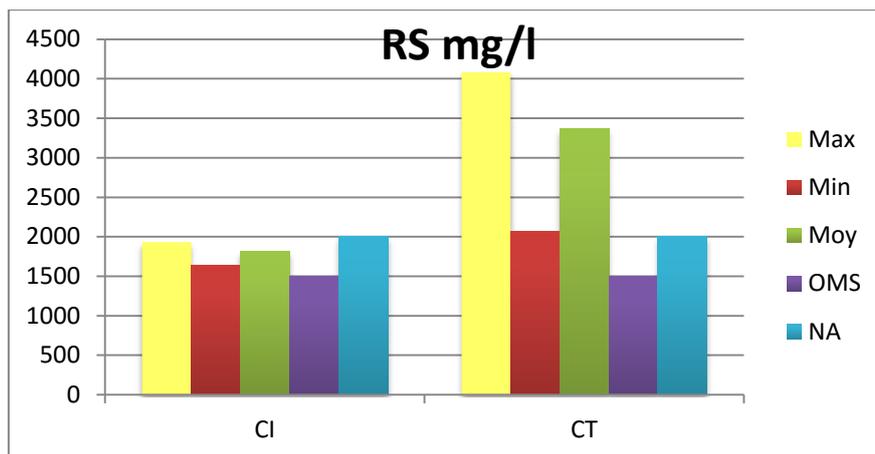


Figure.IV.13 : Valeurs de Résidu sec (mg/l) pour l’AEP.

IV.3.6. Calcium Ca²⁺ :

Le calcium provient soit de la dissolution des formations carbonatées CaCO₃, soit à la dissolution des gypses CaSO₄ (H₂O)₂. La dissolution qui s’en suit est favorisée par le gaz carbonique provenant de l’atmosphère et du sol.

Les teneurs trouvés de calcium (tableau IV.09) varient entre 180mg/l et 461 mg/l comme moyenne dans le C.I et le C.T respectivement. ces valeurs sont élevées est dépassent la norme fixé par l’O.M.S qui est de l’ordre de 200 mg/l dans le C.T.

Tableau.IV.09 : Valeurs de calcium Ca⁺⁺ (mg/l).

Les nappes	Valeur Max	Valeur Min	Valeur Moy	Ecart-type	Coefficient de variation
CI	200,4	168	180,8	15,77	0,087
CT	502	394	461	43,61	0,094

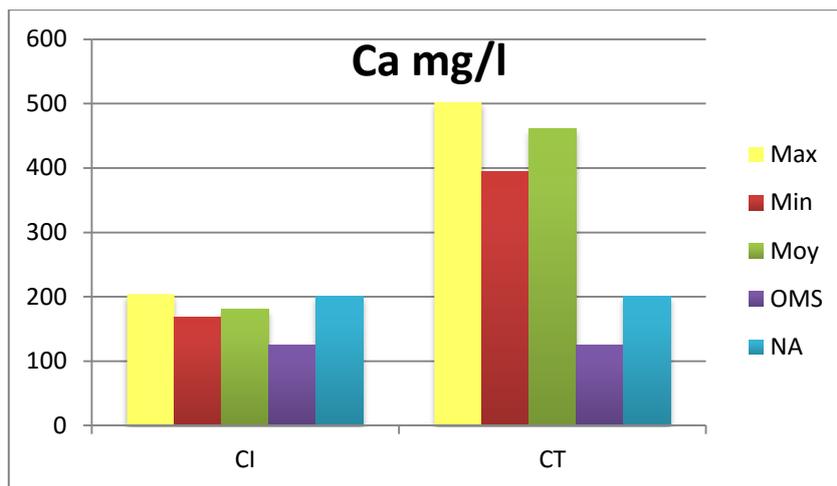


Figure.IV.14 : Valeurs de calcium Ca^{++} (mg/l) pour l'AEP.

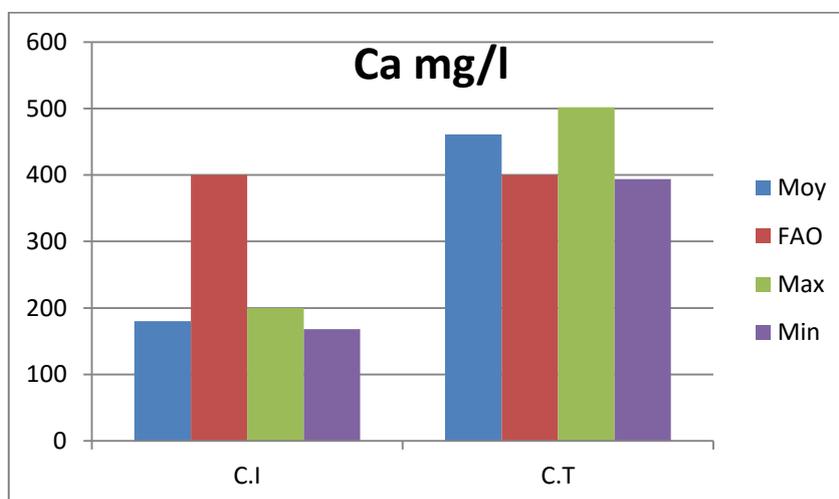


Figure.IV.15 : Valeurs de calcium Ca^{++} (mg/l) pour l'irrigation.

1V.3.7. Magnésium Mg^{2+} :

Second élément intervenant dans la dureté totale des eaux, Ces ions proviennent de la dissolution des roches magnésiennes du gypse et des minéraux ferromagnésiens et surtout de la mise en solution des dolomies et des calcaires dolomitiques. Donc les origines du magnésium sont comparables à celle du calcium.

A partir d'une concentration de 100 mg/l et pour des sujets sensibles, le magnésium donne un goût désagréable à l'eau. S'ils ne provoquent pas de phénomènes toxiques (sauf chez les personnes résultats des insuffisances rénales), les sels de magnésium, essentiellement les sulfates, peuvent avoir un effet laxatif à partir de 400 mg/l.

Tableau.IV.10 : Valeurs de Magnésium Mg^{++} (mg/l).

Les nappes	Valeur Max	Valeur Min	Valeur Moy	Ecart-type	Coefficient de variation
CI	320	72,9	146,93	110,85	0,75
CT	307	125	215,5	69,62	0,323

Les concentrations moyennes observées de magnésium (Tableau IV.10), sont dans les normes algériennes (150 mg/l) concernant le C.I et le C.T, Mais elles sont très élevées comparativement aux normes (O.M.S,2006) qui à la limite de 50mg/l. On existe de magnésium de la région à dû de formation lithologique de terrain.

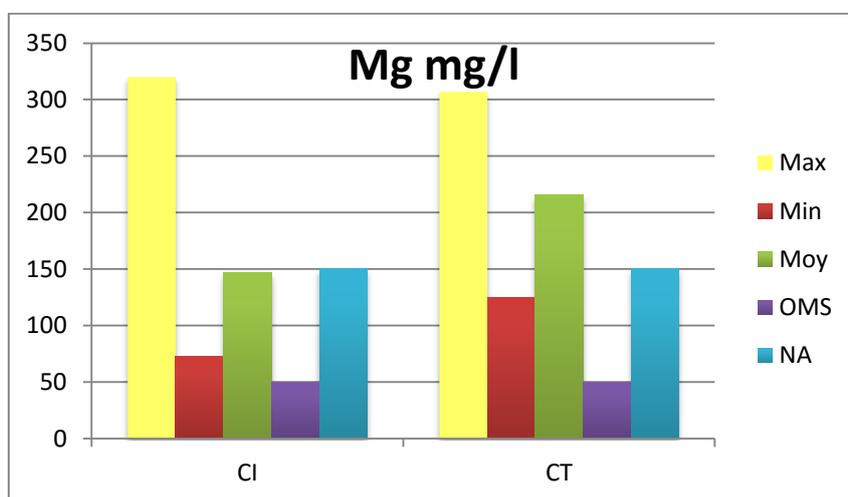


Figure.IV.16 : Valeurs de Magnésium Mg^{++} (mg/l) pour l'AEP.

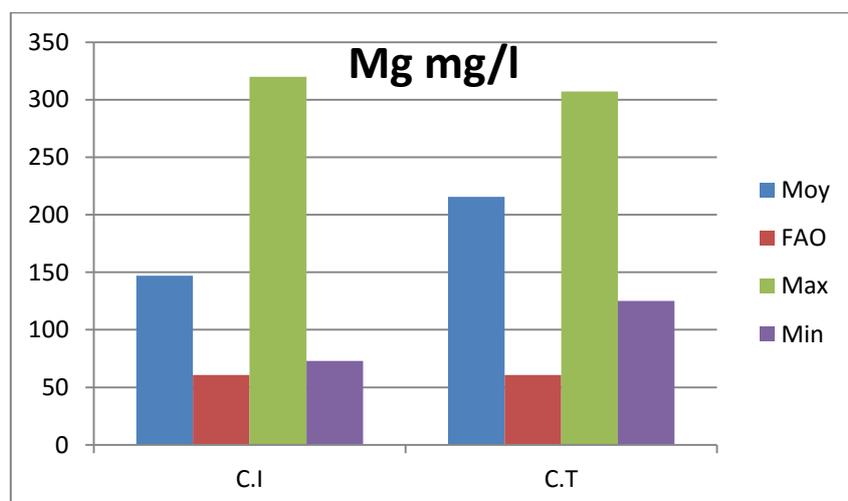


Figure.IV.17 : Valeurs de Magnésium Mg^{++} (mg/l) pour l'irrigation.

IV.3.8. Sodium Na^+ :

Le sodium est toujours présent dans les eaux naturelles en proportion variable.

Le sodium peut provenir du lessivage des formations géologiques riches en NaCl.

L'existence de cet élément est liée, essentiellement, à la dissolution de l'Halite. En effet, les concentrations en sodium obtenus (tableau IV.11), affichent des teneurs élevées dans les eaux du Mio-Pliocène (C.T). Mais elles présentent des valeurs conformes avec les normes de potabilité algériennes et celle de l'O.M.S (200 mg/l) en ce qui concerne le (C.I).

Tableau.IV.11 : Valeurs de Sodium Na^+ (mg/l).

Les nappes	Valeur Max	Valeur Min	Valeur Moy	Ecart-type	Coefficient de variation
CI	220	150	181,66	26,39	0,145
CT	1200	217	836,7	312,7	0,424

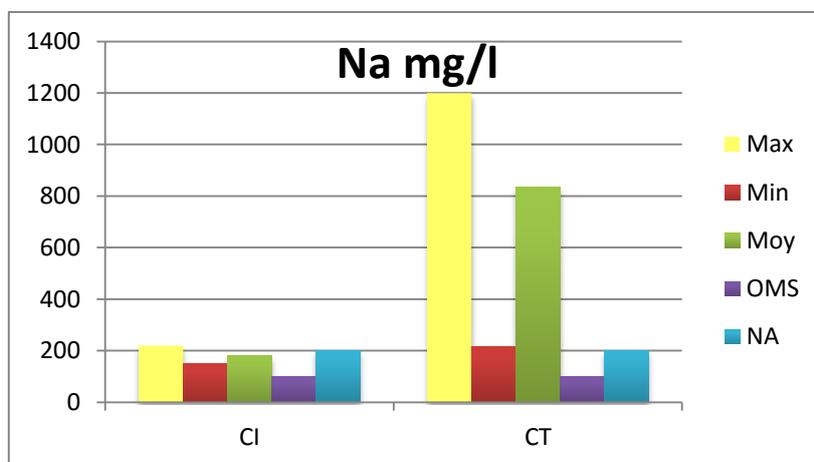


Figure.IV.18 : Valeurs de Sodium Na^+ (mg/l) pour l'AEP.

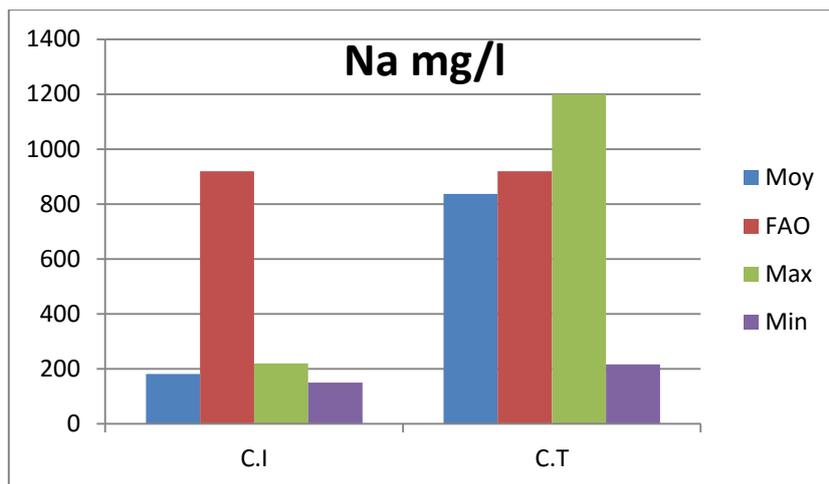


Figure.IV.19 : Valeurs de Sodium Na⁺ (mg/1) pour l’irrigation.

IV.3.9. Potassium K⁺ :

Il provient, essentiellement des évaporites, en l'occurrence la Sylvite (KCl), ou par suite d'altération des argiles potassiques.



Les teneurs en potassium observées dans les eaux (Tableau IV.12) dévoilent des valeurs relativement élevées, en dépassant les normes algériennes de potabilité (20 mg/1) et de l'O.M.S (10mg/1); mais contrairement aux autres éléments, le potassium ne présente pas d'inconvénients pour la santé des individus.

Tableau.IV.12 : Valeurs de Potassium K⁺ (mg/1).

Les nappes	Valeur Max	Valeur Min	Valeur Moy	Ecart-type	Coefficient de variation
CI	34	30	32	1,67	0,052
CT	43	20,8	34,2	16,55	0,0484

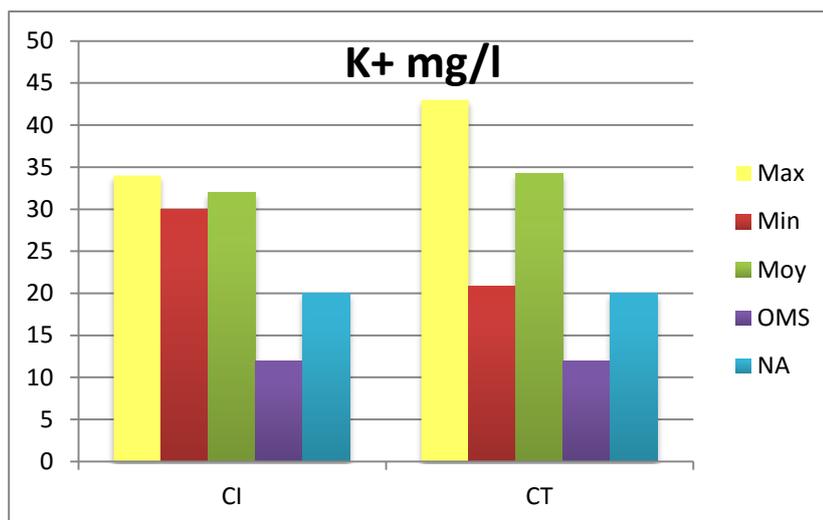


Figure.IV.20 : Valeurs de Potassium K⁺ (mg/l) pour l'AEP.

IV.3.10. Chlorures Cl⁻ :

Les chlorures donnent un goût désagréable et posent le problème de corrosion des canalisations et des réservoirs.

Ils sont très répandus dans la nature, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl), de potassium (KCl), et de calcium (CaCl₂).

Les eaux chlorurées alcalines sont laxative, mais généralement les chlorures présents dans l'eau potable n'ont pas de conséquences toxiques pour l'homme.

Les valeurs de chlorure trouvées (tableau IV.13) sont très élevée et dépassant la norme en vigueur algériennes (500 mg/l) notamment dans le (C.T) (788,5mg/l). On rappelle que les teneurs en chlorure dépassent dans tous les cas la norme O.M.S (250 mg/l).

Tableau.IV.13 : Valeurs de Chlorure Cl⁻ (mg/l).

Les nappes	Valeur Max	Valeur Min	Valeur Moy	Ecart-type	Coefficient de variation
CI	725	347	513,55	129,73	0,252
CT	1134,490	535,340	788,545	188,249	0,239

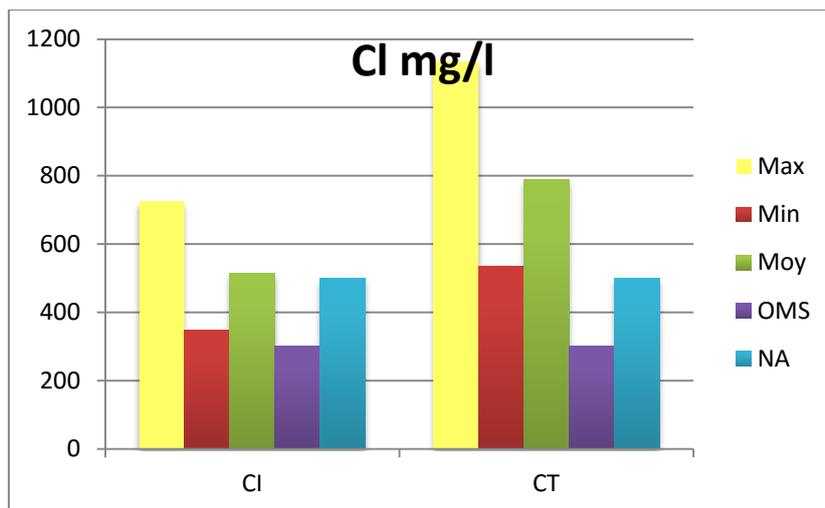


Figure.IV.21 : Valeurs de Chlorure (mg/l) pour l'AEP.

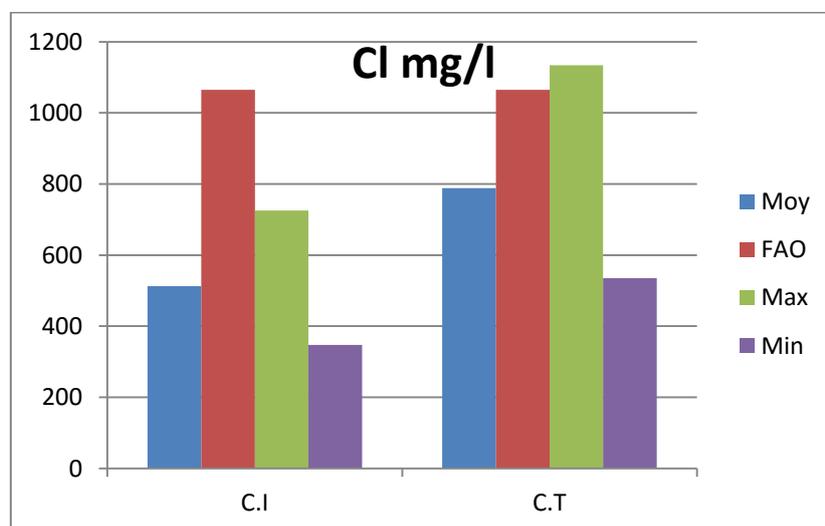


Figure.IV.22 : Valeurs de Chlorure (mg/l) pour l'irrigation.

IV.3.11. Sulfate SO_4^- :

La présence des ions sulfatés dans l'eau leur présence dans l'eau provient de

- La dissolution des formations gypseuses.
- Légère solubilité de $CaCO_4$ avec des passées gypseuses.

Les concentrations des sulfates obtenues (Tableau IV.14) dépassent les normes guide de l'O.M.S (500 mg/l), elles atteignent des concentrations très fortes valeurs dans le (C.T).

Tableau.IV.14 : Valeurs des Sulfates (mg/l).

Les nappes	Valeur Max	Valeur Min	Valeur Moy	Ecart-type	Coefficient de variation
CI	838	202	551,66	280,46	0,508
CT	2625	787	1829	600,29	0,328

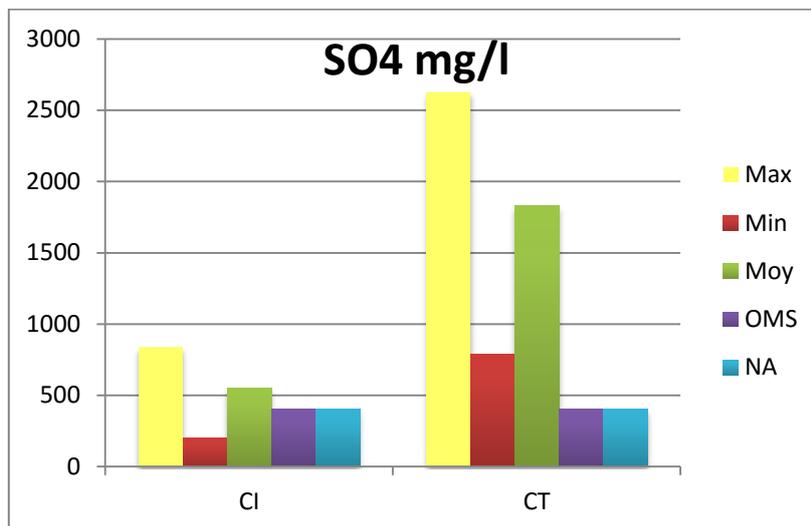


Figure.IV.23 : Valeurs des Sulfates (mg/l) pour l’AEP.

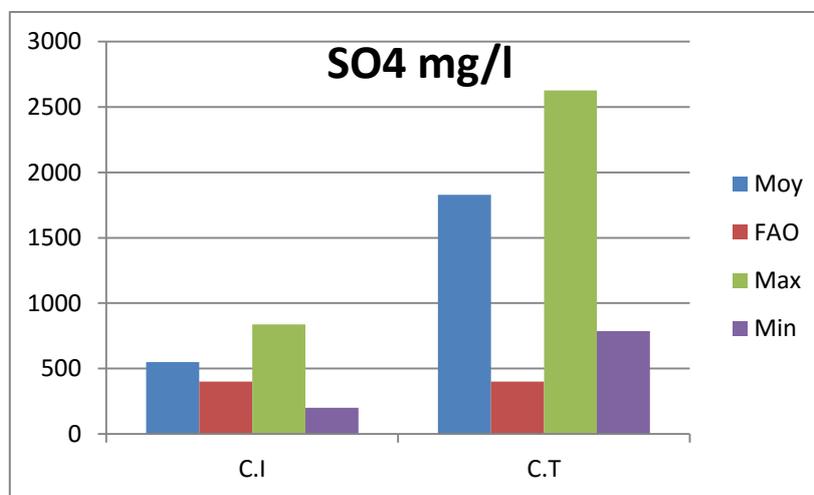
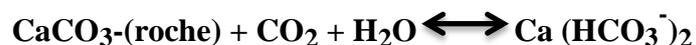


Figure.IV.24 : Valeurs des Sulfates (mg/l) pour l’irrigation.

IV.3.12. Bicarbonates HCO_3^- :

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

Les bicarbonates sont le résultat de l'équilibre physicochimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique, selon l'équation générale suivante :



Selon (le tableau IV.15) Les bicarbonates dans les eaux du complexe terminal C.T présentent des teneurs très élevées (166,123 mg/l), et en moins degré dans l'eau de l'Albien (159.5 mg/l). Généralement on peut dire que toutes les teneurs en bicarbonate dépassant les normes d'O.M.S de potabilité (50 mg/l). Ce qui laisse dire que ces eaux sont agressives.

Tableau.IV.15 : Valeurs des bicarbonates (mg/l).

Les nappes	Valeur Max	Valeur Min	Valeur Moy	Ecart-type	Coefficient de variation
CI	195	106	159,5	41,49	0,260
CT	170,8	158,6	166,123	6,7	0,04

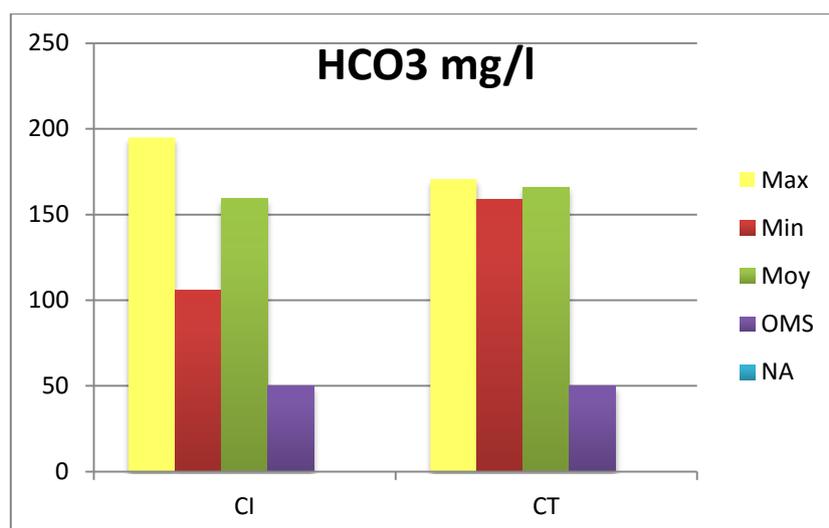


Figure.IV.25 : Valeurs des bicarbonates HCO_3^- (mg/l) pour l'AEP.

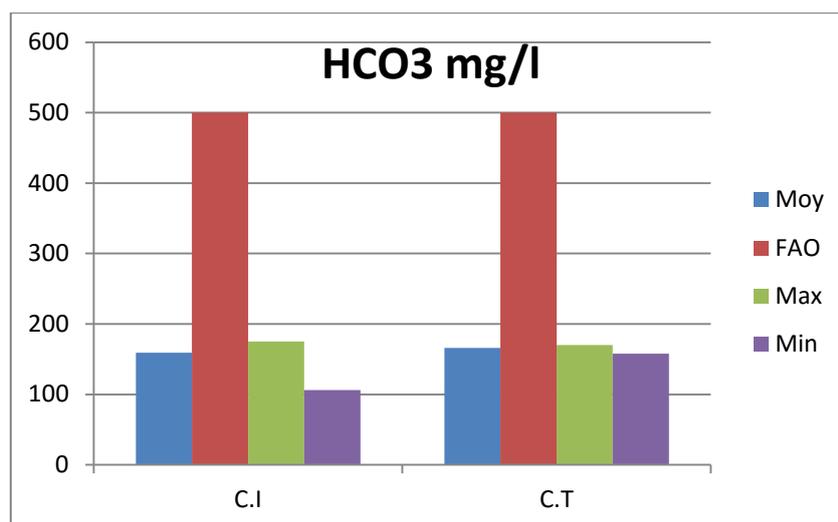


Figure.IV.26 : Valeurs des bicarbonates HCO₃⁻ (mg/l) pour l’irrigation.

IV.3.13. Nitrates NO₃⁻ :

Les nitrates représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, et c'est la forme la plus soluble de ce dernier.

Les teneurs en nitrates trouvées (tableau IV.16) sont faibles et conforme aux normes de potabilité utilisée (50mg/l). Ce qui témoigne d'une activité agricole faible ou les effets n'atteignant pas la nappe étudiée.

Tableau.IV.16 : Valeurs des Nitrates NO₃⁻ (mg/l).

Les nappes	Valeur Max	Valeur Min	Valeur Moy	Ecart-type	Coefficient de variation
CI	2,1	1,072	1,371	0,384	0,280
CT	19,5	0,00	8,575	8,81	0,92

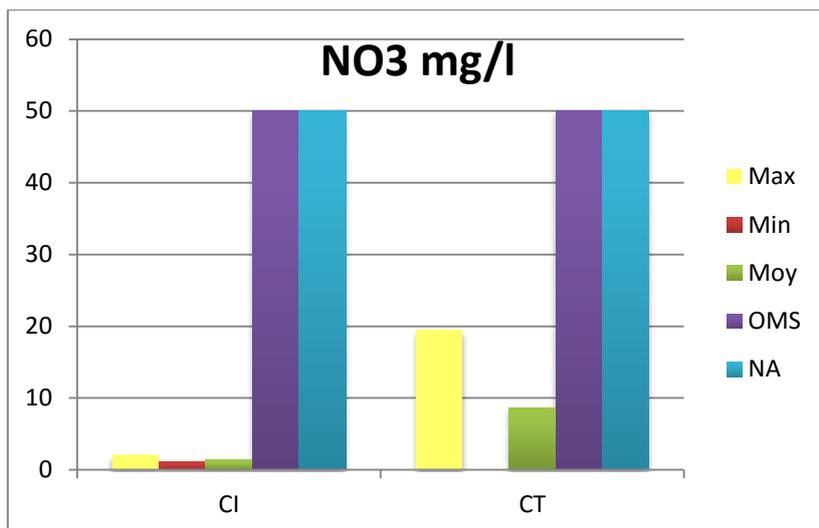


Figure.IV.27 : Valeurs des Nitrates NO_3^- (mg/l) pour l’AEP.

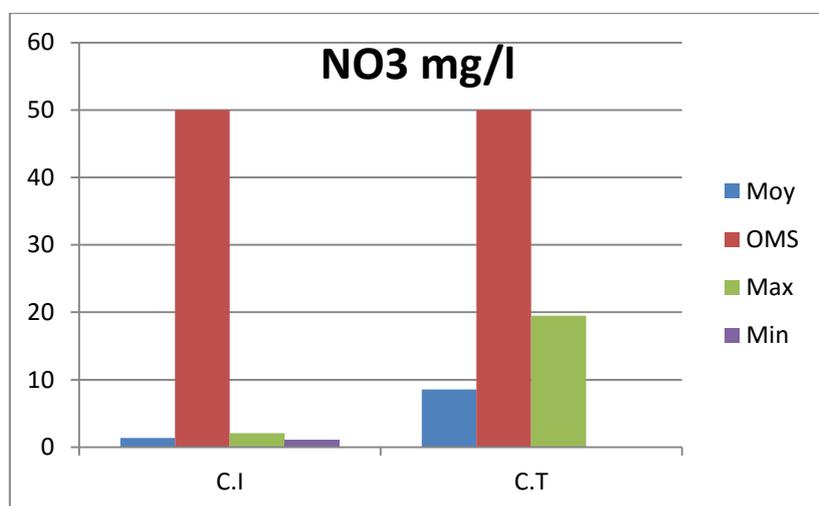


Figure.IV.28 : Valeurs des Nitrates NO_3^- (mg/l) pour l’irrigation.

IV.3.14. Nitrites NO_2^- :

Les nitrites représentent la forme la plus oxygénée et la moins stable de l'azote. Les concentrations de nitrite trouvées (Tableau IV.17) généralement sont faibles et dans les normes algériennes (0,1 mg/l) dans la plupart des échantillons de deux nappes, mais ça n'a pas empêché d'enregistrer des concentrations élevées (0,327mg/l enregistré dans un forage de (C.T)).

Tableau.IV.17 : Valeurs des Nitrites NO_2^- (mg/l).

Les nappes	Valeur Max	Valeur Min	Valeur Moy	Ecart-type	Coefficient de variation
CI	0,016	0,002	0,008	0,007	0,901
CT	0,327	0,000	0,071	0,129	1,812

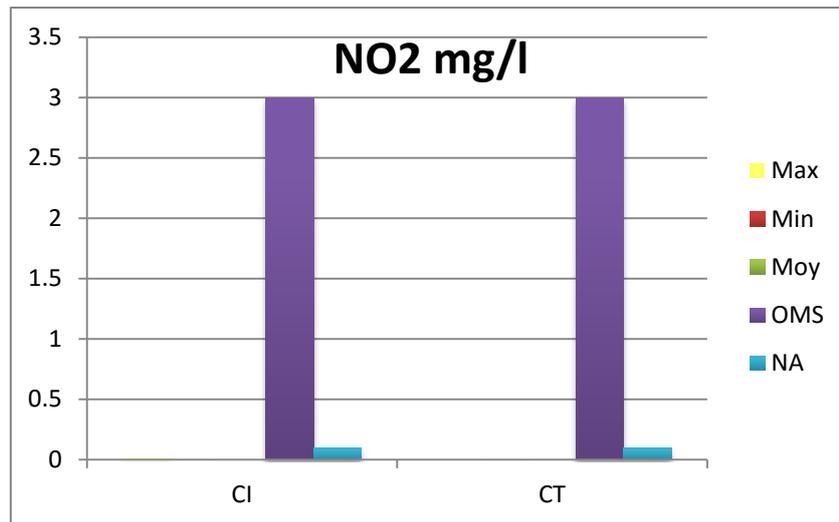


Figure.IV.29 : Valeurs des Nitrates NO_2^- (mg/l) pour l'AEP.

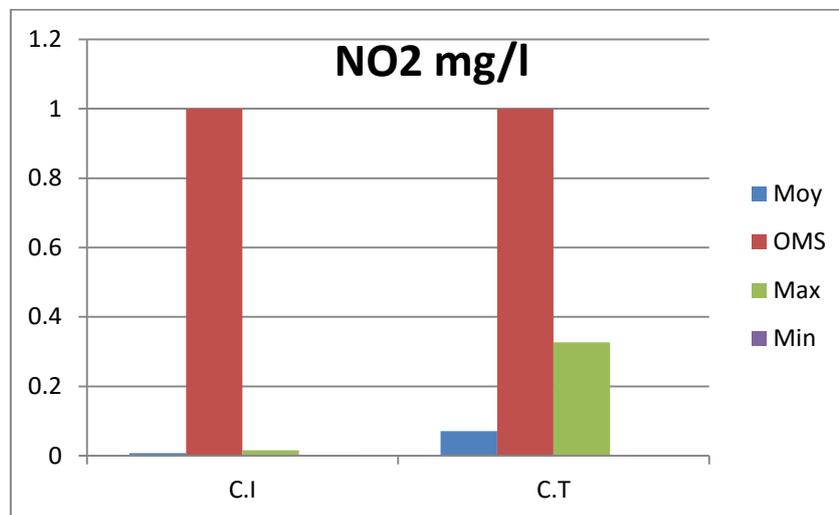


Figure.IV.30 : Valeurs des Nitrates NO_2^- (mg/l) pour l'irrigation.

Conclusion :

D'après les analyses physico-chimique des éléments majeurs nous avons remarqué une forte teneur en magnésium, sodium, chlorures et sulfates et selon la classification des eaux d'après les méthodes de STABLER, Schoeller et Piper on a distingué la dominance des faciès suivants :

- bicarbonaté magnésien pour la nappe du Continental Intercalaire.
- Chloruré sodique pour la nappe du Complexe Terminal.

D'après cette étude on a constaté que les eaux de la région de Oued-Righ sont trop minéralisées et les résultats nous montrent qu'ils dépassent les normes. On peut dire que la minéralisation et la salinité de ces eaux sont d'origine géologique. Selon l'O.M.S. ces eaux dures, et inondent certains zones et présentent des problèmes techniques : la corrosion corrosives, agressives entartrées et minéralisées ce qui exige des traitements de déminéralisation (osmose inverse, électro-dialyse...) et de refroidissement afin que ces eaux deviennent normatives ou à la limite très acceptables pour les différentes utilisations (boisson, irrigation ...).

Conclusion générale

Conclusion générale

Le présent travail a abordé la problématique de la qualité physico-chimique des eaux des nappes souterraines de l'Oued-Righ principalement le Complexe Terminal et le Continental Intercalaire.

Cette étude a été réalisée sur plusieurs mois menées à travers des prospections et des échantillonnages dans plusieurs stations dans cette vallée phoenicicole.

En final, ce travail nous a permis d'obtenir les résultats suivants sur la qualité des eaux dont pour le C.T une forte minéralisation dont la valeur moyenne est 3362 mg/l, une dureté élevée, une conductivité électrique 3675 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mais par contre au C.I les valeurs enregistrés sont une température élevée de 54 C°, nécessitant au préalable un refroidissement, une minéralisation moyenne de 1814 mg/l, une agressivité (HCO_3) élevée atteignant les 159 mg/l, une dureté de 783 mg/l. De plus, ces analyses font ressortir que ces eaux dont de qualité acceptable pour alimentation humaine (A.E.P) notamment pour le C.I. et médiocre pour le C.T quant à l'utilisation agricole, le Complexe Terminale est plus indiqué au vu de sa teneur élevée en phosphore et en azote selon l' I.N.R.A de Sidi Mahdi et les dires des agriculteurs de cette région qui utilisant cette eaux depuis longtemps car le C.I renferme moins de matière fertilisantes. Par ailleurs, nous pensons qu'il est forte intéressant de bien connaitre la qualité physico-chimique des eaux de ces nappes afin de maitriser les problèmes de distribution qui sont parfois délicates notamment pour l'Albien ou des problèmes d'entartrage sont centrés causant d'énormes dégâts au niveau des conduites et installations hydrauliques. A cela, il faut ajouter le problème du meilleur choix des refroidisseurs pour les eaux chauds qui posent aussi des problèmes. A cet effet, nous considérons que ces eaux nécessitant surtout pour la boisson des traitements particulièrement pour le C.T et que le refroidissement est indispensable pour le C.I. Quant à l'irrigation, le Complexe Terminal parait le mieux indiqué et que les résultats sont acceptables selon l'I.N.R.A.

Enfin nous suffirons au vu du temps très limité de ce travail de prendre en considération dans le cadre d'autres études les aspects liés au contrôle de la qualité notamment les caractères organoleptiques, les éléments indésirables et toxiques ainsi que les microbiologiques, tout menant des campagnes de sensibilisation en matière de préservation et de protection de ces nappes.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- 1- **DOUADI., (1996)**. Evaluation de la variabilité intra et inter cultivars du palmier dattier dans la région de Ouargla, Oued Souf et Oued-Righ. Mém. d'Ing. d'Agro.Ouargla.
- 2- **LEBDI N., (2001)**. Dynamique interne du milieu agricole saharien: déclin ou renouveau des systèmes de production? (Cas de cinq zones de la vallée d'oued-Righ). Mém. d'Ing d'agro. Univ.Ouargla.
- 3- **I.N.R.A.A., (2001)**. La vallée d'Oued-Righ : une problématique, une approche, une tentative de diagnostic.13p.
- 4- **O.N.M** :(Office National Météorologique) Station de TOUGGOURT, données climatique.
- 5- **CHEMALA Oum Enounne (2006)**. La situation des pieds mâles du palmier dattier (Phoenix dactylifera L.) dans la région d'Oued-Righ. Mém. Ing. Agr. Université Kasdi Merbah, Ouargla.
- 6- **STEWART P., (1969)**. Quotient pluviothermique et la dégradation de la biosphère. Bull. Soc. Hist. Nat. Agro.
- 7- **Dubost D,(1991)**. Ecologie aménagement et développement agricole des oasis algériennes. Thèse de doctorat d'université, 3 tommes, pp 544.
- 8- **Perennes JJ, (1979)**. Structures agraires et décolonisation. Les oasis de l'Oued-Righ (Algérie). Edition OPU, 372 p
- 9- **BOUZNAD I E. (2009)**. Ressources en eau et Essai de la gestion intégrée dans la vallée sud d'Oued-Righ (W. Ouargla)(Sahara septentrional algérien) Mém. Master, Univ. Badji Mokhtar Annaba., 150 p.
- 10- **A.N.R.H, (2006)**. Agence nationale des ressources hydrauliques, étude sur la vallée de l'Oued-Righ, 120p.
- 11- **Cornet, (1964)**. Introduction à l'hydrogéologie du sahara, Algérie. Revue géographie, physique et géologie dynamique.
- 12- **A.N.R.H,(2011)**. Coupe lithologique du forage F1. Direction régionale de Ouargla Algérie.
- 13- **BEL.F., et CUCHE. D.,(1970)** : Etude de nappe du complexe terminal du bas sahara. Données géologiques et hydrogéologiques pour la construction du modèle mathématique. DHW., Ouargla.

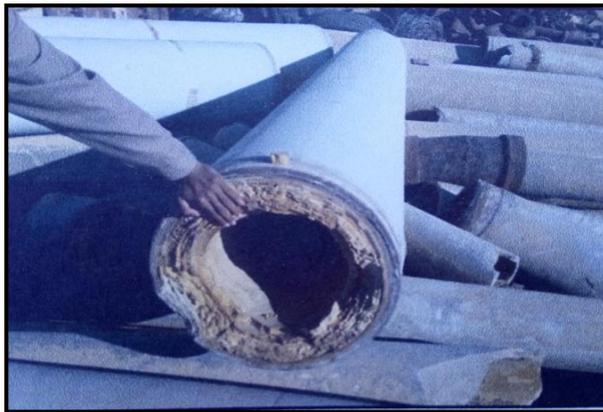
- 14- **U.N.E.S.C.O.,(1972)**. Projet Reg 100. Etude des ressources en eau du sahara septentrional. Rapport sur les résultats du projet. Paris. 84p.
- 15- **ANRH (2008)**. Rapport de l'inventaire des forages d'eau de la vallée d'Oued-Righ.
- 16- **SASS. (2002)**. Rapport sur hydrogéologie d'Oued-Righ. 275p.
- 17- **A.D.E., (2018)**.(Algérienne Des Eaux Wilaya d'El-Oued). Résultats des analyses des eaux.
- 22- **A.D.E., (2018)**.(Algérienne Des Eaux Commune TOUGGOURT). Résultats des analyses des eaux.
- 18- **D.R.E., (2018)**. Documents techniques. Direction des ressources en eau. Wilaya d'El-Oued
- 19- **D.R.E.,(2018)**. Documents techniques. Direction des ressources en eau.Commune TOUGGOURT
- 21- **Besser ,D. et Benine,Y.,(2016)**. Etude comparative de la qualité des eaux des différentes nappes de la région d'El Oued (Souf). Mém. Master en hydraulique, univ.HAMMA lakhdar El Oued.77p.
- 20- **Chikha, B.et Younsi, T.,(2015)**.Epuraton des eaux usées de la commune de TOUGGOURT par le procédé de la boue activée. Mém. Master en hydraulique, univ.HAMMA lakhdar El Oued.85p.
- 23- **Aya Brahim.(2014)**. Contribution à L'étude de la qualité physico-chimique des eaux Destinée à l'AEP de la ville D'EL-OUED. Mém. Master en géologie.univ HADJ LAKHDAR BATNA.113p.
- 24- **Bouznad.I.(2009)**. Ressources en eau et Essai de la gestion intégrée dans la vallée Sud d'Oued-Righ.Mém.Magister en géologie.Univ. BADJI MOKHTAR-ANNABA.155p.
- 25- **Fatima ,Z.et Abdallah, S.(2017)**. Caractérisation hydrogéochemique de la nappe du Continental Intercalaire de la gouttière de l'oued-Righ, Sahara septentrionale.Mém.Master. Univ.TLEMCEN.111p.
- 26- **Serraye ,A.(2014)**. La problématique de gestion des excédents hydriques dans la ville d'El-Oued, Impacts environnementaux et recommandations. Mém.Magister en Ecologie et Environnement –Univ. KASDI MERBAH – OUARGLA.184p.
- 27- **BRINIS, N.(2011)**. Caractérisation de la salinité d'un complexe aquifère en zone arid cas de l'aquifère d'el-outaya région nord-ouest de biskra. Algérie, Mémoire de Doctorat en Sciences.Univ Biskra.
- 28-**AYA,B.(2014)** .Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique des eaux destinée à l'AEP de la ville d'El Oued .Mém .Master en géologie,Univ.Batna.

Annexes

Annexe 01



Refroidisseur



Phénomène d'entartrage à l'intérieur des conduites dans la région d'Oued-Righ.

Annexe 02

Valeurs guides affectées à des produits chimiques dont la présence dans l'eau de boisson est importante sur le plan sanitaire
(OMS 2006)

Produit chimique	valeur guide (mg/litre)	Observation
Antimoine	0,02	
Arsenic	0,01 (P)	
Baryum	0,7	
Benzène	0,01b	
Bore	0,5 (T)	
Cadmium	0,003 (C)	
Chlore	5 (C)	Pour que la désinfection soit efficace, il doit rester dans l'eau une concentration résiduelle de chlore libre $\geq 0,5$ mg/l après un temps de contact de 30 min au moins à pH < 0,8
Chrome	0,05 (P)	Applicable au chrome total
Cuivre	2	Une coloration du linge et des sanitaires peut apparaître au-dessous de cette valeur guide
Cyanure	0,07	Il convient de prendre en compte le volume d'eau consommé et l'absorption à partir d'autres sources dans la dans la définition des normes nationales
Fluorure	1,5	
Plomb	0,01	
Manganèse	0,4 (C)	
Mercure	0,006	Applicable au mercure inorganique
Nickel	0,01	
Nitrates (sous forme NO_3^-)	50	Exposition à court terme
Nitrite (sous forme NO_2^-)	3	Exposition à court terme
Sélénium	0,2 (P)	Exposition à long terme
Uranium	0,01	Seuls les effets chimiques de l'uranium sont considérés dans ce document

a P = valeur guide provisoire dans la mesure où l'on dispose d'éléments indiquant un danger, mais où les données disponibles sur les effets sanitaires sont limitées ; T = valeur guide provisoire parce que la valeur guide calculée est inférieure aux valeurs pouvant être obtenues dans la pratique par les méthodes de traitement, par la protection des sources, etc. A = valeur guide provisoire parce que la valeur guide calculée est inférieure au seuil de quantification pouvant être atteint ; D = valeur guide provisoire parce que la désinfection est susceptible d'entraîner un dépassement de la valeur guide ; C = à des concentrations inférieures ou égales à la valeur guide définie sur la base d'arguments sanitaires, la substance peut influencer sur l'aspect, l'odeur ou le goût de l'eau, ce qui suscite des plaintes de la part des consommateurs.

b Dans le cas des substances considérées comme cancérogènes, la valeur guide correspond à la concentration dans l'eau de boisson associée à une valeur limite supérieure plausible de l'excès de risque de cancer de 10-5 (un cas supplémentaire de cancer pour 100 000 habitants consommant l'eau de boisson contenant la substance à la concentration définie comme valeur

guide pendant 70 ans). On peut calculer les concentrations associées aux valeurs limites supérieures plausibles de l'excès de cancer sur la durée de vie de 10-4 et 10-6 en multipliant ou en divisant respectivement la valeur guide par 10.

Annexe 03

Paramètres concernant les substances indésirables

paramètres	CMA (CEE)	Valeurs guides (OMS)	Méthodes analytiques de référence
Nitrates	50 mg/l	50 mg/l	Colorimétrie Electrode spécifique
Nitrates	0,1 mg/l	1 mg/l	Spectrophotométrie
Ammonium	0,5 mg/l	0,5 mg/l	Spectrophotométrie
Azote de Kjeldahl	0,1 mg/l		Oxydation Titrimétrie Spectrophotométrie
Oxydabilité au KamnO4	5 mg/l (O ₂)		KmnO ₄ à ébullition en milieu acide 10 mn
Fer	200 µg/l	300 µg/l	SAA Spectrophotométrie
Argent	10 µg/l		SAA
Manganèse	50	0,5 mg/l	SAA Spectrophotométrie
Fluor	1500 µg/l 8-12°C 700 µg/l 25-30°C	1,5 mg/l	Spectrophotométrie- Electrodes spécifiques
HC dissous	10 µg/l		Spectrophotométrie IR
Phénols	0,5 µg/l	0,002 mg/l	Spectrophotométrie Méthode à la paranitraniline et méthode à l' amino- 4-antipyrine
Agents surfactants	200 µg/l		Spectrophotométrie au bleu de méthylène
Phosphore total	5000 µg/l		Spectrophotométrie

Annexe 04

Paramètres concernant les substances toxiques

paramètres	CMA (CEE)	Valeurs guides (OMS)	Techniques de référence
Cd	0,5 mg/l	0,005 mg/l	SAA
Sb	10 µg/l	0,005 mg/l	Spectrophotométrie
Pb	50 µg/l	0,01 mg/l	SAA
Hg	01 µg/l	0,001 µg/l	SAA
Cr	50 µg/l	0,05 µg/l	SAA Spectrophotométrie
Ni	50 µg/l	0,02 µg/l	SAA
As	50 µg/l	0,05 µg/l	SAA Spectrophotométrie
CN-	50 µg/l	0,1 mg/l	Spectrophotométrie
Se	10 µg/l	0 ,01 mg/l	SAA
HAP	0,2 µg/l	Aucune valeur guide n'est proposée	Fluorimètre après extraction C6H14 - CPG - CCM (mesure de la fluo) - Mesure comparative P/P à un mélange de substances étalon ayant la même concentration
Pesticides - par substances individualisée - Au total	0,1 µg/l 0,5 µg/l	Proposée par substances	- CPG - HPLC

Annexe 05

Caractères physico-chimiques

paramètres	CMA (CEE)	Valeurs guides (OMS)	Méthodes analytiques de référence
Température	25°C		Thermométrie
Dureté totale	< ou = 15°Fr	50 mg/l CaCO ₃	Complexométrie
Conductivité	400 µS/cm		Electrométrie correspondance avec la minéralisation des eaux
Résidu sec	1500 mg/l		Dessiccation à 180°C et pesée
Oxygène dissous	Valeur de saturation > 75 %		Méthode avec électrode spécifique
Anhydride carbonique libre	L'eau ne devrai pas être agressive		Acidimétrie
PH	6,5 – 8,5		Electrométrie
Le magnésium	< ou = 50 mg/l		SAA
Calcium	< ou = 100 mg/l	200 mg/l	SAA
Sodium	< ou = 175 mg/l		SAA
Potassium	< ou = 12 mg/l		SAA
Chlorures	< ou = 250 mg/l	< ou = 250 mg/l	Titrimétrie méthode de Mohr
sulfates	< ou = 250 mg/l	< ou = 400 mg/l	Gravimétrie Complexométrie Spectrophotométrie
Aluminium	< ou = 0,2 mg/l		SAA

Annexe 06

Les nappes souterraines :

Potentialités exploitables en Algérie (rapport CNES 2000)

- au Nord : 1,8 milliards m³
- au Sud : 5 milliards m³

Les nappes souterraines dans le grand sud :

Spécificités :

- Coût d'accessibilité élevé dans certaines régions.
- Des risques de pollutions par les eaux usées de plus en plus importants.
- **Les qualités particulières :**
organoleptiques (pH, T_p° élevée) et chimiques (forte minéralisation).

La dureté des eaux des nappes :

Origine : constitution géologique du sol : riche en roches sédimentaires et calcaires, pauvre en granite.

Caractéristiques d'une eau dure :

excès de calcium et de magnésium

Type	C. en carbonate de calcium CaCO ₃
eau douce	0 à 60 mg/l
eau moyennement douce	60 à 120 mg/l
eau dure	120 à 180 mg/l
eau très dure	180 mg/l et plus

Corrosion < 100 mg de Ca CO₃ ou 10°F > entartrage

Le cycle naturel de l'eau :

Nuages (gaz carbonique + vapeur d'eau + oxygène)

Pluies des couches Se charge en minéraux

Géologiques

Évaporation

Nuages

La formation des tartres est due à la solubilité des sels :

1. Formation des bicarbonates :

$\text{CO}_3\text{Ca} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ Donne du $(\text{HCO}_3)_2\text{Ca}$

D'autres bicarbonates peuvent se former

2. C'est Une réaction réversible :

Si T dépasse 55°C et la concentration en sel augmente on obtient de la précipitation sous forme de carbonate c'est la formation de tartre.

L'eau de l'albien :

Quelques particularités :

Température 70°C pH 7,7 - TH 80°f

et en mg/litre :

- Ca = 180 - Mg = 77 - Cl = 550 - SO4 = 665 - CO3 = 183 - ES = 2100

Les conséquences néfastes :

L'agressivité :

(L'eau + le gaz carbonique) Forme de l'acide carbonique

et entraîne la corrosion.

L'entartrage :

- Surconsommation d'énergie.
- Pertes de charges importantes.
- Mauvais changes thermiques à travers les parois.