

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



UNIVERSITÉ HAMMA LAKHDER EL-OUED



FACULTÉ DE TECHNOLOGIE

Mémoire de fin d'étude
en Vue de l'Obtention du Diplôme de Master en Hydraulique

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

THÈME

**L'UTILISATION DE LA CARTOGRAPHIE POUR
DETERMINER LA SUREXPLOITATION
DES EAUX DANS UNE REGION ARIDE.**

(OUED RIGH SUD-EST ALGERIEN)

Présenté par:

- BELLABIDI Sabrina
- ADAIKA Nesrine

Soutenu publiquement le 25/05/2016 devant le jury:

Promoteur : M^{elle} .ZAIR Nadjat

Co- Promoteur M^r.MILOUDI Abdel Mounaim

Année Universitaire 2015 /2016

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

A mes chers parents

A l'être le plus cher qui m'a encouragé mon mari :

MOHAMMED BACHIR

A mes chers frères : Laid, Naim saber, Soufiane, Ahmed Tidjani

A mes chères sœurs: Meriam, Hafidha, Ilham

A toute ma famille du plus grand au plus petit.

*Je dédie ce travail également à tous qui auront le plaisir de lire ce
mémoire.*

SABRINA

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à

Ma mère

Mon mari et mes chers fils Abd Eldjabar et Med Sadok

*Mes frères et sœurs :Hamza ,Lotfi ,Mohamed , Fatiha,
Ahlem et Sara*

A toutes ma familles et la famille de mon mari

Surtouts ma deuxième mère HAFSIA

A Dalila et toutes mes amies

ADAIKA Nesrine

REMERCIEMENTS

Au terme de ce modeste travail, nous tenons à remercier en premier lieu le bon dieu tout puissant de la bonne santé, la volonté, et la patience qu'il nous a données pour le réaliser.

Nos remerciements très chaleureux vont tout d'abord à :

- ✚ M^{elle} ZAIR NADJAT: notre promoteur, qui nous a guidé et suivi tout au long de ce travail. elle nous a conseillé, encouragé et aussi, prodigué de précieux conseils et de multiples suggestions. Ses critiques fructueuses ont été, pour nous, une source d'enrichissement. Son aide et sa disponibilité nous ont permis d'avancer dans le travail et de finaliser cette étude.
- ✚ M^f MELOUDI ABDELMOUNAIM : notre co-promoteur, en formation de l'ARC GIS mais cause du temps on a choisi le SURFER, ce qu'on peut lui dire merci de votre guide et soutènement administrative.

Nous adressons également nos grands remerciements à :

- ✚ A l'ensemble du personnel de l'A.N.R.H de Touggourt (M^f : Sayah lembarek Youcef, M^f: Senousi Salim et M^r : BENGUEGA Salah), pour leurs aides et conseils pendant toute la durée de réalisation du mémoire.
- ✚ les responsables et l'ensemble du personnel du Centre de Recherches de Touggourt, pour leur contribution, en particulier M^f BOUHANA Maamar, M^f HADRI Toufik et M^f DEBAKH Abderezak.
- ✚ les responsables de la subdivision d'Hydraulique de Touggourt de leur hospitalité étendue, son oubliant le groupe de l'ADE de Touggourt aussi.
- ✚ Nous remercions les responsables de DHW El oued de leur aide particulièrement: M^f AMAMRA Ali et M^r ZAIZ Issam.

On n'oubliera jamais d'adresser nos vifs remerciements à nos familles pour leur soutien exemplaire moral et matériel continu et inébranlable.

ملخص

تستحوذ منطقة وادي ريغ على مخزون جوفي هامة، لكن بفعل التطورات الاقتصادية خاصة الفلاحية منها، أدى الى تزايد احتياجات المياه من جهة و تدهور نوعيتها من جهة أخرى .
تبعاً لتحليل الوضعية الحالية للطبقة الجوفية و محيطها اعتمد برنامج لتتبع التغيرات من الناحية الليتولوجية والمناخية، أيضا استطعنا دراسة تغيرات المعطيات الهيدروجيولوجية و تحديد الاستعمال المفرط للطبقات الجوفية كمياً و نوعياً للفترة الزمنية ما بين 2003 و 2014 .
معالجة و اظهار المعطيات ادى الى استدعاء الادوات الحديثة .كالاستنتاجات والتحليل الاحصائي، رسم الخرائط رسم المنحنيات كلها اسفرت عن كشف عدة مشاكل منها: الاستهلاك الودوي للمياه الصالحة للشرب و السقي مبالغ فيه ، بالإضافة لرداءة نظام الصرف (تجمع الاملاح على سطح التربة ، غياب صيانة مجرى وادي ريغ)، مع صعود طبقة المياه السطحية مكونة السبخات.
الدراسات الهيدروكيميائية بينت ان الطبقات الجوفية ذات ملوحة عالية ناتجة عن تحلل التركيب الجيولوجية ،اما العناصر الاقل تركيزا هي ذات طبيعة جيوكيميائية لا تتعد القواعد العالمية المعمول بها.

الكلمات الدالة: خرائط ، هيدروكيميائية، الاستعمال المفرط، الطبقات الجوفية، صعود، جيوكيميائية.

Abstract :

The plain of Oued Righ now has relatively limited water resources, and are not represented, only that by groundwater. In recent years, an economic boom, particularly agricultural, took place, which resulted, firstly, increased water needs and caused the other hand, the deterioration of water quality.

Following the analysis of the current state of the web and its environment, an action program designed to conduct a monitoring of variations, depending on lithology and climatic factors. We were able to study the evolution of hydrogeological parameters and determine the exploitation of aquifers in the region of Oued Righ quantitative and qualitative, in several campaigns (2003 and 2014).

Processing and presentation of data were conducted using modern tools.

Statistical analysis, mapping and automatic graphics. The interpretation of these data resulted in:

Different problems, an AEP staffing and exaggerated IRR, poor management of the drainage system (accumulation of harmful salts, the lack of regular maintenance of the channel), the rise water table (SEBKHA).

Hydrochimique the study shows that the waters of deep aquifers have high salinity due to the effect of the dissolution of geological formations. Trace elements are observed

with very low concentrations do not exceed international standards their presence is due geochemical (natural origin).

Keys words: Mapping, Hydrogchimique, The exploitation, Aquifers, The rise water, Oued Righ

RESUME

La plaine d'Oued Righ possède actuellement des ressources hydriques relativement limitées, et qui ne sont représentées, uniquement, que par les eaux souterraines. Ces dernières années, un essor économique, particulièrement agricole, a eu lieu, ce qui a entraîné, d'une part, l'accroissement des besoins en eaux et a provoqué, d'autre part, la dégradation de la qualité des eaux.

Suite à l'analyse de la situation actuelle de la nappe et de son environnement, un programme d'action a été conçu pour mener un suivi des variations, en fonction de la lithologie et des facteurs climatiques. Nous avons ainsi pu étudier l'évolution des paramètres hydrogéologique et déterminer la surexploitation des aquifères dans la région d'Oued Righ quantitative et qualitative, au cours de plusieurs campagnes (2003 et 2014).

Le traitement et la représentation des données ont été menés en faisant appel à des outils modernes.

Analyse statistique, cartographie et graphisme automatique. L'interprétation de ces données a abouti à :

Des différents problèmes, une dotation d'AEP et d'IRR exagéré, la mauvaise gestion du système de drainage (cumulation des sels nuisibles, l'absence d'entretien régulier du canal), la remontée de la nappe phréatique (SEBKHA).

L'étude hydrochimique montre que les eaux des nappes profondes possèdent une salinité élevée, due à l'effet de la dissolution des formations géologiques. Les éléments traces sont observés avec des concentrations très faibles ne dépassent pas les normes internationales, leurs présences est due la géochimique (origine naturel).

Mots clé : Cartographie, Hydrogchimique, Surexploitation, Aquifères, La remontée, Oued Righ.

LISTE DES FIGURE

Figure N°01 : Situation géographique de l'Oued Righ (Source A.N.R.H).....	04
Figure N°02: Situation des stations de jaugeage.....	07
Figure N °03: Photo illustre le canal de l'Oued Righ dans la région de Touggourt(2013).....	08
Figure N °04: Carte de situation de Chott Merouane.....	09
Figure N °05: Source d'alimentation du chott Merouane (Ballais, 2010).....	10
Figure N °06: Les rejets des eaux usées dans le canal de l'Oued Righ.....	12
Figure N °07: Schéma de la station d'épuration de Ksar Temacine (ETUDE DE L'ONA 2015).....	12
Figure N°08 : Répartition des volumes d'eaux consommées de CT par zones (2006).....	15
Figure N°09: Répartition des volumes d'eaux consommées de CI par zones (2006).....	15
Figure N°10: Répartition des volumes d'eaux par aquifère de l'année 2006.....	15
Figure N°11: Répartition du nombre des forages par commune.....	17
Figure N°12: Répartition des forages du CT selon l'usage (inventaire 2006).....	18
Figure N°13: Répartition des forages du CI selon l'usage (inventaire 2006).....	18
Figure N°14: Répartition des palmeraies dans la vallée de l'Oued Righ.....	23
Figure N° 15: Situation géographique de la région de l'Oued Righ	24
Figure N°16 : Vue satellitaire du canal oued Righ.....	25
Figure N°17 : coupe hydrogéologique schématique Nord Sud du Complexe Terminal	26
Figure N°18: coupe géologique schématique Nord-Sud et intérêt hydrogéologique du complexe Terminal le long de la vallée de l'oued Righ.....	28
Figure N°19: Carte des sous bassins versants du Sahara algérien et des stations Météorologiques d'après Cahiers de Sécheresse, No :1/98.....	29
Figure N°20 : Histogramme de distribution de précipitation	30
Figure N°21 : figure illustrant la répartition saisonnière des précipitations	31

Figure N°22 : Histogramme de distribution de température	31
Figure N°23 : Histogramme de distribution d'humidité	32
Figure N°24 : Histogramme de distribution des vitesses	33
Figure N°25 : Histogramme de distribution des durées d'insolation	34
Figure N°26 : Histogramme de distribution des valeurs d'évaporation	34
Figure N° 27: (A) Bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite	35
(B) Bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite pour	36
Figure N°28 : Carte des ressources en eau souterraines	39
Figure N°29: Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrionale	42
Figure N°30 : Coupe hydrogéologique du Complexe Terminal de la région	49
Figure N°31 : Carte piézométrique de la nappe CT 2003 (Oued Righ).....	52
Figure N°32 : Carte piézométrique de la nappe CT 2010 (Oued Righ).....	53
Figure N°33 : Carte piézométrique de la nappe CT 2014 (Oued Righ).....	54
Figure N°34 : Carte de fluctuation 2010 - 2014 (Oued Righ).....	56
Figure N°35 : Carte de fluctuation 2003 - 2010 (Oued Righ).....	57
Figure N°36 : Carte de fluctuation 2003 - 2014 (Oued Righ).....	58
Figure N°37 : Diagramme de variation de niveau statique entre 2010 - 2014	59
Figure N°38: Graphique de rabattement d'un puits de Meghair (Oued Righ Nord).....	62
Figure N°39: Courbe de descente d'un puits de Meghair (Oued Righ Nord).....	62
Figure N°40: Résultat de méthode COOPER - JACOB d'un puits de Meghair	63
Figure N°41: Graphique de rabattement d'un puits de Nezla (Oued RighSud).....	64
Figure N°42: Courbe de descente d'un puits de Nezla (Oued Righ Sud).....	65
Figure N°43: Résultat de méthode COOPER - JACOB d'un puits de Nezla.....	65
Figure N°44: Carte de température pour l'année 2014.....	70

Figure N°45: Carte de pH pour l'année 2014.....	71
Figure N°46: Carte de Conductivité électrique pour l'année 2014.....	72
Figure .N°47 : Le diagramme de Piper la nappe de complexe terminal	73
Figure N° 48: Le diagramme de Piper la nappe de complexe terminal	74
Figure N°49: Carte de calcium pour l'année 2014.....	75
Figure N°50: Carte de magnésium pour l'année 2014.....	76
Figure N°51: Carte de sodium pour l'année 2014.....	77
Figure N°52: Carte de chlorure pour l'année 2014.....	78
Figure N°53: Carte de potassium pour l'année 2014.....	79
Figure N°54: Carte de sulfate pour l'année 2014.....	80
Figure N°55: Détermination de l'origine du calcium.....	81
Figure N°56 : Détermination de l'origine du sodium.....	82
Figure N°57 : Evolution des anions en fonction de la conductivité électrique.....	82
Figure N°58 : Evolution des chlorures et des sulfates en fonction de la conductivité.....	83
Figure N°59: Variation de l'indice de saturation des minéraux, 2014.....	85
Figure N°60 : Diagramme de Richards pour les eaux de Complexe Terminal	86
Figure N° 61: Diagramme de Richards pour les eaux de Complexe Terminal	87

LISTE DES TABLEAUX

Tableau N°01: Bilan hydrique et salin du Chott Mérouane (ANRH).....	11
Tableau N°02: Débit des eaux usées rejetées dans le canal dans des différentes localités...11	
Tableau N°03: Volume d'eau consommé par nappe et par zone (2006).....	14
Tableau N°04: Population, Débit AEP et IRR des différentes localités.....	16
Tableau N° 05 : Etat actuel d'exploitation des forages.....	19
Tableau N° 06 : Description morphologique de la zone d'El Mghair	21
Tableau N° 07 : Description morphologique de la zone de Djamaa.....	22
Tableau N° 08 : Description morphologique de la région de Touggourt.....	22
Tableau N°09 : Distribution des précipitations moyennes mensuelles en (mm).....	29
Tableau N°10 : Distribution des températures moyennes mensuelles en (C°).....	31
Tableau N°11: Distribution d'humidités moyennes mensuelles en (%)......	32
Tableau N°12: Distribution des vitesses moyennes mensuelles du vent en (m/s).....	33
Tableau N°13: La durée d'insolation moyenne mensuelle (h).....	33
Tableau N°14: Les valeurs d'évaporation moyenne mensuelle (mm)	34
Tableau N°15 : Bilan Hydrique (C.W. Thornthwaite) (1978 – 2014).....	36
Tableau N°16: Données générales sur la nappe du Continental Intercalaire.....	43
Tableau N°17: Synthèse hydrogéologique régionale des différentes aquifères.....	45
Tableau N°18 : Potentialités de nappe du Continental Intercalaire.....	46
Tableau N°19 : Potentialités de nappe du Complexe Terminal.....	46
Tableau N°20 : Synthèse des potentialités en eau de CI et CT.....	46
Tableau N°21: Valeur de gradient hydraulique.....	55
Tableau N°22: Les valeurs de transmissivité et perméabilité.....	66
Tableau N°23: Paramètres statistiques des indices de saturation (IS) des eaux de nappes d'Oued Rihg, Complexe terminal.....	84

SOMMAIRE

DEDICACES
REMERCIEMENTS
RESUME
LISTE DES FIGURES
LISTE DES TABLEAUX
SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	01
-----------------------------------	-----------

CHAPITRE I : Présentation de la zone

I-1-Introduction.....	04
I-2-Généralité.....	05
I-2-1-Socio-economie.....	05
I-2-2-Historique du canal.....	06
I-2-3-L'exetoire CHOTT MEROUANE.....	09
I-2-4-Aménagement hydraulique.....	11
I-2-5-Pédologie.....	19
I-3-Géographie.....	24
I-3-1-Localisation.....	24
I-3-2-Topographie.....	25
I-4-Géologie.....	26
I-4-1- Géomorphologie Régionale:.....	26
I-4-2- Description stratigraphique	27
I-5-Climatologie.....	28
I-5-1-Précipitation.....	29
I-5-2-Température.....	31
I-5-3-Humidité.....	32
I-5-4-Vents.....	32

I-5-5-Insolation	33
I-5-6-Evaporation	34
I-5-7-Bilan hydrique	35
I-6-Coclusion	37

CHAPITRE II : Hydrogéologie

II-1-HYDROGEOLOGIQUE	39
II-1-1-Introduction	39
II-1-1-Hydrogéologie générale	39
II-1-2- Le Continentale Intercalaire	40
II-1-3-Le Complexe Terminale	43
II-1-4-La Nappe Phréatique	45
II-1-6-Potentialités en eau	46
II-1-7-Hydrogéologie locale d'Oued Righ	47
II-1-8- Piézométrie	49
II-1-9-Evolution de la piézométrie	50
II-1-10- Rabattement de la nappe	55
II-1-13-Étude de la variation du niveau statique en fonction des temps	59
II-2-HYDRODYNAMIQUE	60
II-2-1-Introduction	60
II-2-2- Déterminations des caractéristiques hydrodynamiques	60
6II-2-3- Méthode d'interprétation	60
II-2-4- Interprétation des courbes	61
II-3-CONCLUSION	66

CHAPITRE III : Hydrochimie

III-1-Introduction.....	69
III-2-Analyses physico-chimiques.....	69
III-2-1-Cartographie des paramètres physiques.....	69
III-3-2-Cartographie des paramètres chimiques	74
III-3-Origine des éléments chimiques	80
III-3-1- Les éléments $\text{Ca}^{+2} - \text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{-2}$	81
III-3-2- Les éléments $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$	81
III-3-3- Les éléments $\text{HCO}_3^- - \text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$	82
III-3-4- Les éléments $\text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$	83
III-4- Acquisition et évolution de la minéralisation de l'eau.....	83
III-4-1- Indices de saturation	84
III-5- Aptitude des eaux à l'irrigation.....	85
III-6-Classification des eaux par la méthode de Richards.....	86
III-7-Conclusion.....	87
CONCLUSION GENERALE.....	90
RECOMMANDATION.....	92
BIBLIOGRAPHIE.....	93

INTRODUCTION GENERALE

En Algérie, la zone saharienne aride couvre les deux tiers de la superficie du pays.

Malgré le caractère hyperaride du climat, cette région renferme deux grands systèmes aquifères dans son sous-sol:

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

Ces différentes nappes recèlent des potentialités hydriques importantes, qui sont actuellement abondamment exploitées pour les usages domestiques, industriels et l'irrigation des palmeraies.

La vallée d'OUED RIGH fait partie de cet immense désert. Elle couvre le Nord Est de cet ensemble.

- ☞ La nappe phréatique surmonte les deux nappes superficielle, elle se présente sous forme de petits lacs dans certains régions, affleure presque dans toute la vallée.

Ces nappes se renouvèlent très peu, l'exploitation par puits en foggaras a permis le développement d'oasis ou les modes de vie séculaires restent depuis longtemps en parfaite symbiose avec l'écosystème saharien.

Au cours des trente dernières années, l'exploitation par forage a sévèrement entamée cette réserve souterraine, il en résulte l'abaissement progressif du niveau piézométrique dans les deux grandes nappes. En conséquence l'Agence nationale des ressources hydriques (ANRH)

a cessée de donner les autorisations à forer.

Ce travail s'est attelé à répondre aux préoccupations suivantes :

- Quel est l'état actuel de la qualité chimique des eaux souterraines de la nappe?
- Quel est l'état actuel du niveau piézométrique de la nappe?

Afin de répondre à ces préoccupations, nous allons adopter la méthodologie suivante :

- ⊙ Présentation de la zone d'étude et les paramètres climatiques.
- ⊙ Etude piézométrique et hydrodynamique.
- ⊙ Etude des paramètres physiques et chimiques de l'eau.

Plusieurs outils (géologique, hydrodynamique, chimique, statistique et informatique) ont été utilisés, afin de mieux interpréter les données acquises.

Le premier chapitre est consacré à l'étude des contextes géographique, géologique de la région d'étude en présentant les caractéristiques géologiques et hydroclimatologique.

Le deuxième chapitre traite l'hydrogéologie de la nappe d'Oued Righ, en définissant les paramètres hydrodynamiques et interprétant sa piézométrie.

Le troisième chapitre concerne l'étude de l'évolution des paramètres chimiques dans le temps et dans l'espace en abordant les mécanismes de l'acquisition de la minéralisation des eaux souterraines.

I-1-Introduction:

La région de Oued Righ est l'une des régions les plus veinule et l'une des mieux connues du nord du Sahara algerienne. La région est considérée comme une vallée anciennement transitaire pour toutes activités socio-économique ; reliant le Sud -Est et le Nord d'Algérie avec l'intérêt que porte la route nationale N°3.

Cette vallée est étendue sur une longueur de **150 km** Sud – Nord prenant son origine au sud (la palmeraie d'El-Goug) et arrivant au chott Mérouane et une largeur allant de **20 à 30 km**, Est- Ouest et se prolonge sur une pente générale de **1‰**.

Elle couvre une superficie de **3186.78 km²** et sa population est de **280993** habitants (2013).

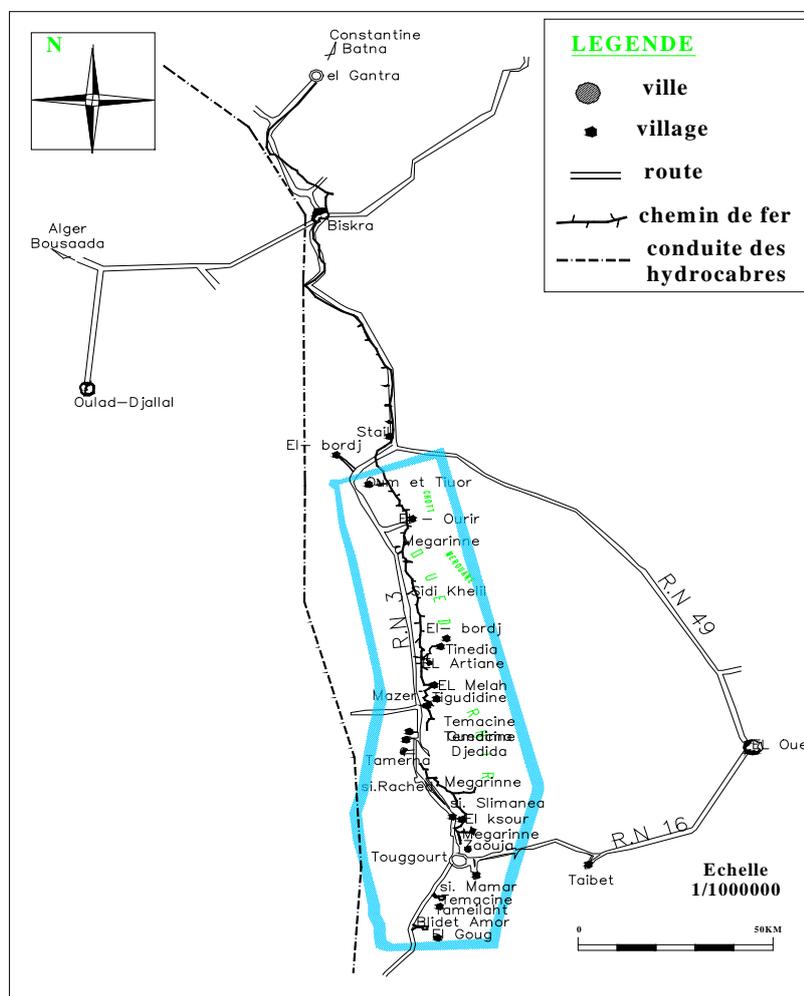


Figure N°01 : Situation géographique de Oued Righ

(Source ANRH)

I-2-Généralité:**I-2-1-Socio-economie:**

Comme il est connu, la culture du palmier dattier reste la principale activité dans la vallée de Oued Righ, qui regroupe près de **50 Oasis** couvrant **15000 Ha** environ de palmiers en **1988 (I.N.R.AA)**, occupent entre **10% à 15 %** de la superficie globale de la région. D'après les enquêtes de **la FAO 1988**, la vallée de Oued Righ comprend près de **deux millions** de palmiers sur un total de **7.5 millions** que compte le pays, la variété "Déglet Nour" domine suivie par le "Ghars" et "Dégela Beida".

Aussi excepté les dattiers existe d'autres cultures comme les fourragères les plus importantes sont l'Orge et la Luzerne, et les cultures maraîchères dont la superficie est limitée, surtout l'Ail, l'Oignon, Carottes, Navets en hiver et piment, Pastèque en Été. Cette variétés également est produites pour une consommation locale. En fin, l'arboriculture Fruitière comme les Abricotiers et les Grenadiers sont très limités.

Le domaine agricole qui était jadis 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 », ainsi que les offres d'emplois des sociétés pétrolières hautement rémunérés ...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 [DTP], transformation des plastiques; fabrique d'aluminium, ainsi que des entreprises de conditionnement de dattes.

Sans oublier le sel est considéré comme l'or blanc (en particulier dans les temps anciens), le sel brut des chotts est également utilisé pour extraire plusieurs éléments minéraux tels que [chlore – sodium – potassium – magnésium – lithium] et pour servir les industries modernes. Le sel est exploité par une entreprise nationale ENASEL avec une capacité de production environ 130000 tonnes/an sur les marchés régionaux, nationaux (secteur pétrolier) et même à l'exportation.

Parmi les facteurs d'amélioration du commerce dans la région de Oued Righ est l'aspect consommateur des gens, donc il existe plusieurs marchés déplaçant et fixes à tous les communes étendus sur le long de l'axe, aussi les festivals traditionnelles et les foires commerciales saisonnier.

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

I-2-2-Historique du Canal:

Le canal passe par les trois grandes villes à savoir: la ville de Touggourt, Djamaä et El-Meghaïer qui sont entourées à leur tour par les palmeraies, ce canal a été creusé avec des méthodes traditionnelles et annuelles par la population de la région pour but de faire drainer les eaux en excès d'irrigation des palmeraies et l'évacuation des eaux usées, donc le canal joue le rôle de collecteur principale de ces eaux sur une longueur de **150 km** à partir d'El-Goug jusqu'au chott Merouane (exutoire naturel).

Les trois premiers kilomètres du canal sont des conduites enterrées en béton armé de diamètre **1000 mm**. Le reste du canal est à ciel ouvert et de forme trapézoïdale d'une largeur de **10 m**, une profondeur de **4 m** et une pente de **1‰**. Les **2/3** Sud du canal ont été creusés, tandis que **1/3** Nord est d'origine naturel (Oued Khrouf).

Le canal d'Oued Righ est passé par deux étapes avant d'aboutir à l'état actuel:

1- Étape de la réalisation pendant la colonisation: Initialement, l'étude du canal collecteur a été lancée avant **1910** après l'apparition de la remontée des eaux de la nappe phréatique à partir du village de Témacine jusqu'à la zone des lacs de Sidi Slimane a été réalisé en tronçon manuellement par les fellahs en **1912**. Entre **1925 et 1926** il a été remarqué que la région présente une dénivellation naturelle moyenne de **1 ‰** à partir de la commune de Blidet Amor (Daïra de Témacine wilaya de Ouargla) jusqu'à Dendouga (Daïra d'El Mghaïer wilaya d'El-Oued) sur une longueur d'environ **136 km**. Sur la base de cette dénivellation des travaux manuels ont été lancés pour le creusement de l'actuel Oued Righ représentant le début de ce canal collecteur. Le canal est resté dans cet état de bon fonctionnement grâce au nettoyage périodique assuré par les autorités de cette époque jusqu'à l'indépendance.

2- Etape de la réalisation après l'indépendance: cause d'inefficacité du canal avec le temps , l'état a proposé plusieurs études d'aménagement de ce dernier selon les normes ou les travaux de réalisation ont été commencés en 1980 et la mise en œuvre du canal en 1984.

Depuis 1993 l'ANRH de Touggourt a pris en charge l'étude hydrologique de ce canal; par des dizaine de stations de jaugeage ont été implantées le long du canal collecteur depuis El Gougue jusqu'à Boufegoussa, l'endroit de contact avec le chott Merouane Pour surveiller les fluctuations des débits du canal.

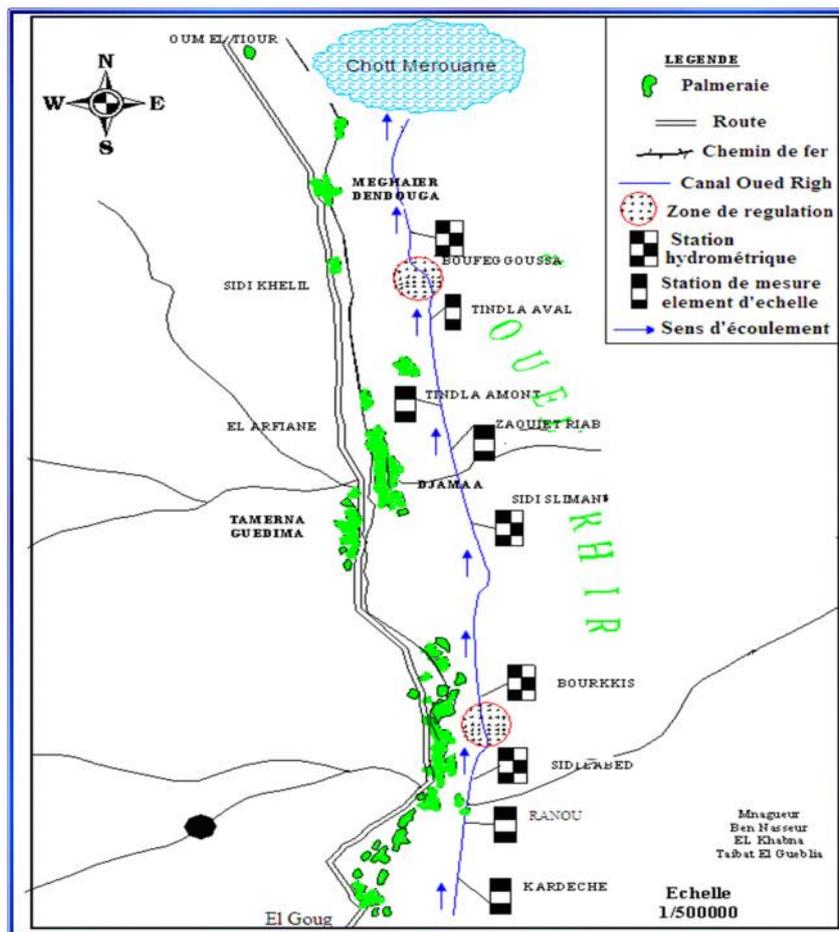


Figure N°02: Situation des stations de jaugeage

Le canal de Oued Righ joue un rôle très important dans :

- Le rabattement de la nappe phréatique ;
- L'assèchement de la vallée par l'évacuation des eaux d'irrigation excédentaires;
- L'évacuation des eaux d'assainissement des zones urbaines qui sont situés de part et d'autre du canal.

Les caractéristiques du canal:

Le débit de drainage du canal varie de **2,5 m³/s** en été à **5-6 m³/s** en hiver et la teneur en sel de son eau varie aussi de façon saisonnière de **3,5g/l** en hiver et à **6g/l** en été.

- Vitesse moyenne d'écoulement **0,7 m/s**.
- Débit moyen max **4m³/s**.
- Salinité moyenne **4.75 g/l**.
- Pente d'écoulement moyenne **1%**.

Le débit du canal de l'Oued Righ est de l'ordre de **260 l/s** au point de départ (Beldat Amor), et augmente progressivement vers l'aval **2450 l/s** à Sidi Slimane ,atteint **5000 l/s** au point de rejet.



Figure N °03: Photo illustre le canal de l'Oued Righ dans la région de Touggourt(2013)

Malheureusement ; le canal présent actuellement des cas de différents problèmes :

- La mauvaise gestion du système de drainage (cumulation des sels nuisibles)
- L'apparition de végétation dans les berges provoquant le changement du vitesse et sens d'écoulement.
- L'existence des dépôts provoqué par l'érosion sur le long du canal.
- l'envasement du lit de canal
- l'absence d'entretien régulier du canal.

I-2-3-L'exetoire CHOTT MEROUANE:

Le chott comme n'importe quel écosystème réunit toute une interaction entre les biocénoses, sol et climat dans un environnement saharien.

D'une part il a un rôle important dans l'équilibre biologique, d'autre part on peut le considérer comme une poubelle naturelle où le chott draine toutes les eaux des régions avoisinantes et les eaux superficielles.

La constitution naturelle du chott est directement liée à l'histoire géologique des hauts plateaux algériens. Toute cette région est marquée par un substratum sédimentaire hérité des transgressions marines du secondaire et du tertiaire, le chott prend deux origines:

- Origine de salinisation primaire: selon les critères d'origine géologique.
- Origine de salinisation secondaire: selon les critères d'origine hydrogéologiques (l'eau qui s'écoule dans les couches profondes).

Le Chott Merouane est située dans la région NORD-EST du Sahara Algérien dans la wilaya d'EL Oued (**Figure N °04**), **9 Km** d'El Meghaïer, avec les coordonnées géographiques: **33°55' N 6°10' E** et avec Altitude moins **40 m** et superficie de **337.700 Ha**. Il représente un affleurement naturel vers le Nord de la nappe phréatique dans la région de Oued Righ.

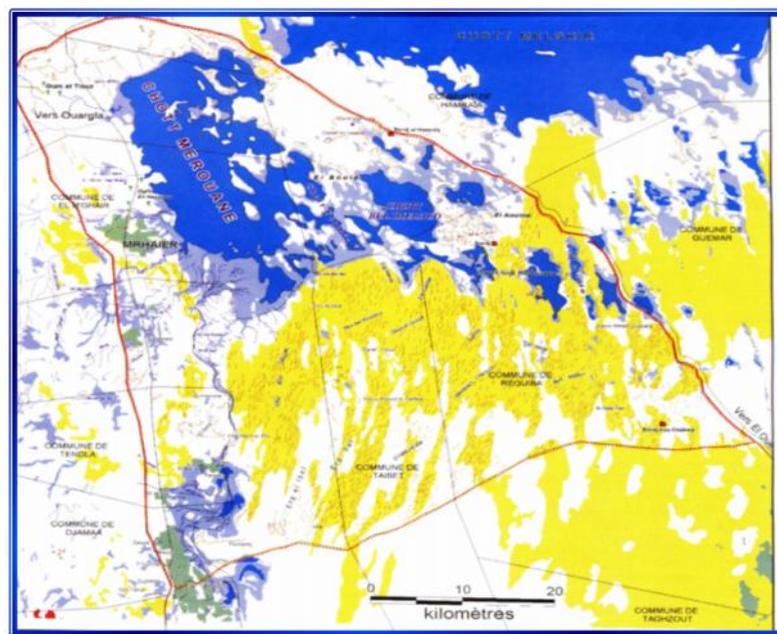


Figure N °04: Carte de situation de Chott Merouane

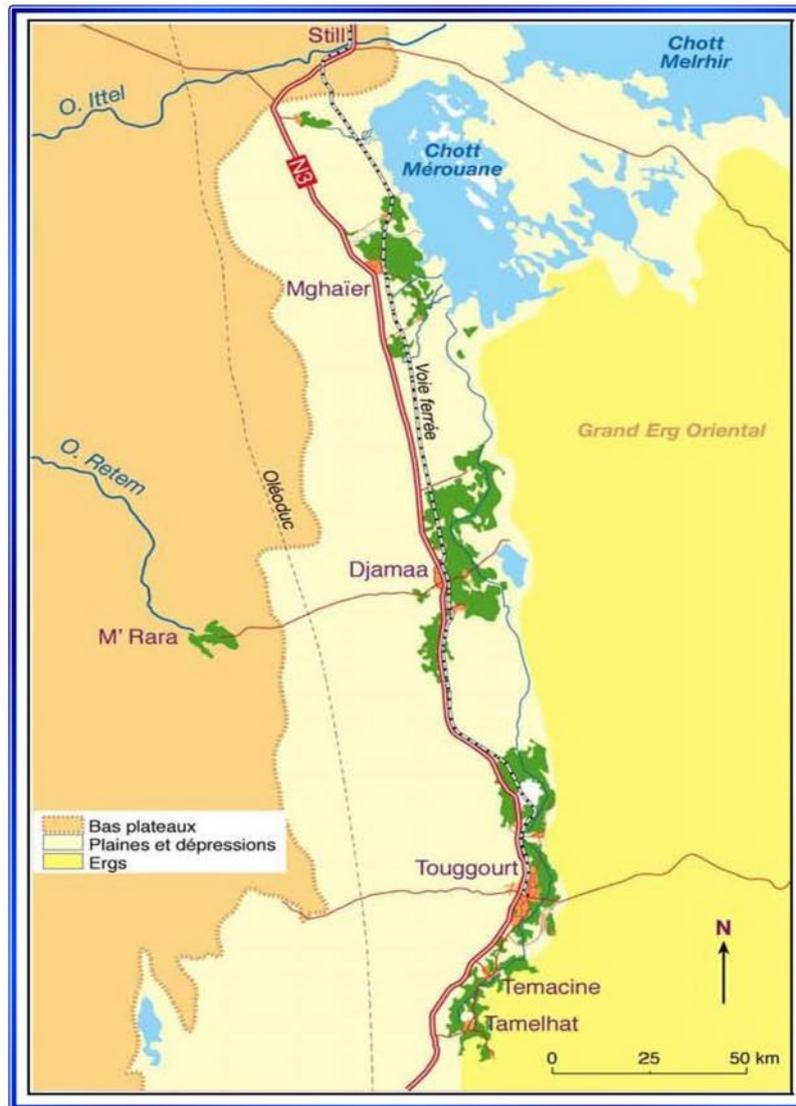


Figure N °05: Source d'alimentation du chott Merouane (Ballais, 2010)

Le bilan hydrique et salin du chott Mérouane (représenté dans le tableau ci-après) est caractérisé par les apports suivants:

A – Les eaux de pluie locales n'ont pas été prises en considération, tenant compte de leur apport insignifiant.

B – La salinité des eaux superficielles alimentant le chott Mérouane est déjà connue (moyenne de **4,5 g/l**).

Chott Mérouane est alimenté par deux sources principales:

- Les volumes des eaux superficielles .
- Décharge des eaux souterraines du complexe terminal.

Tableau N°01: Bilan hydrique et salin du Chott Mérouane (ANRH)

Source	Volume d'eau m ³ /an	Concentration du sel g/l	Quantité du sel T/an
Pluie	-	-	-
Canal	155,52.10 ⁶	4,5	577,365
Eaux souterraines	62,345.10 ⁶	3,5	288,550
Total	217,865.10⁶	-	805,915

D'après le **Tableau N°01** on conclut que le volume d'eau drainée par le canal présente un volume important plus de **70%** des volumes drainés, C'est pour cela on dit que le canal joue un rôle important dans la région.

I-2-3-Aménagement hydraulique:

❖ ASSINISSEMENT:

La région de Touggourt déverse le plus grand débit d'assainissement directement dans le canal sans passer par l'unique station d'épuration cette station épurée **20%** des eaux d'assainissement de la ville de Touggourt.

**Tableau N°02: Débit des eaux usées rejetées dans le canal
dans des différentes localités**

Localité	Nombre du point du rejet	Débit des eaux usées l/s
B amor	5	14,16
Temacine	5	10,61
Nezla	4	41,8
Touggourt	0	0
Tebesbest	3	86,66
Zaouia	2	14,33
Megarine	2	29,44
Sidi Slimane	2	8,33
Sidi Amrane	1	44,33
Djamaa	4	12,74
Tindla	1	0,53
Sidi Khlili	3	16,66
Meghaier	3	28,16
Oum Tiour	1	12,33

(d'après ANRH, Touggourt, 2006)



Figure N °06: Les rejets des eaux usées dans le canal de l'Oued Righ (2013)

Aussi; il existe un autre type d'épuration naturelle à l'aide de certains types des plantes jardinières comme l'expérience du KSAR TEMACINE; qu'on appelle " **WASTE WATER GARDENS** " c'est un écosystème extrêmement complexes, qui produit d'une part une épuration naturelle des eaux usées et d'autre part créé une zone humide artificielle.

Cette station est dimensionnée pour traiter **15 m³** par jour d'eaux grise et fécales, correspondant à la production de **100 personnes** à raison de **150 l / perso / jour**.

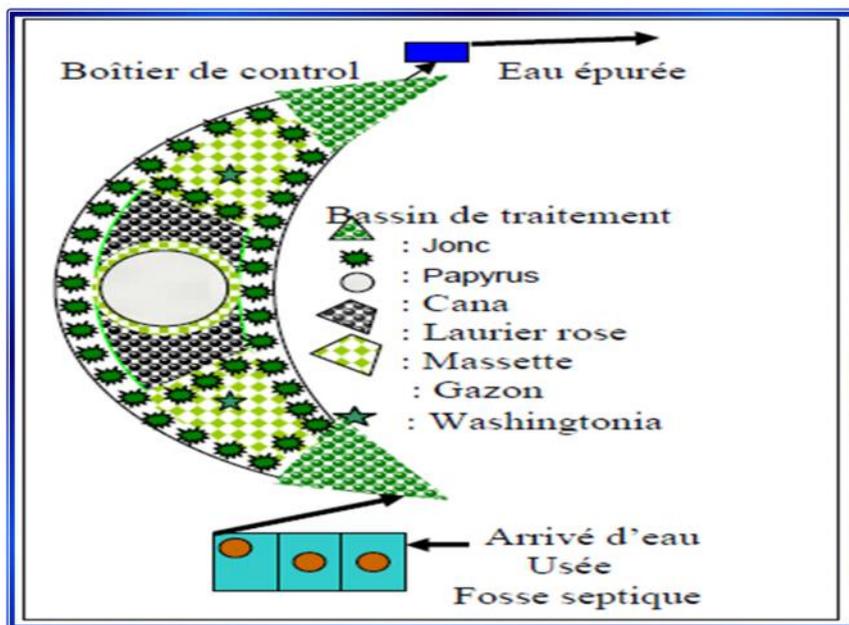


Figure N °07: Schema de la station d'épuration de KSAR Temacine

(ETUDE DE L'ONA 2015)

❖ DRAINAGE:

Le système de drainage est généralisé; a été réalisé un collecteur principal joint tous les seconds drains et par fois à celles de l'assainissement urbain.

Selon le C.D.A.R.S (*PDGDRS Mai 1999*) le canal est destiné à évacuer un débit de **2.74 m³/s**, avec une norme de drainage des canaux secondaires de **0.6 l/s/ha**, pour un niveau de drainage d'une profondeur de **1.7 m**.

Les canaux secondaires ont une longueur globale de **400 km**, se jetant directement dans l'oued Righ, soit dans les chotts.

Le débit théorique à évacuer lié à l'irrigation (y compris le lessivage) est de l'ordre de **1.5 m³/s**, l'ajout du débit des eaux d'assainissement conduit à un débit total de **2.74 m³/s**.

❖ Consommation en eau (AEPet IRR):

L'irrigation des jardins se faisait grâce à un réseau de rigoles principales et secondaires, les Ségua : point de vanne, le jardinier se contentant d'ouvrir avec sa houe (la Mesha) l'accès de sa parcelle quand vient son tour d'eau. Quelques mottes de terre suffisent ensuite à détourner l'eau vers la parcelle voisine. Mais, en raison de la salure de l'eau, il n'est pas possible de se contenter de remplir d'eau de petits bassins creusés au pied du palmier; il doit être abondante, puis évacuée par un autre réseau de drains. En totalité du système des palmeraies est irrigué par submersion cultures pratiquées en planches sous palmiers.

L'eau du forage est amenée à la parcelle par un réseau d'adduction pouvant être constitué par des seguias en terre; des conduites enterrés avec des bornes californiennes, des petits canaux en ciment ou en amiante-ciment et souvent par les trois systèmes. Le très mauvais état des réseaux d'adduction entraîne des pertes pouvant aller jusqu'à **50%** de l'eau fournie par les forages.

L'irrigation à la parcelle est gravitaire par planches de dimensions variables suivant la présence de fossés de drainage.

Les planches ont une largeur variable (**0.9 à 1.5m**); sauf dans les grandes plantations, le réseau est compliqué, sinueux et pas toujours entretenu. Ces planches sont généralement branchées directement sur la seguia, mais il arrive qu'elles soient reliées entre elles par un petit canal.

L'irrigation est alors faite en série et les premières planches fonctionnent elles-mêmes comme des seguias.

Cette tradition d'irrigation est due à la gestion collective et à la densité de palmiers à l'échelle d'une part et à la texture du sol sablo-limoneuse favorisant l'infiltration rapide des eaux d'autre part.

Il faut noter que, sur un volume total de **588.8 m³/ha/an** dans la région, seuls **48.28 m³/Ha/an** soit **8.2 %** du total, sont destinés à l'alimentation en eau potable (AEP) alors que la plus importante part est accaparée par l'irrigation avec **91.80 %** du total.

Le tableau suivant montre le volume d'eau soutiré des nappes par zones et en fonction de l'usage.

Tableau N°03: Volume d'eau consommé par nappe et par zone (2006).

Données Région	Volume AEP Hm ³ /an		Volume d'irrigation Hm ³ /an		Volume total
	CT	CI	CT	CI	
Oued Righ Sud	1.16	24.91	238.70	2.60	267.37
Oued Righ Nord	7.90	3.15	40.36	234.25	285.66
Hors vallée	2.77	8.39	11.44	14.17	36.77
Total	11.83	36.45	290.50	251.02	589.80

L'évolution de la consommation en eau pour l'irrigation des périmètres irrigués n'a pas été linéaire du fait des changements de stratégies intervenues au cours des trente dernières années.

La répartition des volumes d'eau consommés se fait comme suit :

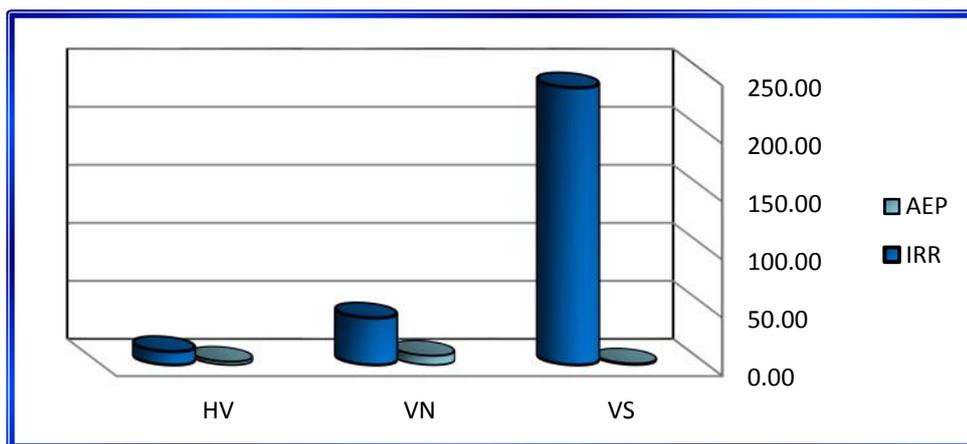


Figure N°08: Répartition des volumes d'eaux consommées de CT par zones (2006).

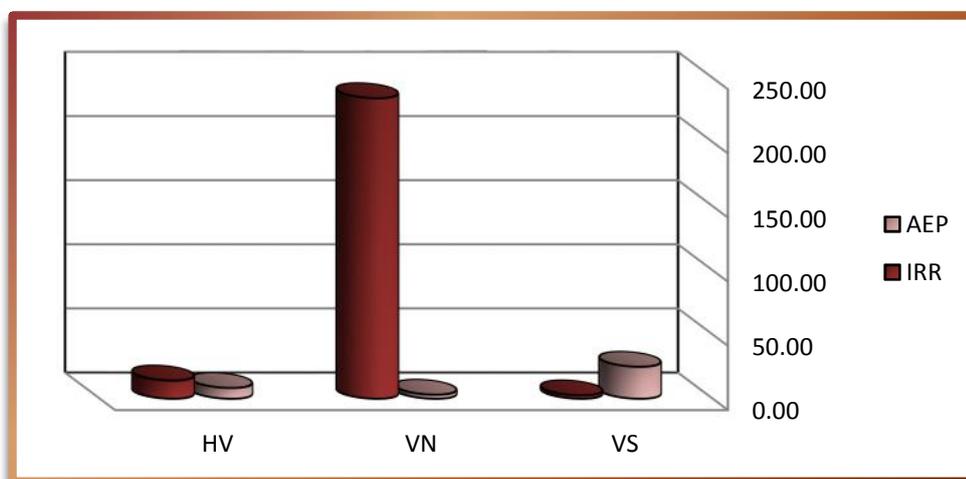


Figure N°09: Répartition des volumes d'eaux consommées de CI par zones (2006).

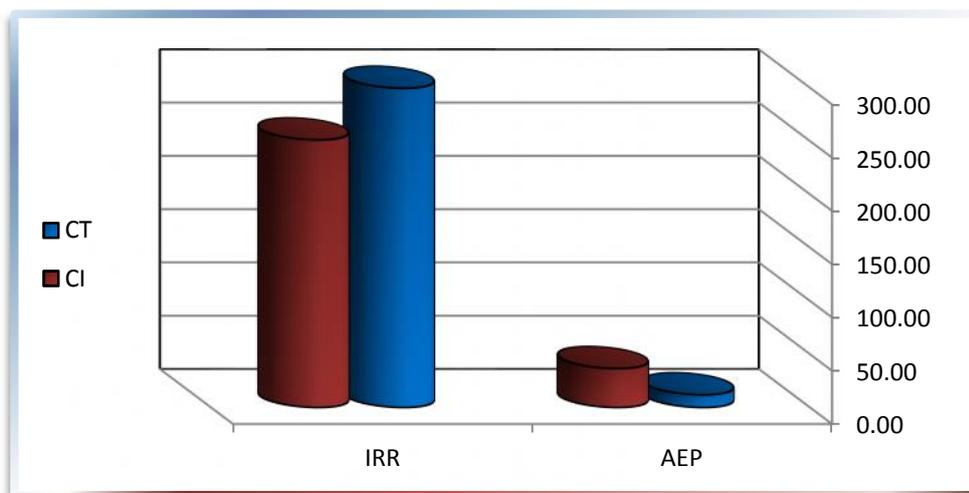


Figure N°10: Répartition des volumes d'eaux par aquifère de l'année 2006.

On remarque que la vallé sud la plus utilisable de CT pour l'irrigation et au meme usage la vallé nord la plus utilisable de CI , par comparaison de taux très éllvé au irrigation par apport à l'AEP le complexe terminale consommé plus que le continantale intercalaire.

Dans la région de l'Oued Righ, le débit extrait destiné à l'A E P est supérieur aux besoins . La dotation journalière mesurée est en moyenne de (172,02 l/j/ha) qui dépasse les normes de l'Organisation de la santé (OMS) [100-150 l/j/ha], de même le débit extrait destiné à l'irrigation est supérieur aux besoins actuels.

La dotation mesurée pour l'agriculture est en moyenne 1.12 l/s/ha, elle dépasse les normes 1l/s/ha pour les plantes mixtes et 0.7 l/s/a pour les palmiers.

Tableau N°04: Population, Débit AEP et IRR des différente localités

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

❖ FORAGE:

Après la découverte de l'Albien, vers 1950 et l'arrivée des matériels de forages pétroliers que l'accès aux eaux souterraines a été complètement modifié et que de nouvelles oasis ont pu être créés, 445 forages Mio-Pliocene et 73 puits agraires environ 13 642 l/s d'eau mobilisée.

Le nombre total des forages a progressé sur toute la vallée au cours de ces dernières années, il est passé de **329** en **1975** à **892** en **2006** ; sont destinés à l'alimentation en eau potable (AEP) et à l'irrigation(IRR).

Les forages exploitants les deux nappes (CT & CI) sont repartis d'une façon inégale. La forte concentration est enregistrée dans les communes d'El Mghair (**113** forages) et Djamaa (**117** forages).

Ces deux communes appartiennent à la région de la vallée Nord, ce sont les communes les plus peuplées.

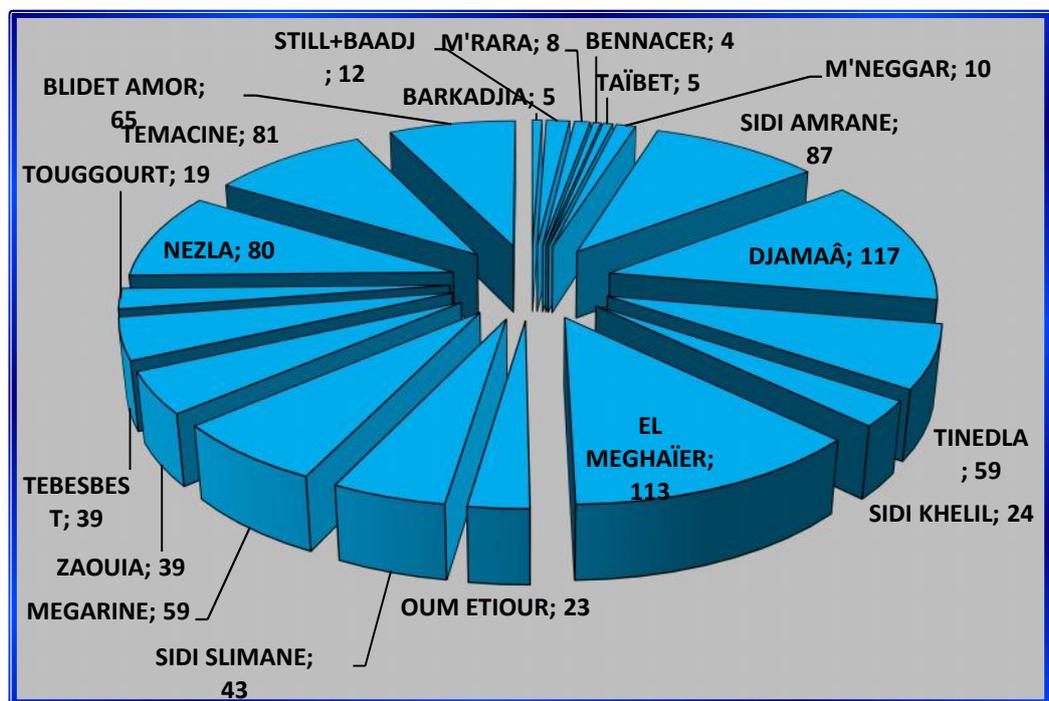


Figure N°11: Répartition du nombre des forages par communes.

➤ **Forages exploitants le Complexe Terminal:**

Le nombre total des forages exploitants cette nappe est de **732** (en service) dont la quasi totalité sont utilisés pour l'irrigation (**712 forages**) réparti comme suit: **363** Forages à Vallée Nord, **334** Forages à Vallée Sud et **15** dans la zone Hors Vallée.

Les **20** autres forages sont destinés à l'alimentation en eau potable. La figure ci après (**Figure N°12**), montre la répartition des forages exploitants la nappe du Complexe Terminal dans toute la vallée.

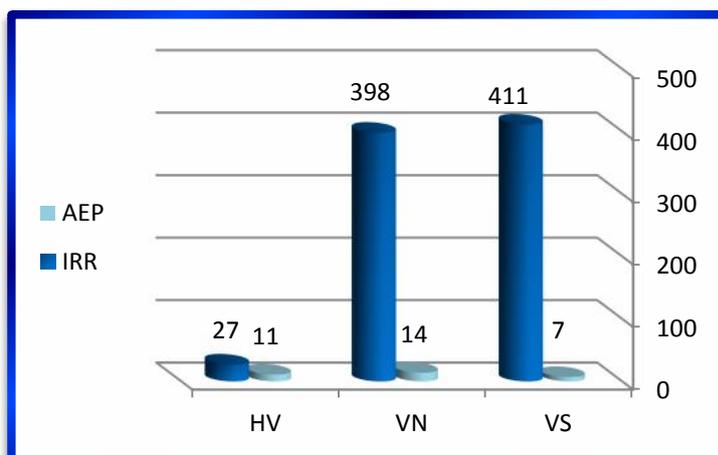


Figure N°12: Répartition des forages du CT selon l’usage (inventaire 2006).

➤ Forages exploitants le Continental Intercalaire:

Les forages albiens sont très profonds (profondeur de **1800** à **2000 m**), ils sont de nombre **23**. Les **06** forages CI de la zone Sud sont destinés à l'alimentation en eau potable, par contre dans la zone Nord pratiquement tous les forages sont destinés à l'irrigation .

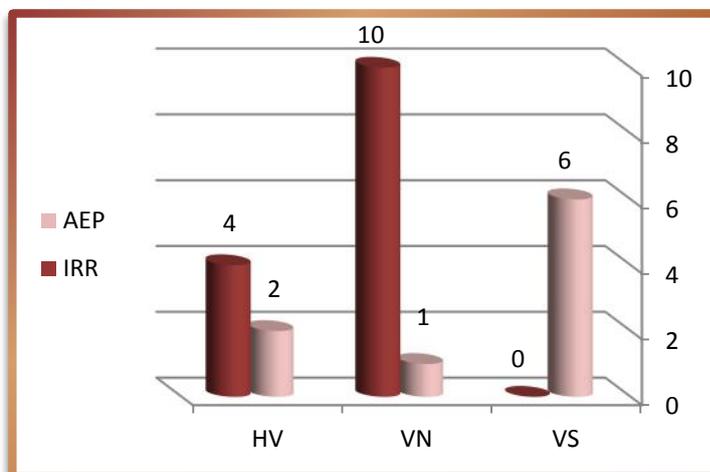


Figure N°13: Répartition des forages du CI selon l’usage (inventaire 2006).

L'exploitation des forages se fait au niveau de trois régions (Touggourt, Djamaa et Meghaier). Leurs eaux sont destinées généralement à l'irrigation et l'alimentation en eau potable (AEP) avec un débit s'étendant entre **3000** et **9000 L/s**.

Une campagne du bouchage des puits détériorés. (**518** puits bouchés en **1998**).

Tableau N° 05 : Etat actuel d'exploitation des forages.

ZONE	Formation captée	But d'utilisation	Débitactuel (L/S)
TOUGGOURT	Miopliocène	IRRIGATION	6078.75
		IRR+AEP	250.00
		AEP	20.00
	Eocène	IRRIGATION	324.22
	Sénonien	IRRIGATION	8.00
	Albien	AEP	1625
TOTAL			8305.97
DJAMAA	Miopliocène	IRRIGATION	3560.61
		IRR+AEP	150.00
		AEP	15.00
	Albien	AEP	2645.33
TOTAL			6370.94
MEGHAIER	Miopliocène	IRRIGATION	1198.82
		IRR+AEP	36.00
		AEP	384.66
	Albien	AEP	2050.56
TOTAL			3670.04
TOTAL GENERAL			18346.95

Source: ANRH

I-2-5-Pédologie:

Selon (SOGETA SOGRIAH,1970), Le matériau parental des sols de L'Oued Righ est d'origine mixte allu-colluviale et éolienne .les allu -colluvions proviennent de L'érosion du niveau encroûté datant du quaternaire ancien ou du mio-pliocène. Les phases successives d'érosion et de comblement du fond de la vallée sont responsables de L'hétérogénéité texturale constatée dans les horizons profonds particulièrement Le long de la ligne de chott.

Si on admet que le dessèchement du Sahara septentrional à débuté après la glaciation de WURM. La mise en place des matériaux des sols date soltanien , les horizons supérieurs sont cependant en grand partie , d'origine éolienne (placage. Sableux plus ou moins remanié et récent).

Ce sont des sols généralement meubles et bien aérés en surface, en majorité salés, l'influence de la nappe phréatique est déterminante et on observe parfois un horizon hydro morphe ou un encroûtement gypso calcaire ; dans les sols non encroûtés

les propriétés hydrodynamiques sont bonnes, améliorées par des apports de sable en surface.

Dans la région de l'Oued Rhir les sables sont en majorité siliceux et formés de quartz pur donc insolubles. On trouve aussi des sables calcaires (CaCO_3) et gypseux ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

Texture : Les sols contiennent une très forte proportion de cristaux de gypses de toutes tailles (**40%**, en moyenne) le matériau des horizons superficiels et peu profonds (moins de **70cm**) est assez homogène. Son taux d'argile varie de **5 à 10%** et sa texture est limono sableuse (le plus souvent) ou sablo limoneuse.

Quelques palmeraies du groupe nord (région de Meghaier) montrent cependant des surfaces relativement importantes de sol plus fin (limono argileux et argilo limoneuse).

Certains horizons profonds principalement près de la ligne de chotts ont une texture fine à très fine, d'autres sont inters stratifiés

Propriétés chimiques des sols : Selon (**SOGETA SOGRIAH, 1970**) :

- La majorité des sols sont salés ou très salés , mais il n'y a pas d'alcalinisation du complexe absorbant.
- Le type de salure est sulfaté calcique jusqu'à **6 mm hos /cm** .chloruré-sodique au-delà.
- Les ions sont représentés par les chlorures et les sulfates.

Les teneurs en bicarbonates sont toujours faibles. les teneurs en carbonate sont nulles.

- Les cations sont représentés par le sodium ,le calcium se trouve sous forme de gypse : il est donc peu soluble.
- Les teneurs en potassium sont toujours faible .
- Le pH est légèrement alcalin et varie entre **7,5 et 8,5**.
- Les teneurs en matière organique sont très faible et provient essentiellement de la fumure appliquée dans la palmeraie moins de **0.5 %**.

propriétés physiques des sols :

- **La densité :** la densité apparente des sols est faible dans les horizons superficiels qui sont régulièrement travaillés. Elle est en moyenne de **1,25** avec **75%** , des résultats compris entre **1.05** et **1.35** dans les horizons sous-jacents ,par contre elle est légèrement plus forte en moyenne de **1.30** avec **75%** des résultats compris entre **1,15** et **1,45**.
- **La porosité :** la porosité totale des horizons de surface ont des valeurs comprises généralement entre **40** et **60%**, celle des horizons plus profonds est plus faible (**30-45%**).
-

Tableau N° 06 : Description morphologique de la zone d'El Meghair :

Horizon (cm)	0 - 25	25 – 60
Argile %	0	0
Limon fin%	18	8
Limon grossier %	5	5
Sable fin %	42	47
Sable grossier %	22	25
Matières organiques		
Matières organiques %	0.87	0.20
Carbone %	4.10	3.50
Azote %	0.30	0.14

Tableau N° 07 : Description morphologique de la zone de Djamaa :

Horizon (cm)	0 - 32	32 - 70	70 - 120
Argile %	0	0	0
Limon fin%	8	10	36
Limon grossier %	3	3	1
Sable fin %	48	46	18
Sable grossier %	9	8	4
Matières organiques			
Matières organiques %	0.87	0.70	0.32
Carbone %	5.10	4.50	1.90
Azote %	0.35	0.39	-

Tableau N° 08 : Description morphologique de la région de Touggourt :

Horizon (cm)	0 -22	22 - 57	57 - 75
Argile %	2	0	0
Limon fin%	2	8	15
Limon grossier %	2	1	1
Sable fin %	68	55	61
Sable grossier %	26	11	15
Matières organiques			
Matières organiques %	0.15	0.36	0.34
Carbone %	2.70	2.60	2.40
Azote %	0.31	0.32	0.30

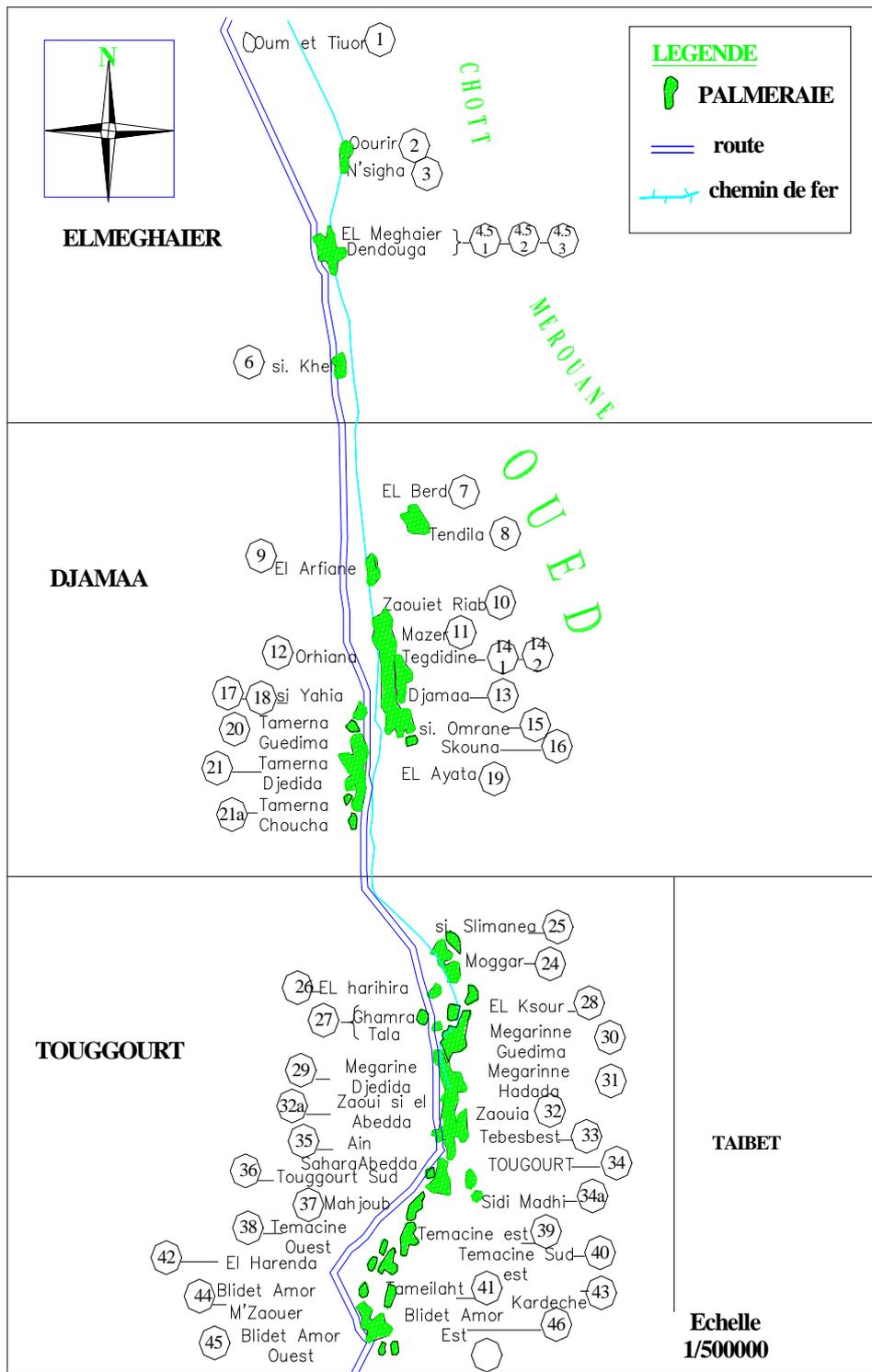


Figure N°14: Répartition des palmeries dans la vallée de l'Oued Righ

I-3-Géographie:

I-3-1-Localisation:

Notre région se situe au Sud-Est du pays, plus précisément au Nord-Est du Sahara sur la limite Nord du Grand Erg Oriental, et la bordure Sud du massif des Aurès, la partie de la vallée de l'Oued Righ (étudiée ici) commence au Sud par le village d'El Goug (Touggourt) et se termine sur une distance de **150km** plus au Nord par le village d'Oum-Thiours [**100 km** de la wilaya de Biskra].

Elle s'étend sur un axe Sud- Nord entre les altitudes Nord **32°54'**et **34°9'**, et longitudes Est **5°30'** et **6°20'**, elle est encadrée par les Zibans entre Biskra et Tolga ; au Nord, au Sud-Ouest : les oasis de Ouargla, à l'Est la vallée de l'Oued Souf.

Du point de vue administratif, elle fait partie de deux wilaya [**Ouargla- ElOued**] passant par six daïras, du **Sud** vers le **Nord** : Témacine, Touggourt, Sidi Slimane, Mégarine appartiennent à **Ouargla**, Djamaa, El Meghaier à la wilaya d'**ElOued**.

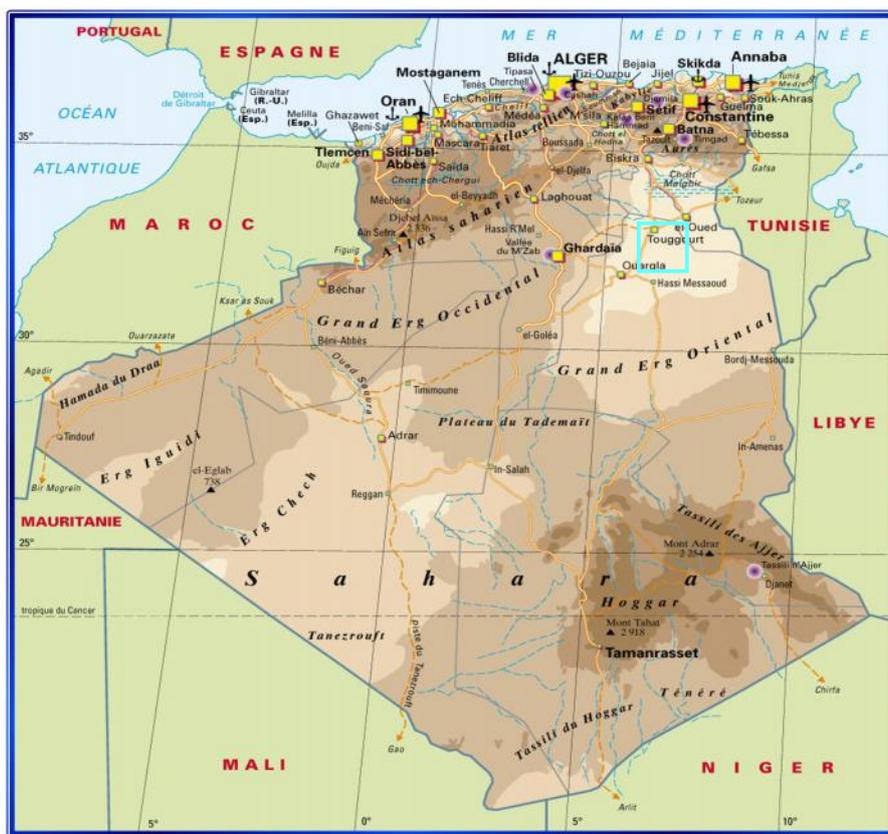


Figure N° 15: Situation géographique de la région de Oued Righ par rapore à l'Algérie (Internet :www.rove.com)

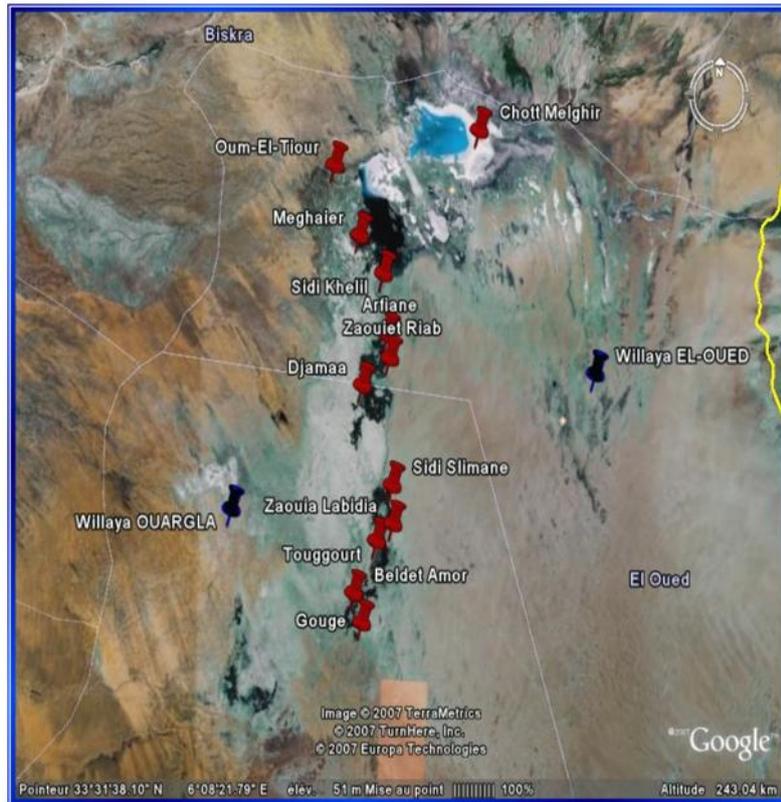


Figure N°16 : Vue satellitaire du canal Oued Righ.

I-3-2-Topographie:

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

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

La variation des côtes est nettement remarquable, Elle descend régulièrement de **100 m** à Goug, puis **70 m** à Touggourt passant par la cote de **45 m** à Djamaa, déminu jusqu'à **15 m** à Oum Touyourt et atteint la cote **0 m** à El Meghaier et finalement Ourir (le chott) est situé à une cote nettement au dessous du niveau de la mer (**-30 m**).

I-4-Géologie:

La géologie reste primordiale en hydrogéologie, car elle permet la connaissance des formations susceptibles de constituer de bons aquifères et de suivre leurs évolutions dans l'espace du terrain d'étude.

Du point de vue géologique, la zone de Oued Righ appartient à la plate forme Saharienne, elle s'étend sur des ensembles géologiquement différents totalement aplanis au début de l'Ere secondaire ; elle se comporte actuellement comme une vaste dalle rigide et stable.

I-4-1- Géomorphologie Régionale:

La dénivellation entre le haut et le bas du relief est peu marqué reposant sur les formations Miopliocènes et Eocènes qui s'enfoncent progressivement vers le Nord, on trouve sur les parties hautes de la vallée un niveau quaternaire ancien à encroûtement gypso-calcaire, recouvert par endroits de formations dunaires ; le fond de la vallée est constitué de dépôts sablo argileux.

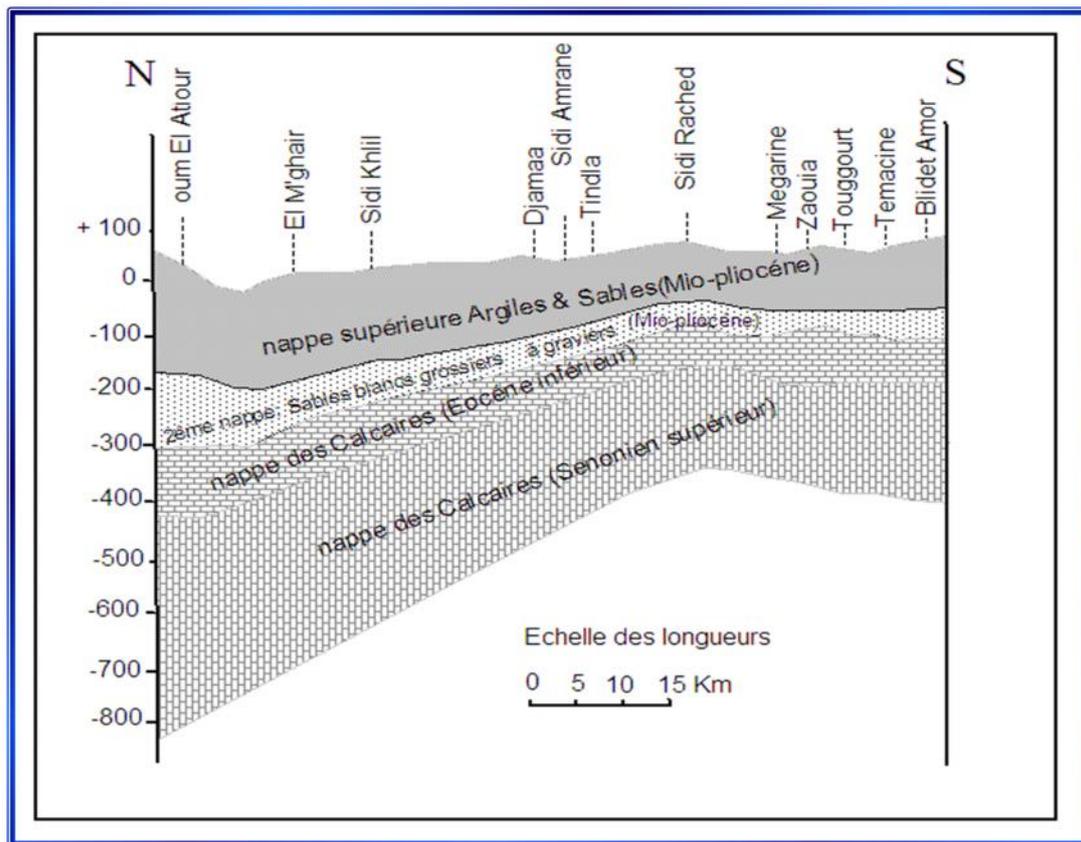


Figure N°17 : Coupe géologique schématique Nord-Sud et intérêt hydrogéologique du complexe Terminal le long de la vallée de l'oued Righ

I-4-2- Description stratigraphique :

Les formations géologiques de la zone étudiée seront décrites du plus ancien au plus récent.

A. Secondaire:

A.1. Sénonien: Constitué de calcaires blancs et une alternance de calcaire, de marne et des couches de gypse.

A.2. Turonien: Représenté par un dépôt marin, calcaireux -marneux, l'épaisseur du turonien reste à peu près constante,

A.3. Cénomaniens: Présente une épaisseur considérable qui diminue progressivement vers le Nord, Il affleure dans la zone atlasique. Ce Cénomaniens est composé généralement d'argiles et de marnes où prédominent des couches d'anhydrite et parfois même de sel.

A.4. Albien: Se présente comme une série très épaisse formée d'une alternance de couches gréseuses avec des passées d'argiles schisteuses.

B. Tertiaire :

B.1. Miopliocène: -Miopliocène supérieur : de formation sableuse ; renferme la première nappe **CT₁**.

- Miopliocène inférieur : sables et grès de la deuxième nappe **CT₂**.

B.2. Eocène inférieur: Calcaires de la troisième nappe **CT₃**.

Ces aquifères sont séparés par des niveaux imperméables à dominance argileuse.

C. Quaternaire :

Essentiellement sableux, à la base des couches d'argiles et d'évaporites semi-perméables le séparent du Pliocène supérieur. Cette formation quaternaire renferme une nappe phréatique alimentée principalement par l'infiltration des eaux des Oueds et surtout par percolation des eaux en excès lors des périodes d'irrigation.

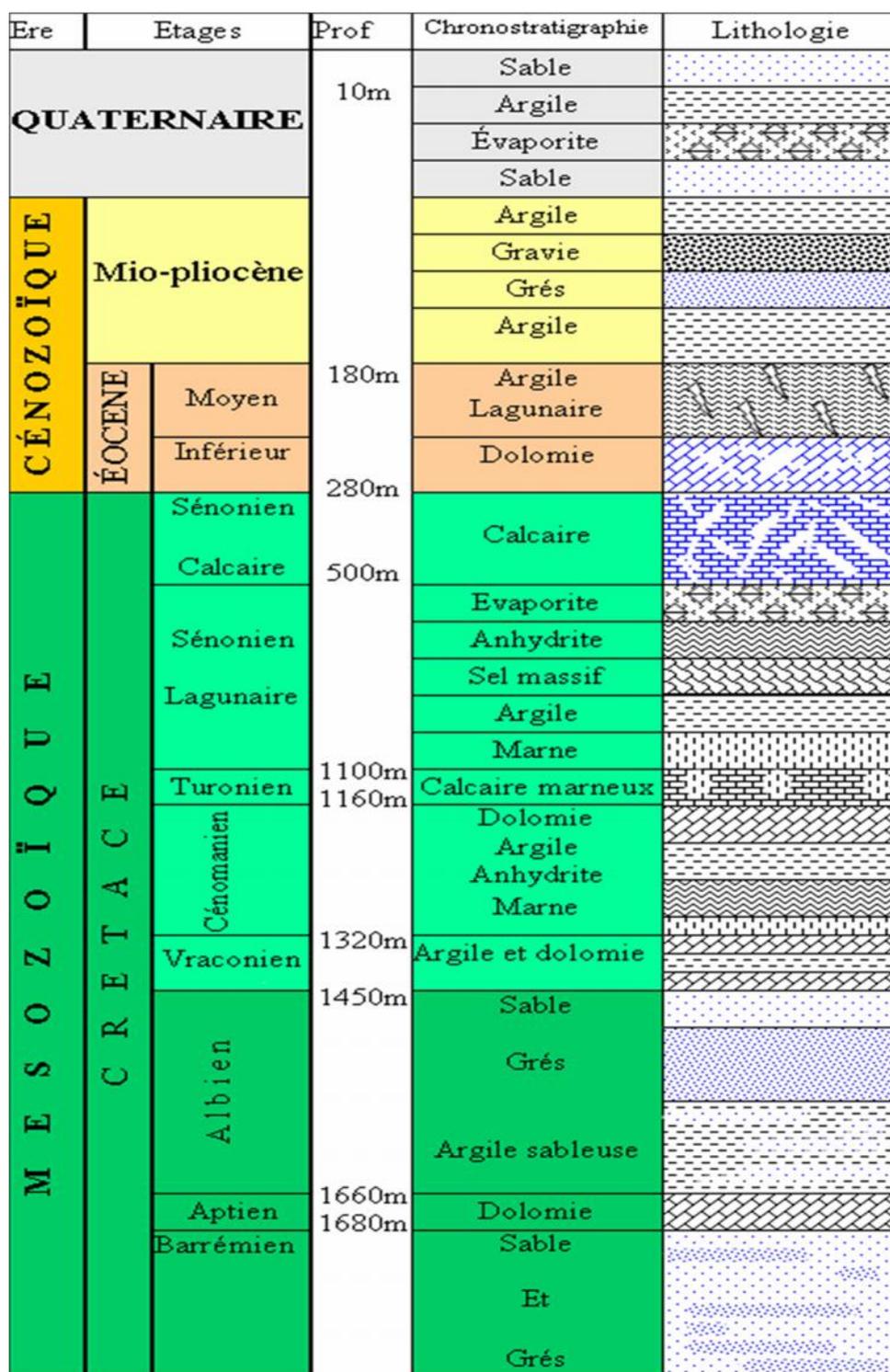


Figure N°18: stratigraphique synthétique de la région de Touggourt.

I-5-Climatologie:

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

Selon cette carte, basée sur le découpage hydrologique adopté par L'ANRH, la zone étudiée appartient au sous bassin versant N° 04, incluse du grand bassin saharien N°13.

Dans notre région d'étude, on dispose la station de Touggourt dont les coordonnées sont les suivantes ou les données present sur une période de 37 ans (1978 – 2014) :

Latitude : 33.11'N / Longitude : 06°13'E / Altitude : 85 m.

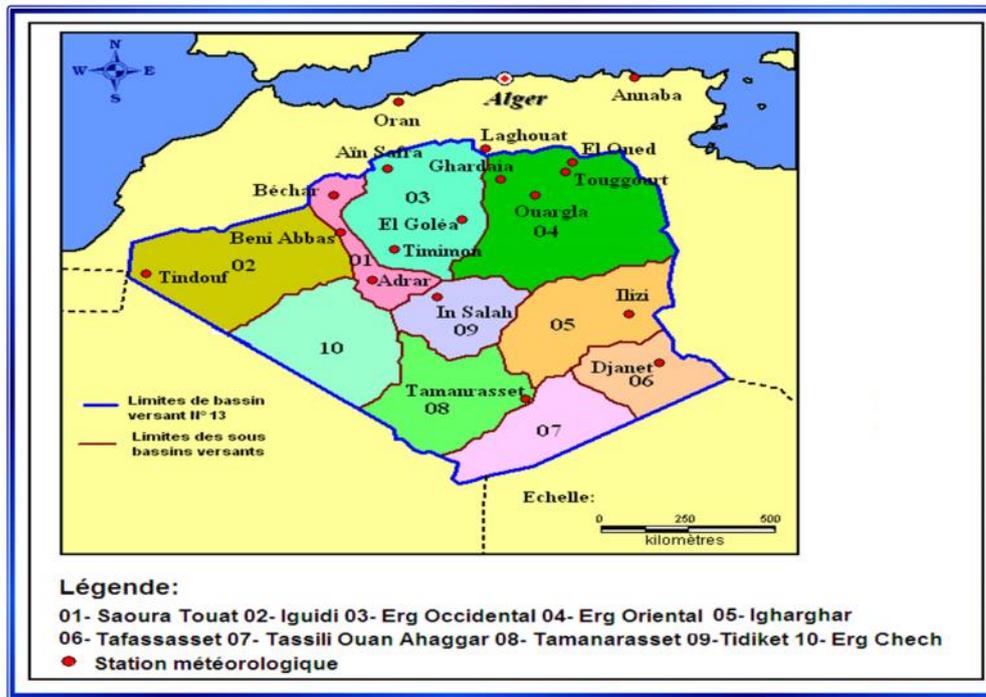


Figure N°19 : Carte des sous bassins versants du Sahara algérien et des stations Météorologiques d’après Cahiers de Sécheresse, No : 1/98

I-5-1-Précipitations :

Les fluctuations mensuelles montrent une répartition variable de la pluie d’un mois à l’autre comme l’indique le tableau ci-dessous.

Tableau N°09 : Distribution des précipitations moyennes mensuelles en (mm), période (1978 – 2014)

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
P _{moy} (mm)	5.76	6.86	7.14	6.36	15.10	5.22	8.01	7.50	4.43	1.35	0.27	1.75

La faiblesse de la pluviosité est le caractère fondamental du climat saharien.

On note dans la vallée d'Oued Righ un gradient pluviométrique décroissant du Nord vers le Sud ; les précipitations annuelles sont très faibles et irrégulières avec un nombre de jours ne dépassant pas **34 jour/an**.

Cependant la moyenne mensuelle maximale est enregistrée au mois de Janvier avec une valeur de **15.10 mm** et le minimum au mois de Juillet de l'ordre de **0.27 mm**. la moyenne annuelle est de l'ordre de **5.84 mm**.

Ces précipitations sont réparties d'une manière assez anarchique au cours de l'année elles sont de l'ordre de **70.13 mm/an**.

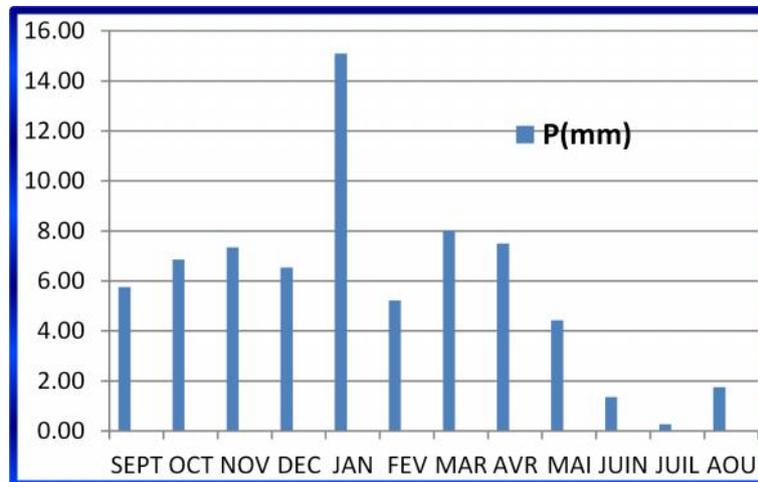


Figure N°20 : Histogramme de distribution de précipitation moyenne mensuelle, période (1978 – 2014)

❖ **Répartition saisonnière des précipitations :**

D'après la saison agricole chaque saison est subdivisée en trois mois comme suit :

- ❖ Automne : Septembre – Octobre – Novembre.
- ❖ Hiver : Décembre – Janvier – Février.
- ❖ Printemps : Mars – Avril – Mai.
- ❖ Été : Juin – Juillet – Août.

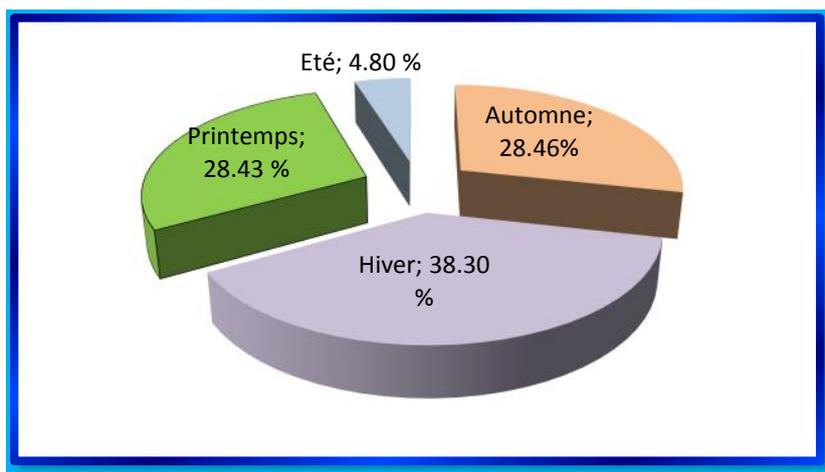


Figure N°21 : figure illustrant la répartition saisonnière des précipitations

On peut conclure que la saison hivernale est la saison la plus pluvieuse où on enregistre **38.30 %** des précipitations totales.

I-5-2-Température:

Est un facteur très important dans le calcul d'un bilan hydrique, elle joue un rôle dans les pertes en eau par le phénomène de l'évapotranspiration.

Tableau N°10: Distribution des températures moyennes mensuelles en (C°), période (1978 – 2014)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou
T(C°)	34.55	29.35	22.34	16.51	16.02	19.11	23.84	27.96	32.84	37.19	38.40	38.38

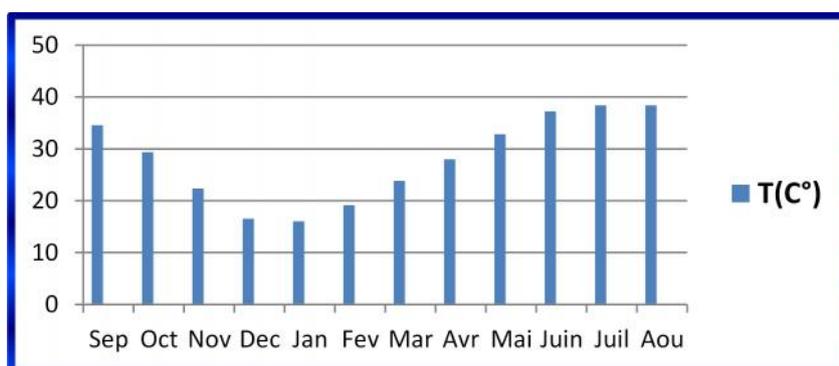


Figure N°22 : Histogramme de distribution de température moyenne mensuelle

Période (1978 – 2014)

D'après l'histogramme, on remarque que les mois les plus chauds sont juillet et août avec des valeurs de **38.40** et **38.38°C**. Les mois les plus froids sont: décembre et janvier avec des températures de **16.51** et **16.02°C**.

La valeur moyenne enregistrée est de l'ordre de **28.04°C**.

I-5-3-L'humidité:

Le tableau 5 donne les valeurs d'humidité relatives moyennes observées en 37 ans, et d'après le graphe on arrive à distinguer les mois secs des mois relativement humides.

Tableau N° 11: Distribution d'humidités moyennes mensuelles en (%), période (1978 – 2014)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou
H(%)	45.78	53.50	60.16	66.19	64.56	55.84	48.97	43.41	38.78	34.16	31.44	34.69

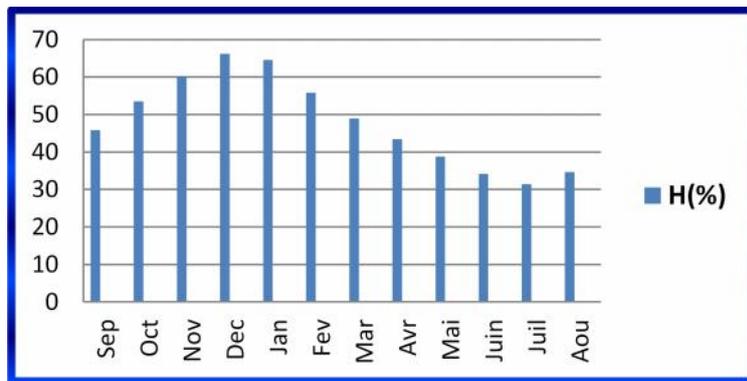


Figure N°23 : Histogramme de distribution d'humidité moyenne mensuelle Période (1978 – 2014)

On remarque que l'humidité maximale à la station de Touggourt est de l'ordre de **66.19 %** au mois de Décembre, par contre l'humidité minimale est de **31.44 %** au mois de Juillet et les mois humides

(**H > 48,12%**), sont Octobre, Novembre, Décembre, Janvier, Février et Mars et les mois secs (**H < 48,12%**) caractérisent le reste de l'année.

I-5-4-Les vents:

Les vents dominants dans Touggourt sont de direction **N.NE** en hiver et **S.SE** en été. Ils se caractérisent par une vitesse dépassant parfois **20 km/h** et provoquant le déplacement des dunes et le dessèchement des végétaux.

La valeur maximum enregistrée est au mois de mai est de **4.19 m/s** et le minimum en décembre **2.11 m/s**.

Tableau N°12: Distribution des vitesses moyennes mensuelles du vent en (m/s), période (1978– 2014).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou
V (m/s)	3.14	2.28	2.11	2.31	2.18	2.65	3.34	4.05	4.19	3.95	3.47	3.06

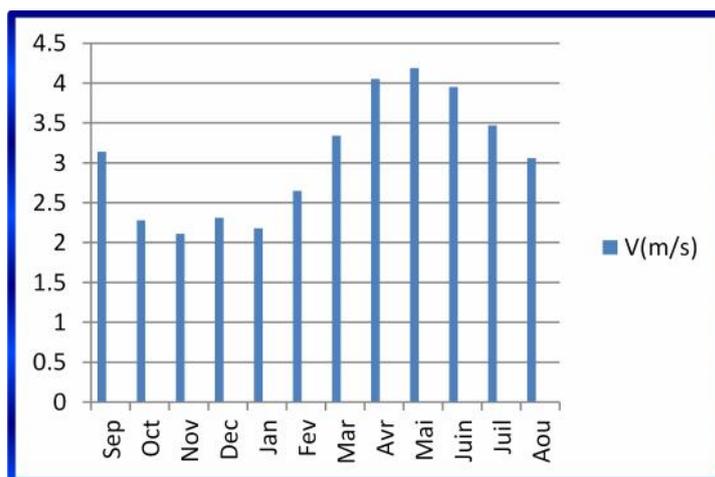


Figure N°24 : Histogramme de distribution des vitesses moyennes mensuelles du vent, période (1978 – 2014)

I-5-5-L'insolation:

La vallée de l'Oued Righ reçoit une quantité de la lumière solaire relativement très forte; le maximum est atteint au mois De juill avec une durée d'insolation de **344.01 heures** et le minimum au mois de Decembre avec une durée d'insolation de **244.83 heures**.

Tableau N°13: La durée d'insolation moyenne mensuelle (h) d'apret la station, période (1978 – 2014)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou
I(h)	291.59	275.24	253.09	244.83	251.37	253.61	284.12	298.97	334.30	344.01	376.92	352.61

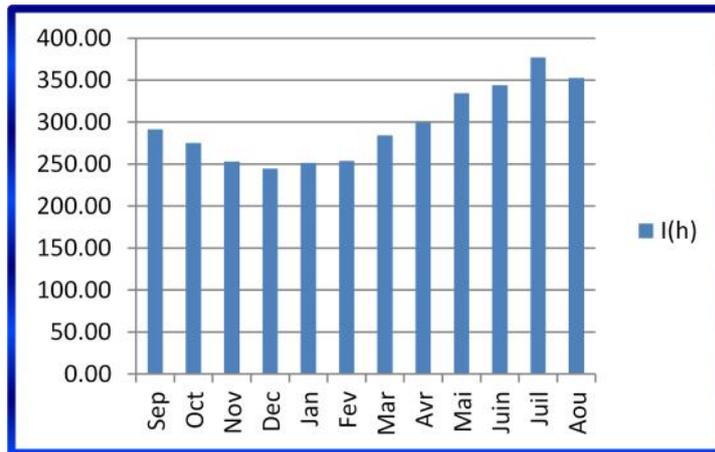


Figure N°25 : Histogramme de distribution des durées d'insolation moyenne mensuelle période (1978 – 2014)

I-5-6-L'évaporation :

L'évaporation est la partie non négligeable de l'eau arrivée au sol est immédiatement évaporée, le tableau ci-dessous montre les valeurs d'évaporation moyenne mensuelle en (mm) de station de Touggourt.

Tableau N°14: Les valeurs d'évaporation moyenne mensuelle (mm), période (1978 – 2014)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou
Eva(mm)	231.62	170.13	92.14	107.39	87.18	109.55	169.47	220.38	278.74	318.12	354.66	330.26

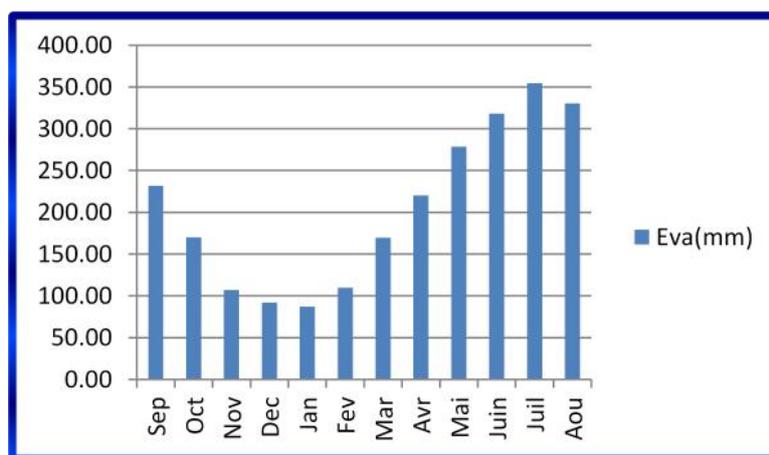


Figure N°26 : Histogramme de distribution des valeurs d'évaporation moyenne mensuelle période (1978 – 2014)

D'après l'histogramme, le taux d'évaporation moyenne mensuelle maximale est au mois de Juillet avec une valeur égale à **354.66 mm**, et la valeur minimale est au mois de Décembre avec une valeur égale à **87.18 mm**.

I-5-7-B bilan hydrique :

Lorsque les précipitations sont inférieures à l'ETP, deux cas peuvent se présenter :

- aussi longtemps que la réserve utile (RFU) sera capable de combler la différence entre les précipitations et ETP, l'ETR sera égale à l'ETP.
- au delà l'ETR sera égale à P, il y aura apparition du déficit agricole (DA).

D'après Thornthwaite le bilan hydrologique mensuel peut être établi avec l'intégration des précipitations (P) et ETP pour estimer les paramètres suivants :

- l'évapotranspiration réelle ETR.
- la réserve facilement utilisable RFU.
- le déficit agricole DA.
- l'excédent (water surplus) EX.

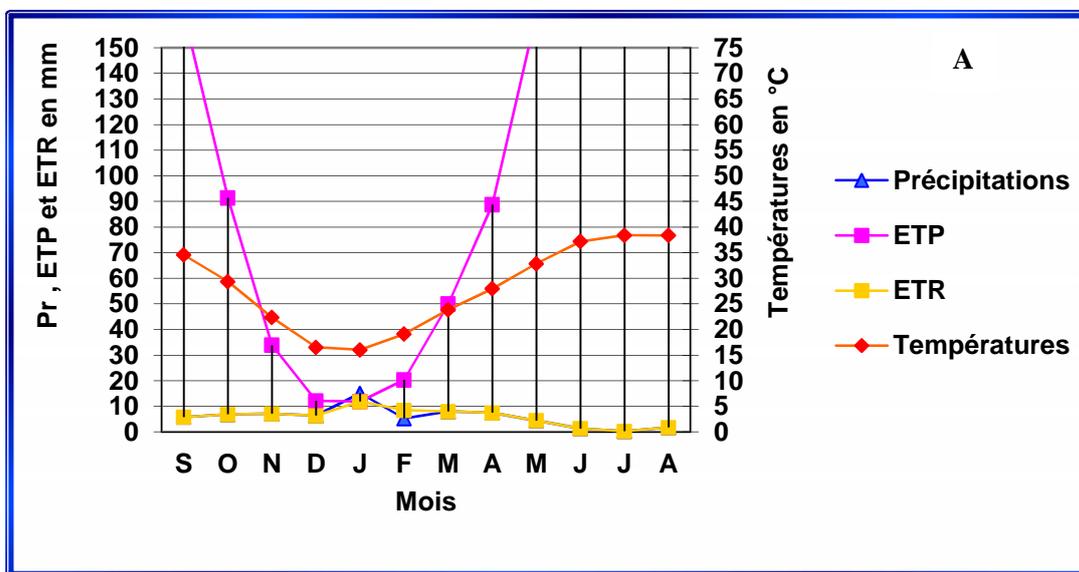


Figure N° 27(A) : Bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite pour la période (1978 – 2014).

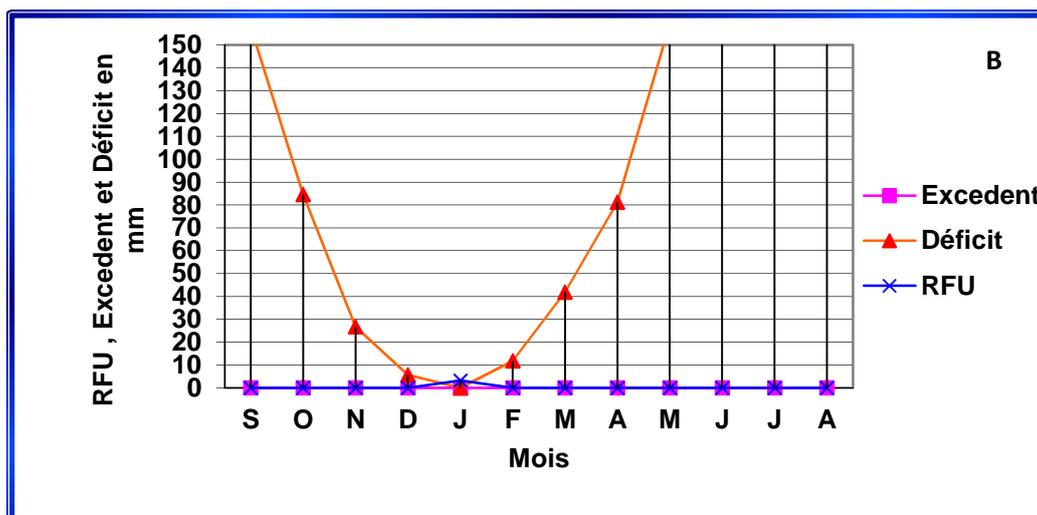


Figure N° 27(B) : Bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite pour la période (1978 – 2014).

Tableau N°15 : Bilan Hydrique (C.W. Thornthwaite) (1978 – 2014):

Mois	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	34,55	18,7	1,03	163,5	5,79	-157,7	-1,0	0,0	0,0	5,8	157,7	0,0
O	29,35	14,6	0,97	91,4	6,86	-84,5	-0,9	0,0	0,0	6,9	84,5	0,0
N	22,34	9,6	0,86	33,9	7,14	-26,7	-0,8	0,0	0,0	7,1	26,7	0,0
D	16,51	6,1	0,81	12,1	6,36	-5,8	-0,5	0,0	0,0	6,4	5,8	0,0
J	16,02	5,8	0,87	11,8	15,1	3,3	0,3	3,3	3,3	11,8	0,0	0,0
F	19,11	7,6	0,85	20,3	5,22	-15,1	-0,7	-3,3	0,0	8,5	11,8	0,0
M	23,84	10,6	1,03	49,9	8,01	-41,9	-0,8	0,0	0,0	8,0	41,9	0,0
A	27,96	13,5	1,10	88,8	7,5	-81,3	-0,9	0,0	0,0	7,5	81,3	0,0
M	32,84	17,3	1,21	163,3	4,43	-158,9	-1,0	0,0	0,0	4,4	158,9	0,0
J	37,19	20,9	1,22	245,0	1,35	-243,7	-1,0	0,0	0,0	1,4	243,7	0,0
J	38,4	21,9	1,24	275,9	0,27	-275,6	-1,0	0,0	0,0	0,3	275,6	0,0
A	38,38	21,9	1,16	257,7	1,75	-255,9	-1,0	0,0	0,0	1,8	255,9	0,0
Annuel	28,0	168,5		1413,6	69,8	-1343,8				69,8	1343,8	0,0

Nous constatons que les précipitations sont inférieures à l'ETP.

La RFU est de l'ordre **3,3 mm** au mois de janvier durant toute l'année.

Le déficit agricole atteint son **maximum** en juillet avec **275.6mm**.

L'ETR est égale à **69,88 mm**.

En fin le déficit est de **1343,3**, montre une période sèche. (Tableau 15 et Figure 27).

I-6-Conclusion:

On note que la zone d'étude est une vaste vallée occupée d'une largeur de **20 à 30 km** prolongée sur une longueur de **150 km** avec une pente de **1%**, qui rassemble des centaines de palmeries. D'une vue aérienne on observe un cours d'eau traverse le long de cette zone commence de GOUG au sud jusqu'à l'exutoire naturel chott MEROUANE au nord c'est le canal d'oued Righ dont le but est le drainage, a un rôle très important comme est un ravin pour la région. L'aménagement de la région par un réseau d'assainissement presque **100%** ; mais le point négatif ou le débit (**1.5 m³/s**) atteint **50%** de débit total drainé (**2.74 m³/s**) est l'absence des stations d'épuration la seule de TOUGGOURT.

L'alimentation en eau potable (AEP) est destinée d'un pourcentage **8.2%** du total ou la plus importante part est prise par l'irrigation avec **91.80%** du total (**588.8 Hm³/an**).

Géomorphologie de la vallée est une croûte gypso-calcaire, recouvert par des endroits dunaires ; le fond de la vallée est constitué de dépôts sablo argileux.

Formations imperméables constituées d'argiles et de marnes servant de substratum et toits des nappes.

L'aspect climatique de la région de l'Oued Righ caractérisée par un climat désertique

On hyperaride:

Où les précipitations annuelles moyennes de la région sont faibles et irrégulières, de l'ordre **70.13 mm**, et ne jouent aucun rôle dans la recharge directe des nappes.

Les températures annuelles moyennes de l'ordre de **28.04 °C**.

L'humidité relative moyenne annuellement est de **48.12%**.

En générale les vents dominants sont de direction **N.NE** en hiver et **S.SE** en été, avec la présence des orages sableux pendant l'année dépassant les **20 Km/h**.

L'évaporation moyenne annuelle est de l'ordre de **205.80 mm/an**.

La formule de **THORNTHWAITE** nous donne: L'évapotranspiration potentielle égale à **1413,60 mm**, et l'évapotranspiration réelle est de **69,90 mm** pour la même période.

II-1-HYDROGEOLOGIE:

II-1-1-Introduction:

La zone étudiée appartient au Bas Sahara. Cet environnement socio-économique se situe dans un contexte climatique de type désertique hyperaride. Les précipitations sont très faibles et irrégulières ne jouent qu'un rôle limité dans la recharges des nappes.

L'agriculture est la principale activité dans ce territoire.

Les ressources en eau souterraines du Sahara sont essentiellement constituées de :

- Ressources renouvelables provenant des infero-flux du versant sud des Aurès.
- 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.

II-1-2- Hydrogéologie régionale :

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

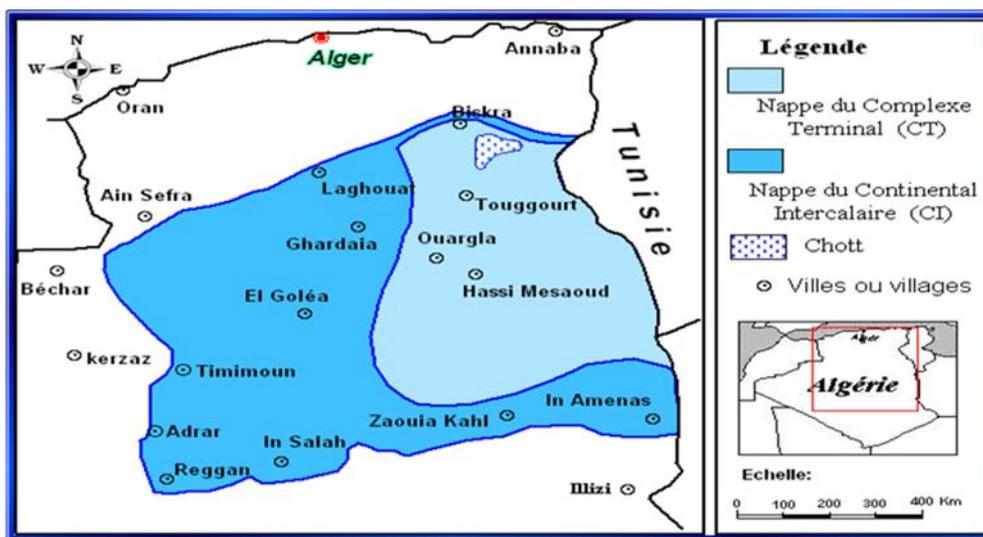


Figure N°28 : Carte des ressources en eau souterraines (Continental Intercalaire et Complexe Terminal), extrait de recueil des communications, 2002.

II-1-3 Le Continentale Intercalaire :

C'est une nappe qui est partagée entre trois pays maghrébins (L'Algérie, la Tunisie et la Libye). La partie Algérienne du Continentale Intercalaire couvre **600000 km²**. Elle stock un volume d'eau considérable, estimé à **50 000 milliards m³** environ. Cette nappe est plus connue sous la dénomination d'«Albien». Le terme Continental Intercalaire, par contre désigner 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) Située à plus de **1800 m** de profondeur dans la zone de Touggourt.

A\ Limites et morphologie du continental intercalaire :

Est limité au Nord par l'Atlas Saharien, à l'Ouest par l'axe Béchar Réggan et au Sud par l'axe Reggan- Ain Amenas ; à l'Est il se prolonge au-delà des frontières Algéro-Libyenne et Algéro-Tunisienne.

Il est partagé par la dorsale du M'zab en deux bassins :

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

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 »], la limite aux formations clastiques (argilo gréseuses) véritablement continentales et susceptibles de constituer un ensemble aquifère homogène sur le plan lithologique.

Le CI ainsi défini peut occuper une position variable dans l'échelle stratigraphique: si le toit est défini comme la base du cénomanien argileux (sauf dans le nord-ouest), il n'en est pas de même pour le mur qui est situé, suivant les régions, entre la discordance hercynienne et le Barrémien.

Le CI n'est pas constitué uniquement d'horizons perméables. La composante argileuse peut représenter en proportion une place importante. Il a alors été effectué une distinction du réservoir utile. Ainsi, dans la lithologie du Continental Intercalaire, on distingue:

- Les grés, quand les couches renferment moins de **10%**d'argiles, des grés argileux, s'il y a de **10 à 50%** d'argiles,
- des argiles, quand il y a plus de **50%** d'argiles.

B\Toit du réservoir :

Le toit du **CI** débute presque toujours au toit de l'Albien **+2000m** par rapport au sol, le mur de **CI** coïncide avec la discordance hercynienne sous les plateaux du Tadmait et du Tihert.

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 de l'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.

La porosité moyenne de cette nappe se situe entre **22 et 29%**.

C\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).

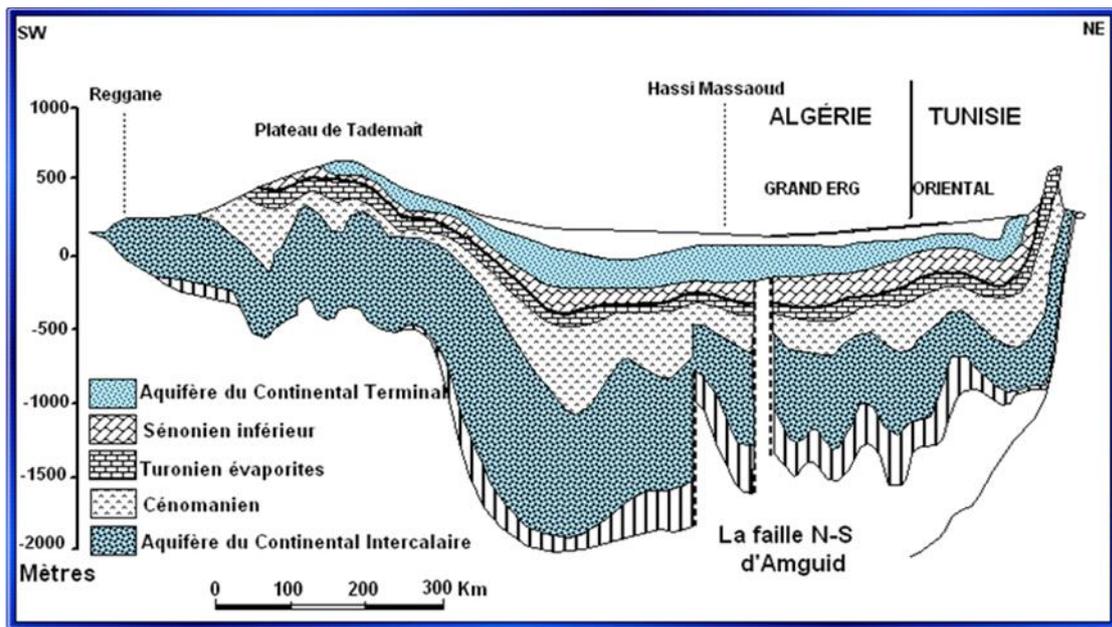


Figure N°29: Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrionale (UNESCO 1972)

D\Les 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.

E\Epaisseur du réservoir :

Son épaisseur utile est souvent déterminée 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 de l'Est d'El Goléa ou elles sont comprises entre **750 m** et **1000m**. La vallée de l'Oued Righ et les Zibans sont un peu moins bien lotis avec des valeurs inférieures à **350 m**.

D'après **BRL**, 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 Continentale Intercalaire proprement dit nappe d'eau douce comprise dans les grès Albo-Barremiens.

Tableau N°16 : Données générales sur la nappe du Continentale Intercalaire

Etendue	600 000 km²
Epaisseur total (m)	50 à 100
Profondeur (m)	60 à 2400
Profondeur au toit (m)	20 à 2000
Epaisseur de la couche utile productrice (m)	150 à 200
Débit (l/s)	50 à 400
Niveau statique par apport au sol (m) (Menaia)	Artésien (25 bars)
Rabattement par apport au N.S (m)(toute la région)	Artésien
Transmissivité ($10^{-3} m^2 / s$)	10 à 30
Coefficient d'emmagasinement (10^{-4})	6 à 1200
Alimentation moyenne ($h.m^3 / an$)	270
Réserve théorique calculée (m^3)	50000×10⁹
Température (°c)	25 à 70
Salinité des eaux	0,5 à 6g/l

II-1-4-Le Complexe Terminal :

Le système aquifère du Complexe Terminal est moins étendu que le CI néanmoins, il couvre la majeure partie du bassin oriental du Sahara Septentrional, sur environ **350.000 km²**; sa profondeur oscille entre **100** et plus de **500 m** et son épaisseur, en moyenne de **220 m**.

Sont désignées sous le nom de Complexe Terminal (**CT**) les formations les plus récentes, déposées au Bas-Sahara. Il se compose de deux ensembles aquifères principaux d'âge et lithologie différentes, séparées par des formations semi-perméables ou imperméables ce sont :

- Au sommet, des sables du Mio-Pliocène, couvrant en discordance pratiquement la totalité de l'Erg Oriental depuis la dorsale de M'zab à l'Ouest jusqu'au Dahar Tunisien à l'Est, l'épaisseur de l'aquifère des sables **50-100m** en moyenne, minimale dans la région de Hassi Messaoud **30m**, augmente vers le Sud **400 m**, et le Nord ou elle peut atteindre **600 m**.
- Les formations carbonatées des Sénonien supérieur, s'étendent sur l'ensemble du Bassin Oriental. L'Eocène inférieur ne couvre que la zone située au Nord d'une ligne de Djamaa – Tozeur.
- Les calcaires et les dolomies du Turonien sont reliés hydrauliquement aux formations carbonatées précédentes par l'aquifère des sables du Mio-Pliocène. L'épaisseur moyenne de réservoir carbonaté est de **100 à 200 m** augmentant vers le Nord, atteint **500 m** sous le chott Melghir et **600 m** dans la fosse Atlasique.
- Le complexe terminal d'après **l'ERESS (1972)** comprend les formations les plus récentes déposées au bas Sahara est limité à l'Ouest par la dorsale de M'zab, au Nord par l'accident majeur de l'Atlas saharien, à l'Est par le Dahar, au Sud par une ligne passant au Nord de l'axe In Saleh-Zarzaitine sous l'Erg oriental.
- Le substratum du complexe aquifère est d'une manière générale, constitué par la formation lagunaire du Sénonien. La couverture est formée par les argiles plus au moins sableuses du sommet du Mio-Pliocène et les marnes et évaporites de l'Eocène moyen pour l'aquifère Eocène.
- La couverture est constituée par des argiles plus au moins sableuses du sommet du Mio-Pliocène et marnes et évaporites de l'Eocène moyen pour l'aquifère Eocène.
- La nappe est en charge au Nord et libre dans sa partie Sud. sa porosité dépend de la lithologie, elle est estimée à **30%** dans les sables du Mio-Pliocène et à **20%** dans les calcaires du Sénonien et de l'Eocène supérieur.
- Les études consultées montrent que l'écoulement se fait: du Sud vers le Nord (dans le bassin oriental), il converge des zones d'alimentations vers les chotts Merouane et Melghir ainsi que vers l'exutoire souterraine du Golf de Gabes.
- Dans la partie de la Chébkha de direction Ouest est un vidage de la nappe vers la ligne de sébkhas de l'Oued Mya et chott Melghir.
- Dans le bassin occidental, une partie importante de l'écoulement rejoint les séries sous-jacentes du **continental intercalaire** et contribue à l'infero-flux d'oued Saoura.

- L'alimentation de la nappe du complexe terminal se fait sur les affleurements perméables, par infiltration des eaux de ruissellements apportées par les oueds qui descendent les reliefs des bordures. Un apport non négligeable se fait par l'impluvium propre de grand erg oriental.

II-1-5- La nappe phréatique :

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

Dans cette région, on assiste au phénomène de remontée du niveau hydrostatique de la nappe phréatique, lié au développement de l'irrigation (prélèvements excessifs dans les nappes profondes CT, CI) et l'insuffisance du drainage.

Tableau N°17 : Synthèse hydrogéologique régionale des différentes aquifères (sans échelle)

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

II-1-6-Potentialités en eau:

Les études de simulations de l'année **1985**, basées sur les hypothèses de l'étude ERESS, qui constituent la base d'évolution et de gestion de la ressource hydrique pour les deux nappes, font ressortir des potentialités en eau de l'ordre de **156 m³/s**, soit environ cinq (**5**) milliards de m³ par an à partir de **2005** jusqu'à **2040**.

Dans le cadre de cette étude de simulations, le Sahara septentrional avait été divisé en **13** régions potentielles, chacune possède un à deux aquifères (CI seul, ou CI + CT). Les conclusions de ces études sont résumées dans les tableaux suivants :

Tableau N°18 : Potentialités de nappe du Continental Intercalaire:

Région	Potentialité (l/s)	Région	Potentialité (l/s)
Oued Righnord	2 845	Ghardaïa	7 507
Oued Righ sud	3 802	El-Goléa	10 050
Souf	3 200	Gassi-Touil	2 820
HassiMassaoud	2 199	In Salah	5 860
Ouargla	11 060	Grara	12 710

Tableau N°19 : Potentialités de nappe du Complexe Terminal:

Région	Potentialité en l/s	Région	Potentialité en l/s
Nord des chotts	295	HassiMassaoud	15 396
Oued Righ nord	5 970	Gassi-Touil	20 000
Oued Righ sud	9 772	Ouargla	10 464
Souf	6 894		

Tableau N°20 :Synthèse des potentialités en eau de CI et CT:

Région	Potentialité en m ³ /s
Oued Righ nord	277
Oued Righ sud	418
Souf	318
HassiMassaoud	554
Gassi-Touil	719
Ouargla	678

II-1-7-L'hydrogéologie locale d'Oued Righ :

Dans la région étudiée, il existe deux systèmes aquifères, séparés par d'épaisses séries argileuses et évaporitiques, de la base de Crétacé supérieur, il s'agit du :

- Continental intercalaire **CI**, aquifère profond compose de sable gréseux ou gréseux argileux.....
- Complexe terminal **CT** compose de trois nappes superposées :
 - l'une dans les sables et argiles du Pliocène **CT1**.
 - L'autre dans les sables grossiers à graviers, du Miocène supérieur **CT2**.
 - La troisième dans les calcaires fissures, plus au moins karstiques de l'Eocène inférieur **CT3**.
- Au dessus existe un aquifère superficiel à nappe libre, la nappe phréatique.

A/ Nappe du Continental Intercalaire :

C'est un aquifère profond, composé de sables gréseux ou argileux. Son épaisseur varie d'une région à une autre des valeurs inférieures à **350 m (200 m à Touggourt)**.

Il est contenu dans les formations continentales du Crétacé inférieur (Barrémien Albien). Le mur constitue par le socle ou Primaire déformé par l'orogénèse hercynienne et très irrégulière.

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

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

Pour **CORNET** cette alimentation est estimée à **25m³/s**, **BURGEAR** la fixait à **15 m³/s**. Elle provient en grande partie du piémont de l'atlas mais elle reste très faiblement alimentée par rapport au volume d'eau qu'elle contient.

Son exutoire est la zone des chotts avec un sens d'écoulement souterrain Sud Nord (dans le bassin oriental).

B/ Les nappes du complexe terminal :

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

❖ La première nappe des sables CT1 :

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-Pliocene. 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** (le débit globale d'exploitation proche à **6m³/s**) cependant, à cause de la salinité élevée de l'eau, les forages qui la captent sont actuellement moins utilisés.

❖ La deuxième nappe CT2 :

Les formations contenant cette nappe sont également d'âge Mio-Pliocene. 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 **25-45 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 de l'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.

❖ 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 de **350m ,200m** à Touggourt, **360 m** à Meghaier. Il n'est pas très exploité. L'artisanisme 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.

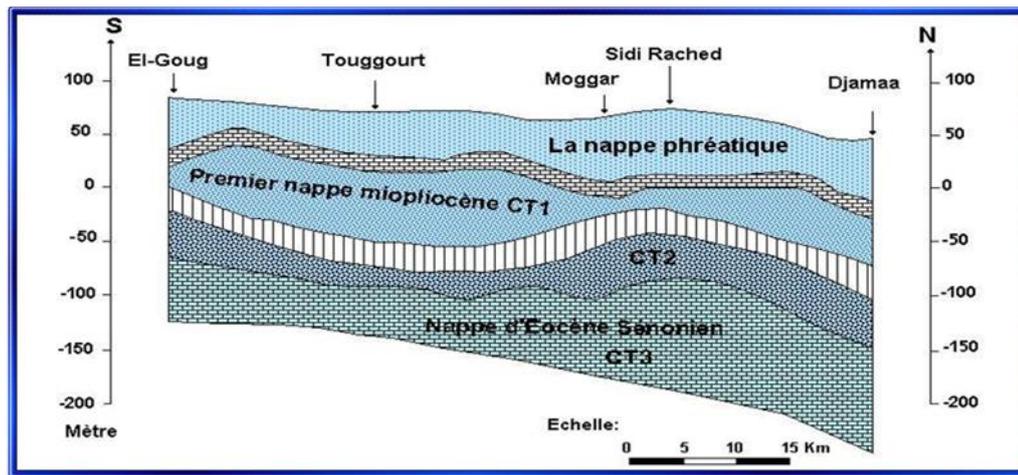


Figure N°30 : Coupe hydrogéologique du Complexe Terminal de la région d'Oued Righ

C/ La nappe phréatique :

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 μ s/cm à 13.44 μ s/cm**.

La nappe phréatique est « gonflée » par l'excès de l'eau d'irrigation et des pompages du **CI** et du **CT**. C'est pour drainer cet excès 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-1-8- Piézométrie :

Dans la présente étude, aborde précisément l'aspect hydrogéologique de la nappe complexe terminal, et la nappe continentale intercalaire de la région de l'Oued Righ.

Nous avons basés sur des données faites par l'équipe d'ANRH de TOUGOURT, des prises en 2003, en 2010 et en 2014.

Mais malheureusement rareté des données d'OUED RIGH SUD ou ces données sont pas pris régulièrement du côté temps; et du côté locale. Donc pour établir des cartes piézométriques,

nous avons basés sur une analyse statistique d'archive piézométrique d'ANRH d'une part, et d'autre part d'après des études de Master et Doctoral en même sujet.

Ou ces travaux sont basés sur le principe suivant:

- La détermination de la côte Z de chaque point à l'aide d'un GPS.
 - Mesure de niveau statique dans chaque puits, à l'aide d'une sonde sonore lumineuse.
 - La mesure de niveau piézométrique [NP= Z- NS]
- + NP : niveau piézométrique. NS : niveau statique. Z : cote, niveau naturel du sol.
- Détermination du gradient hydraulique est donnée par la formule $i = \frac{H_1 - H_2}{L}$

Les niveaux piézométrique H_1 et H_2 sont déterminés par les courbes iso-pièzes et la distance L entre ces deux points par l'échelle de la carte.

II-1-9- Evolution de la piézométrie:

L'analyse des cartes piézométriques permet de définir l'écoulement souterrain et de localiser les zones d'alimentation et de sorties des eaux de la nappe aquifère de complexe terminal et la nappe continentale intercalaire le gradient hydraulique qui est un paramètre important dans l'estimation des rapports latéraux.

L'établissement des cartes piézométriques, respectivement des années **2003**, **2010** et **2014**, s'est réalisé par interpolation triangulaire, en utilisant le logiciel Surfer 11 (Golden software, 2013).

Elles montrent que l'allure générale des courbes ne varie qu'assez peu d'une campagne à l'autre.

L'observation de la morphologie des cartes piézométriques des périodes (**2003**, **2010** et **2014**) permet de constater que l'écoulement souterrain se fait, en général, de Sud vers le Nord (**Figure 31, 32,33**).

La carte piézométrique **2003** montre que le sens d'écoulement se fait suivant une direction Sud - Nord. Au niveau de Magar le sens d'écoulement se fait suivant une direction Nord-ouest; Sud-est.

On considère que cette point de dépression est une communes de forte palmeraie et à faible altitude par rapport au d'autre commune signalée.

L'examen des cartes piézométriques correspond au période de **2010** et **2014**, ne révèle aucun changement que ce soit de la morphologie ou de l'allure des courbes piézométriques, traduisant ainsi le même régime d'écoulement.

Dans la plupart de la plaine, les courbes se trouvent espacées suite à un gradient hydraulique faible, et variée entre $1,7.10^{-3}$ et $2,0.10^{-3}$ (**Tableau 21**).

A l'extrémité Sud de Bledet Amor, Temacine, Toggourt et Nezla les courbes hydro-iso-hypses, sont moyennement serrées, et le gradient hydraulique est de l'ordre de $1,7.10^{-3}$ On note la présence d'une dépression de la surface piézométriques au niveau de la commune de Choucha ce qui est dû certainement à une exploitation intensive.

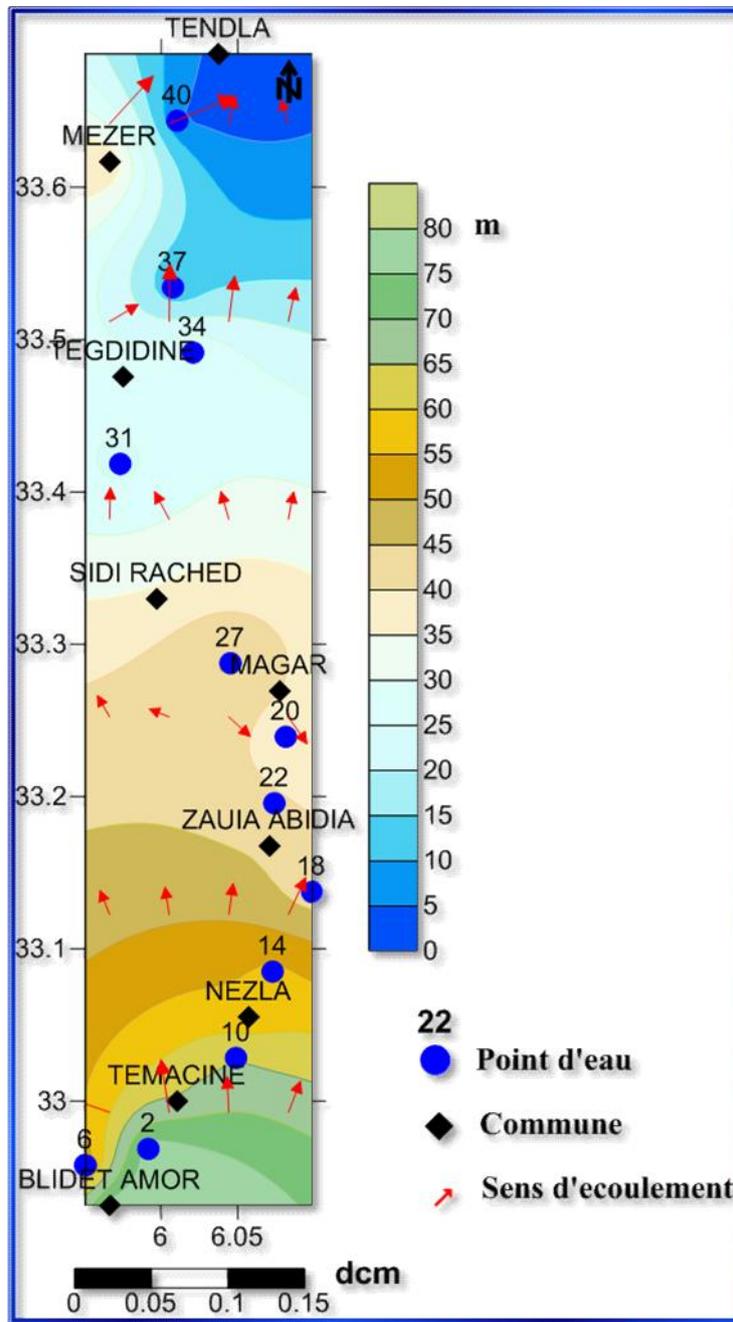


Figure N°31 : Carte piézométrique de la nappe CT 2003 (Oued Righ).

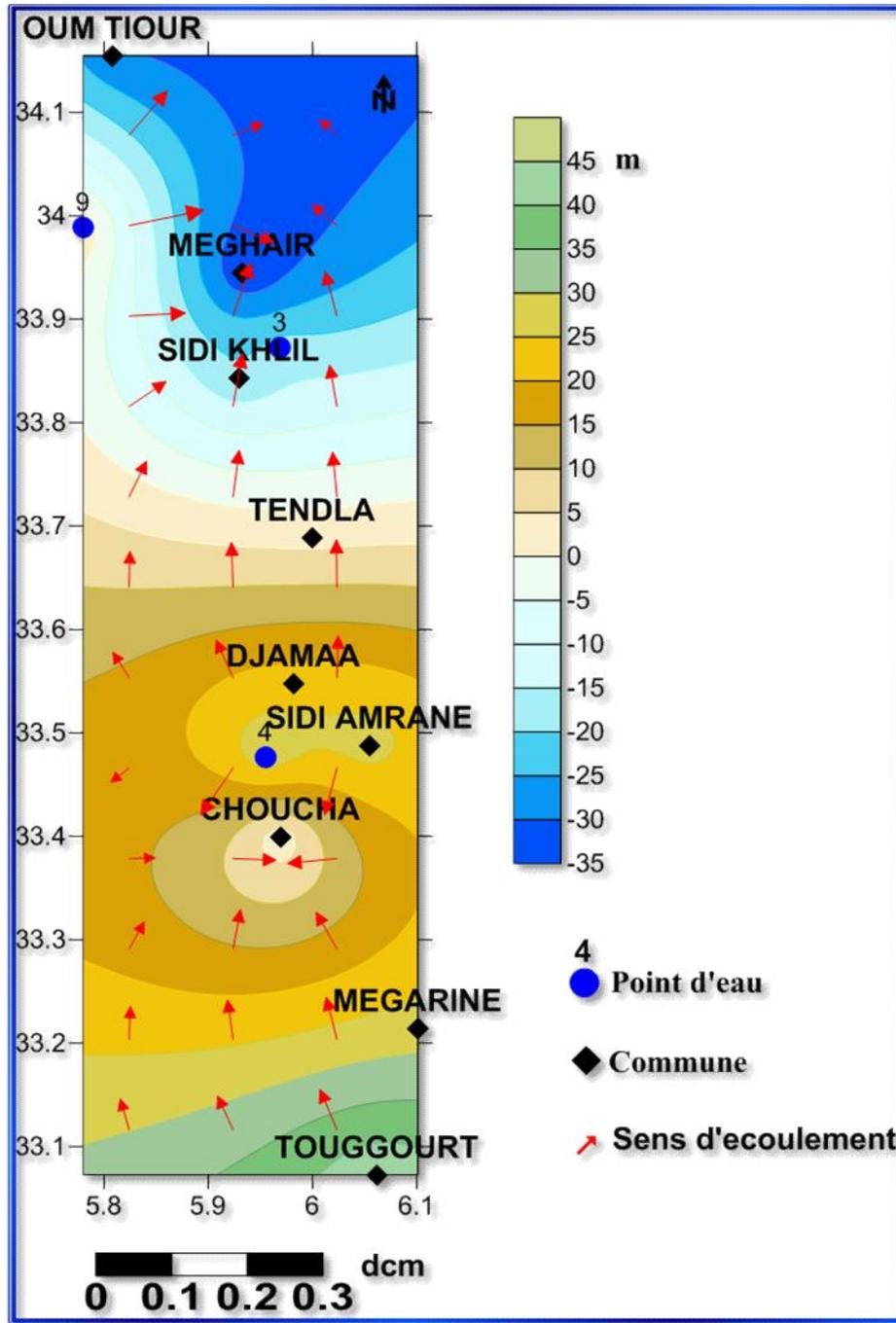


Figure N°32 : Carte piézométrique de la nappe CT 2010 (Oued Righ).

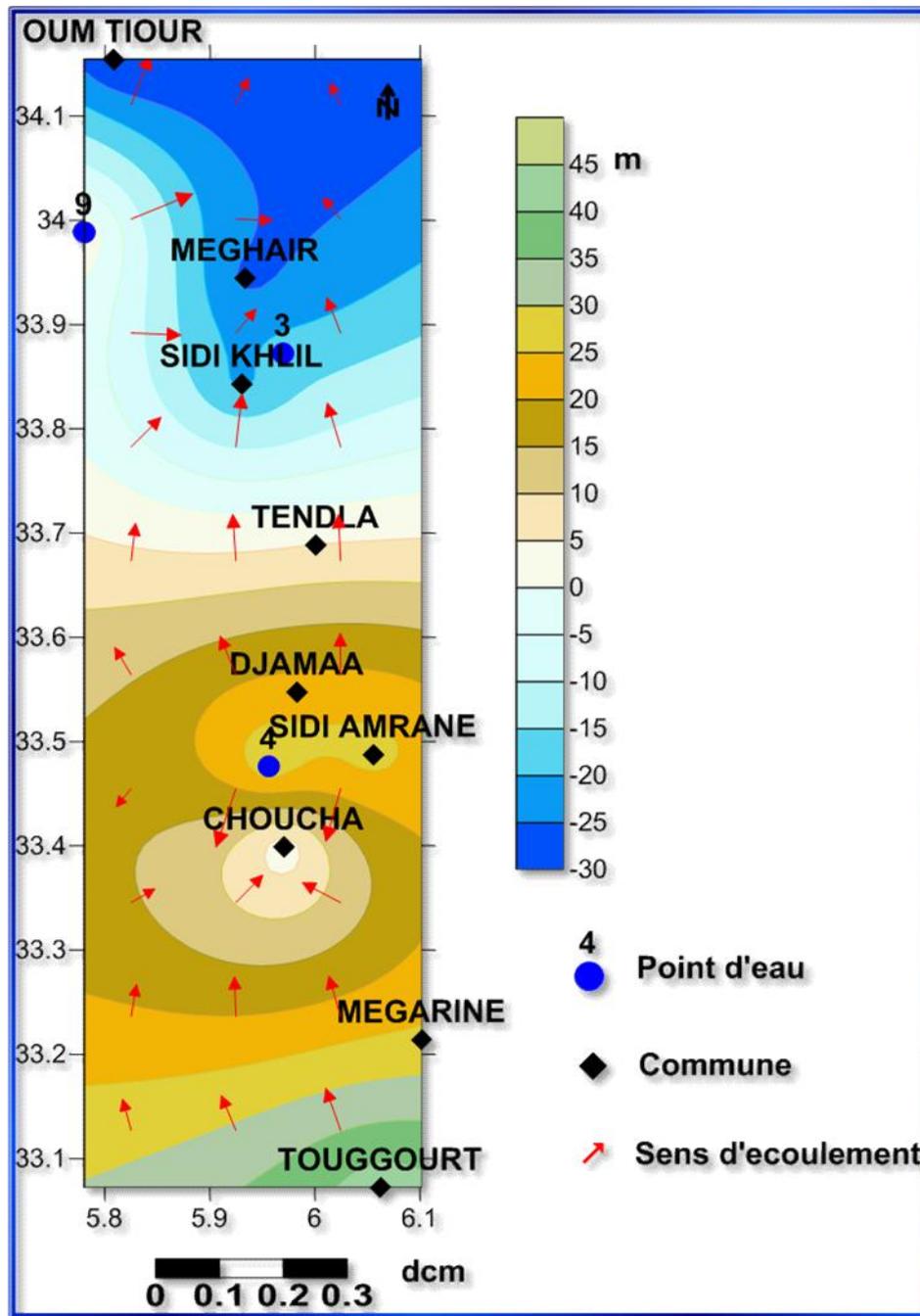


Figure N°33 : Carte piézométrique de la nappe CT 2014 (Oued Righ).

Tableau N°21: Valeur de gradient hydraulique.

Localité	Gradient hydraulique	Sens d'écoulement
Touggourt	$1,7 \times 10^{-3}$	Nord-Sud
Djamaa	$3,8 \times 10^{-3}$	Sud-Ouest vers Nord-Est
Sidi Khilil	$3,6 \times 10^{-3}$	Sud-Ouest vers Nord-Est
Berkajia	$2,1 \times 10^{-3}$	Ouest vers Est
Oum Thiour	$2,0 \times 10^{-3}$	Nord-Ouest vers Sud-Est
Boaj	$2,8 \times 10^{-3}$	Nord-ouest vers Sud-Est

II-1-12- Rabattement de la nappe:

La comparaison de la piézométrie entre les periods **2014**, **2010** et **2003** permis de dresser une carte de battement de la nappe. (**Figures 34 à 36**).

La carte de battement **2010- 2014** a montré que les fluctuations dans la majorité de surface de la nappe et peuvent atteindre **2 m**. Au Nord de la zone d'étude, celles-ci varient entre **0,1 et - 5 m** (**Figures 34**).

Au niveau de la région de Meghair on observe des remontées peuvent atteindre 8 m, cette région a une altitude inferieur de la mer d'une coté et d'autre c'est un exutoire.

La carte de battement pour **2003- 2010** a montré que les fluctuations les plus importantes se manifestes au centre et au sud de nappe et peuvent atteindre 8 m. Au Nord de la nappe et au celles-ci varient entre **0,5 m et 4 m** (**Figures 35**).

Au niveau de la commune de Megarine les fluctuations peuvent atteindre **12.5 m**, cette région présente la surexploitation d'aquifère cause des palmeraies.

On note que la carte de fluctuation **2003-2014** est projeté sur le milieu de la zone étudié cause de manque des données, qu'on peut dire que l'aquifère est rabatte dans cette dizaines d'années au maximum **28 m** dans la zone de Touggourt. Par contre on remarque une remonté à Tendla à cause de la faible altitude (**16 m**) (**Figures 36**).

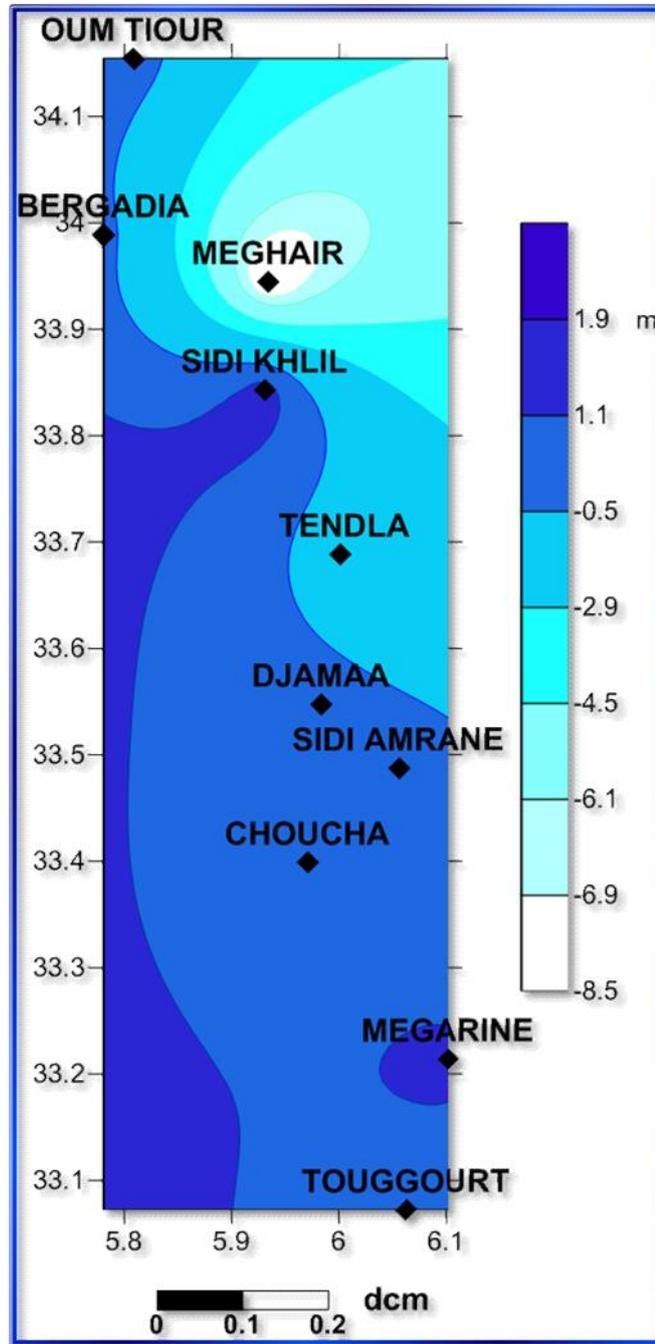


Figure N°34 : Carte de fluctuation 2010 - 2014 (Oued Righ).

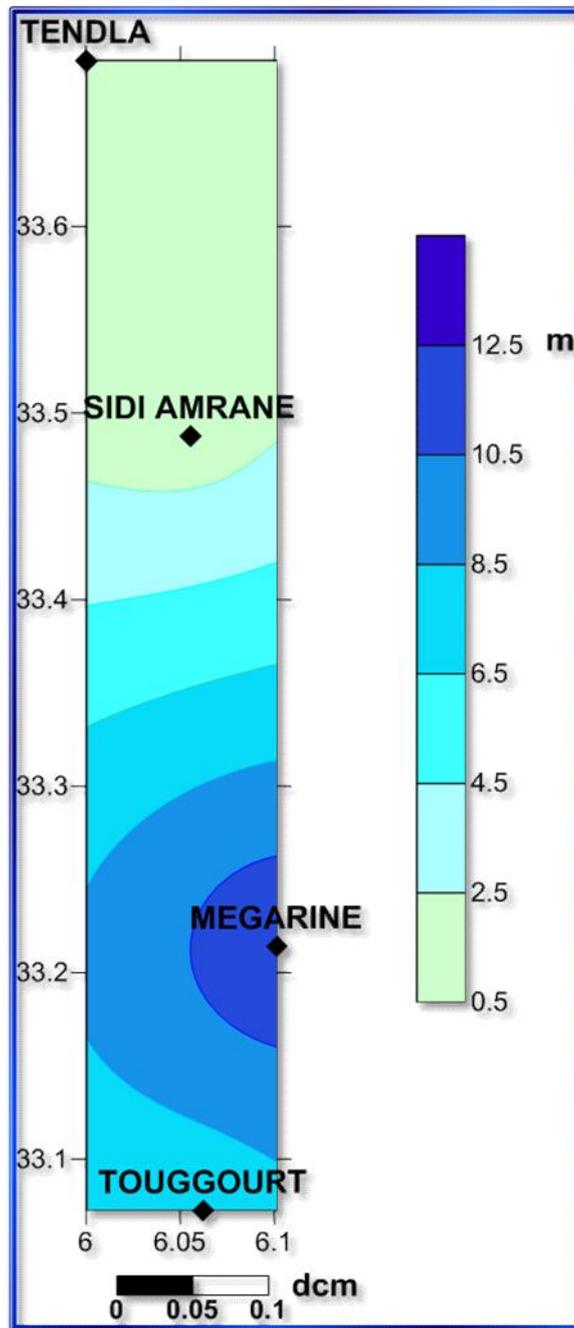


Figure N°35 : Carte de fluctuation 2003–2010 (Oued Righ).

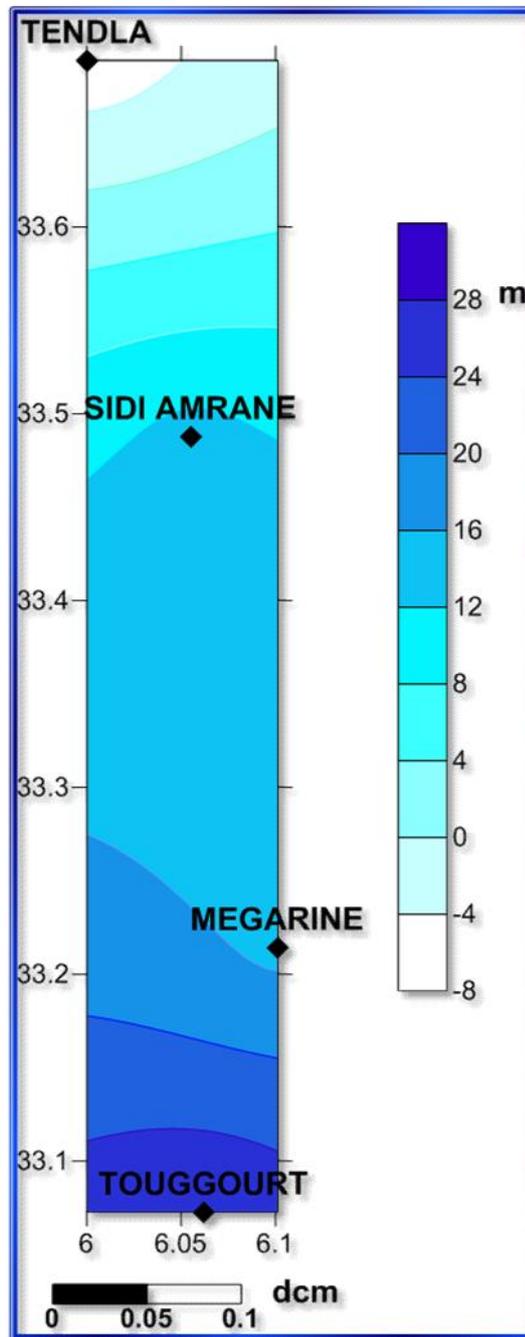


Figure N°36 : Carte de fluctuation 2003 - 2014 (Oued Righ).

II-1-13-Étude de la variation du niveau statique en fonction des temps:

Les mesures piézométriques effectuées pendant les années **2010** et **2014** montrent que la profondeur de la surface piézométrique par rapport au sol est très variable dans l'espace et dans le temps. Elle varie entre **25** et **40 m** se trouve au niveau des points d'eau **11, 10, 9, 2, 1 et 8** qui sont localisés à Touggourt, Megarine et Djamaa, et au niveau des points d'eau **12, 7, 4, 5 et 6** qui sont situés au Nord de la l'aquifère (Sidi Khelil, Meghair) (les plus faibles ont été enregistrés au voisinage de chott Marouana (**Figure 37**).

- Au niveau des trois points **2, 8 et 10** on remarque un rabattement de **1.3 m** et **0.2 m** est dus par la surexploitation de la nappe.

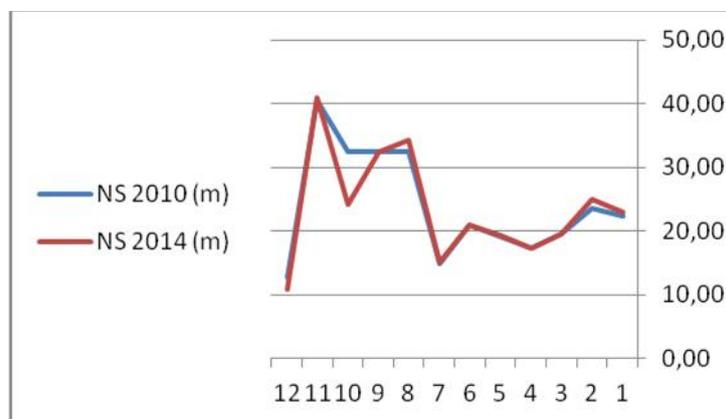


Figure N°37 : Diagramme de variation de niveau statique entre 2010 - 2014 (Oued Righ).

II-2-HYDRODYNAMIQUE:

II-2-1- Introduction :

Cette étude est basée sur la définition des particularités hydrodynamiques.

Un essai est une opération couramment réalisée dans les études hydrogéologiques, il est nécessaire de rassembler toutes les informations hydrogéologiques disponibles, pour bien adapter le programme d'essai, qui sont :

- Type du système aquifère.
- Nature des terrains aquifères.
- Mesure sur terrain des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère :
 - transmissivité-coefficient d'emmagasinement -perméabilité.....
- Observation directe de l'effet de l'exploitation sur l'aquifère (l'évolution des rabattements en fonction du temps).

II-2-2- Déterminations des caractéristiques hydrodynamiques :

La détermination des caractéristiques hydrodynamiques d'un système aquifère peut être examinée de deux points de vue :

- Le premier ce qu'on appelle « **essai de nappe** » ou « **aquifère test** », nécessite la détermination de :
 - La perméabilité.
 - La transmissivité.
 - Le coefficient d'emmagasinement.
 - L'effet des limites.

Ces paramètres permettent d'évaluer la géométrie et les caractéristiques hydrodynamiques des systèmes aquifères.

- Le second est appelé « **essai de puits** » ou « **Well test** ».
Les essais de puits sont exécutés à débit constant avec mesure de rabattement croissant, ou palier de débit.

II-2-3- Méthode d'interprétation :

On va interpréter deux essais fait en 2013 le long de la vallée :

- L'un au Nord au niveau du Meghair qui étudié les paramètres hydrodynamiques des puits de au Nord.
- L'autre présente les paramètres hydrodynamiques des puits au Sud de la vallée réalisé à Touggourt.

Pour la présentation graphique des données, et pour les interpréter, l'étude est basé sur un logiciel de cartographe automatique « **Aquatest** », et sur l'interprétation de deux méthodes celle du **C.E.Jacoob**

Les conditions de base d'application de cette expression :

- Validité de la loi du darcy : écoulement laminaire et milieu homogène et isotrope.
- Puits complet, c -à- d captant toute l'épaisseur de l'aquifère, atteignant le substratum et crépiné sur toute sa hauteur.
- Puits correctement développé et équipé.
- Surface piézométrique subhorizontale.
- Débit de pompage constant.
- Rayon de puits le plus petit possible.

II-2-4- Interprétation des courbes :

L'objectif de l'interprétation des essais de pompage est d'évaluer les caractéristiques hydrodynamiques de notre aquifère, la transmissivité, le coefficient d'emmagasinement ainsi, que la perméabilité.

1\Essaie du Meghaier :

X : 5° 56' 56" E. Profondeur : 60 m

Y : 34° 0' 3" N. Rabattement maximal : 4,65m

Z : 2 m Niveau dynamique maximal : 9,65m

Niveau statique : **5 m.**

Epaisseur: **50m**

L'essai a été réalisé dans l'aquifère à nappe captive dans les sables gréseux de la avec intercalation d'argiles et des traces des grès.

La durée du pompage est de **68400 s** et débit constant **5 l/s**

Les données de pompages, le rabattement en mètre et le temps en seconde sont reportées sur un diagramme semi logarithmique. Ces données permettent de tracer une droite représentative de l'essai.

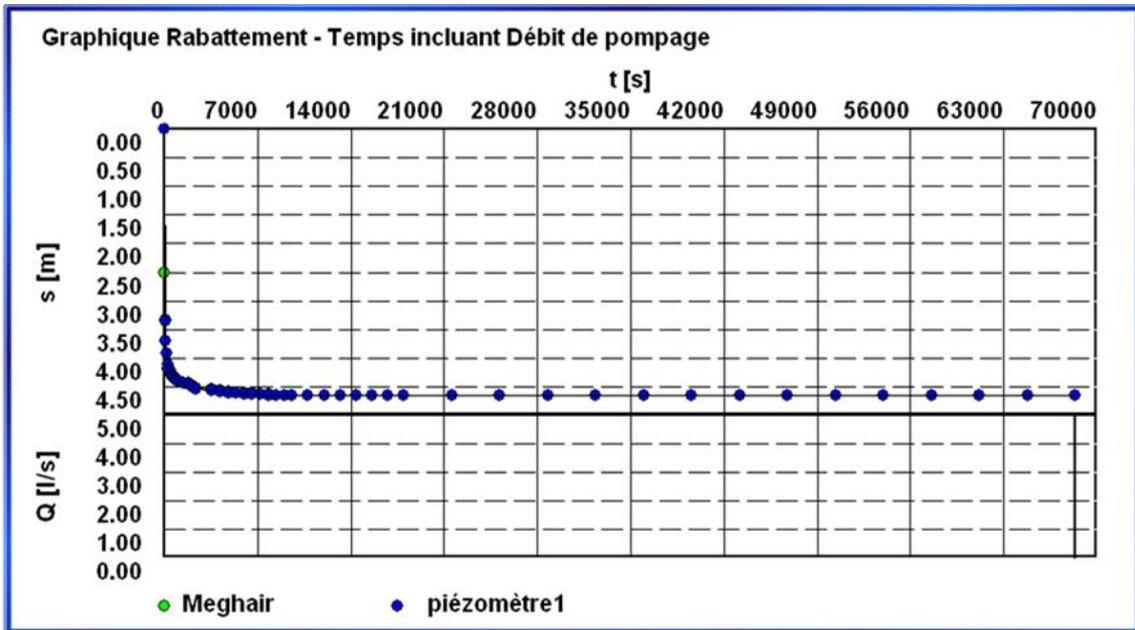


Figure N°38: Graphique de rabattement d'un puit de Meghair (Oued Righ Nord).

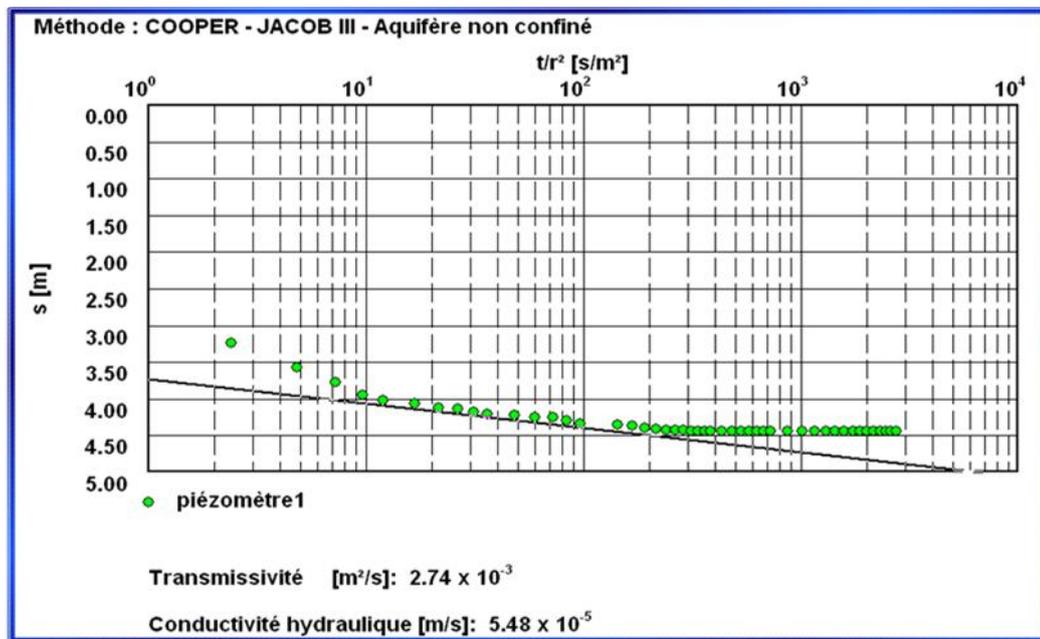


Figure N°39: Courbe de descente d'un puits de Meghair (Oued Righ Nord).

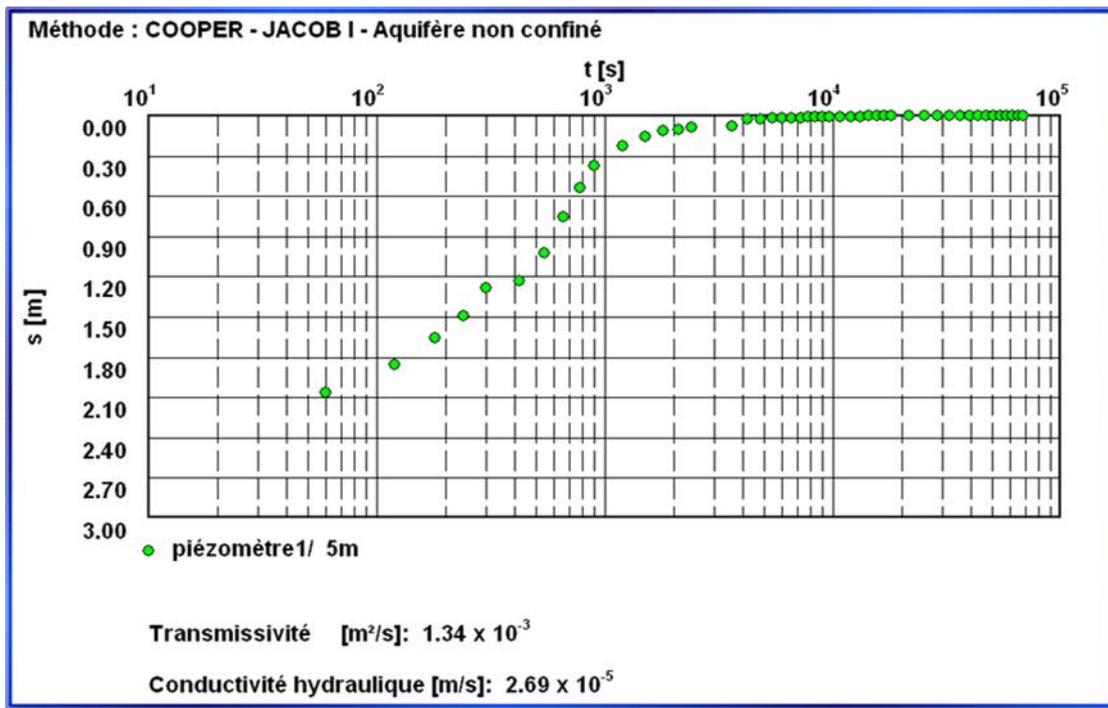


Figure N°40: Résultat de méthode COOPER - JACOB d'un puits de Meghair (Oued Righ Nord).

D’après la formule de **C.E.Jacob** appliquée par le logiciel « **Aquatest** », l’interprétation nous donne les valeurs suivantes :

Courbe de descente:

$$T = 2,74 \times 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{s}$$

$$K = 5,48 \times 10^{-5} \text{ m} / \text{s}$$

Courbe de remontée :

$$T = 1,34 \times 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{s}$$

$$K = 2,69 \times 10^{-5} \text{ m} / \text{s}$$

Donc d’après la formule de **C.E.Jacob**, l’essai de puits du Meghaier est caractérisé par :

T moyenne de l’ordre de $2,04 \times 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{s}$

K moyenne = $4,08 \times 10^{-5} \text{ m} / \text{s}$

2) Essai de Nezla :

X : 6° 04' 31" E. Profondeur : 18m

Y : 33° 04' 08". Rabattement maximal : 1 m.

Niveau dynamique maximal : 3,1 m. Niveau statique : 2,1 m.

Le sondage capte l'aquifère à nappe captive, avec une épaisseur de 30 m de sables fins à moyen avec intercalation de calcaire et de gypses.

L'essai a été réalisé à débit constant 15 l/s.

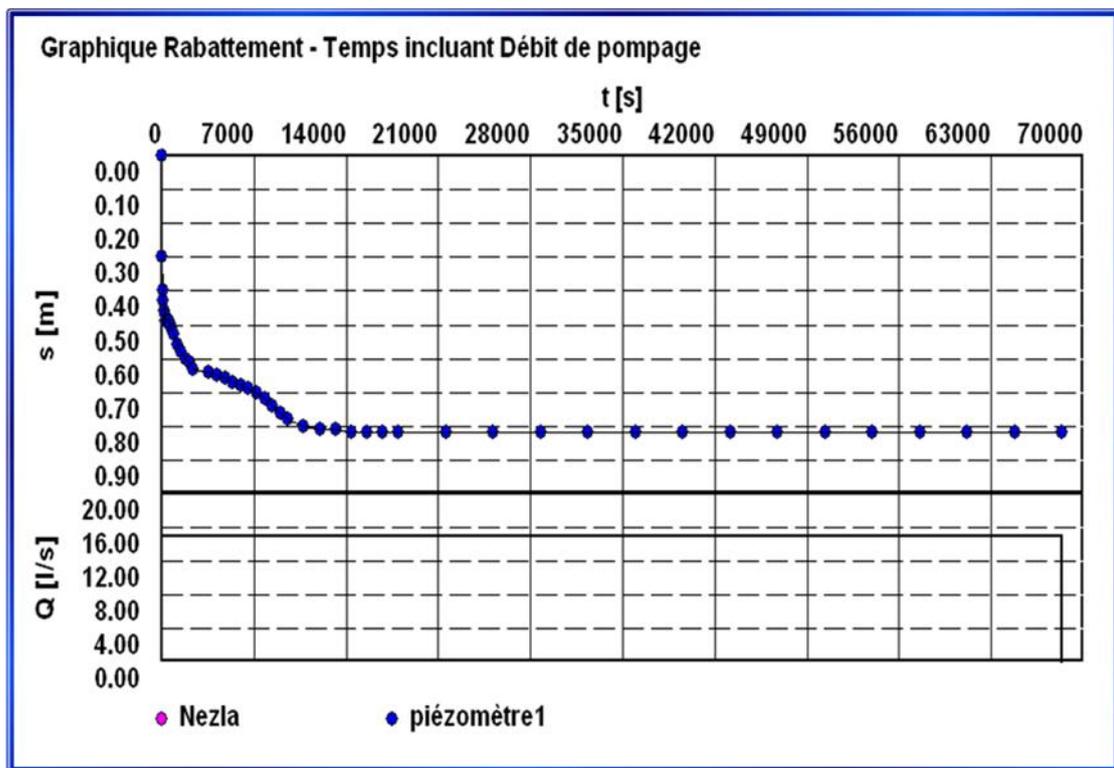


Figure N°41: Graphique de rabattement d'un puits de Nezla (Oued RighSud).

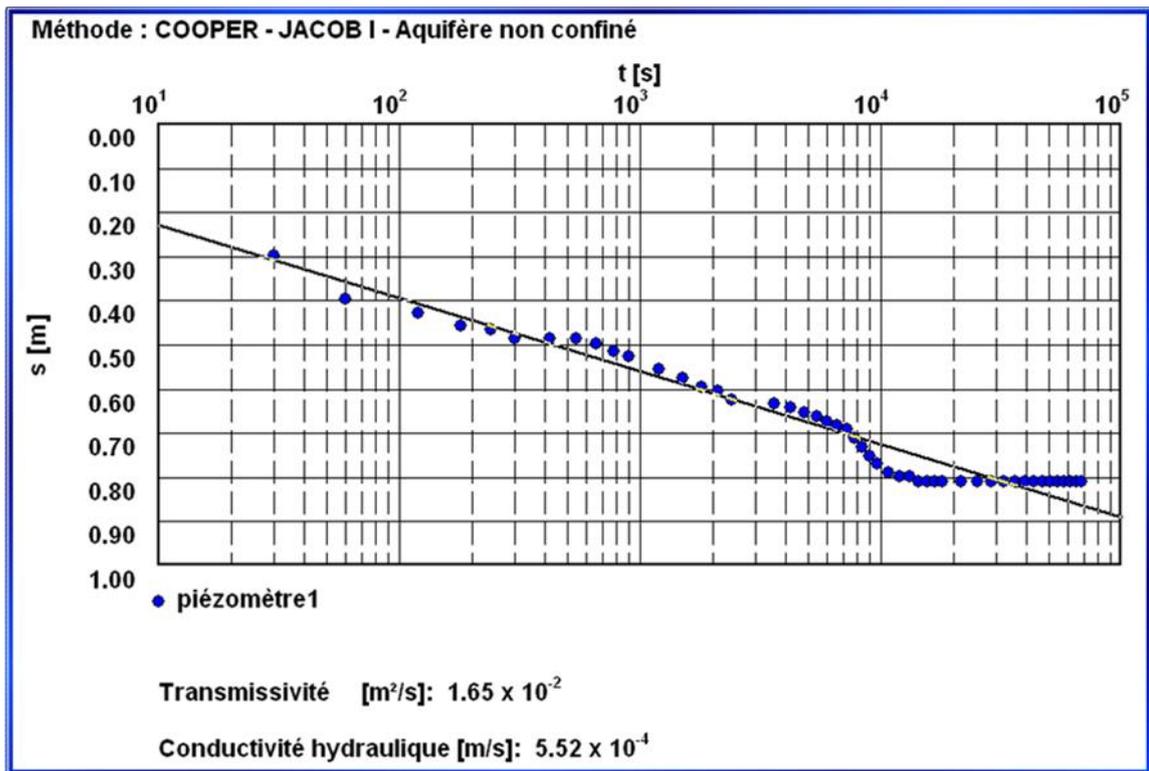


Figure N°42: Courbe de descente d'un puits de Nezla (Oued Righ Sud).

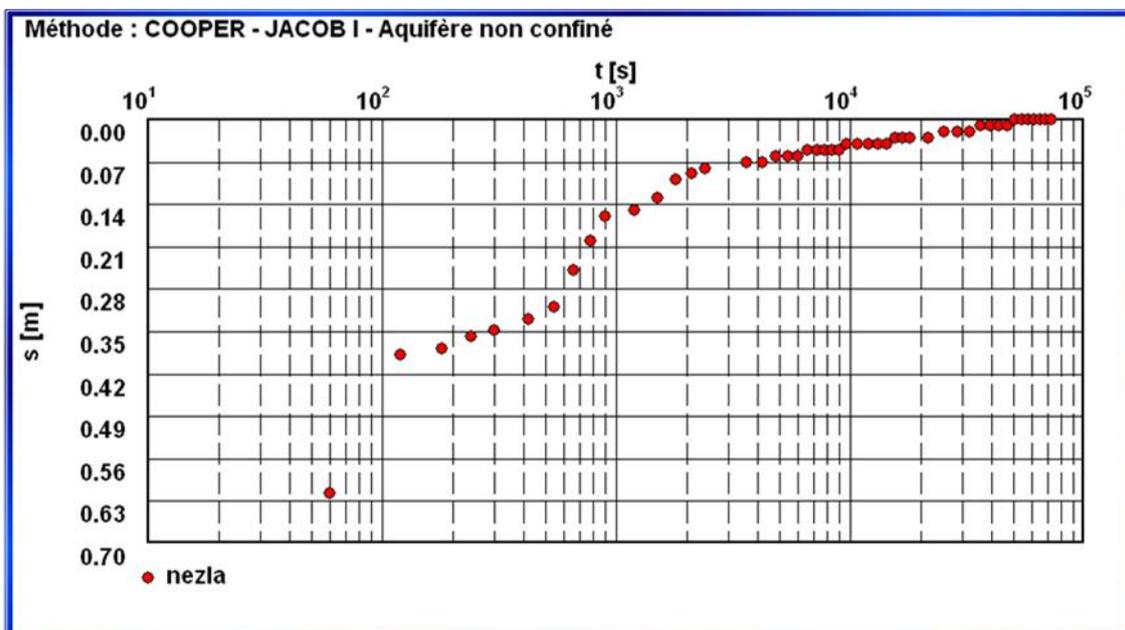


Figure N°43: Résultat de méthode COOPER - JACOB d'un puits de Nezla (Oued Righ Sud).

D'après la formule de **C.E.Jacob** appliquée par le logiciel « **Aquatest** », l'interprétation nous donne les valeurs suivantes :

Courbe de descente:

$$T = 1,65 \times 10^{-2} m^2 / s$$

$$K = 5,52 \times 10^{-4} m / s$$

Courbe de remontée :

$$T = 0,99 \times 10^{-2} m^2 / s$$

$$K = 3,31 \times 10^{-4} m / s$$

D'après les résultats, on trouve également que les valeurs de transmissivité et celles de perméabilité sont importantes au niveau des deux puits, et cela est montré dans le tableau suivant :

Tableau N°22: Les valeurs de transmissivité et perméabilité

puits	K (m/s)	T (m²/s)
Meghaier	4,08 .10⁻⁵	2,04 .10⁻³
Touggourt	4,41 .10⁻⁴	1,32 .10⁻²

D'après les résultats, on conclut que les valeurs de transmissivité et de perméabilité sont moins importantes au Nord par rapport au Sud de vallée.

II-3-CONCLUSION :

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

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

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

L'écoulement général des eaux souterraines se fait vers le nord, conformément à la topographie de la région. Le gradient hydraulique de l'ordre de **1.7‰**.

Le CT présente un rabattement en fonction de temps atteint les **28 m** en **10 ans** ou les surfaces piézométriques présentent des cônes de dépressions quelques fois importants, notamment dans les zones de surexploitation de Choucha, Magar, et Tendla dans la partie médiane.

D'une manière générale, l'interprétation des essais du puits à débit constant en régime transitoire nous a permis d'estimer que les valeurs obtenues sont considérables, de ce fait on peut dire que notre nappe est exploitable du point de vue hydrodynamique.

III-1-Introduction :

L'eau, au contact des roches, se charge en divers éléments, ces derniers vont influencer sa composition chimique. Par ailleurs certains de ces éléments sont présents naturellement dans le sol, d'autres doivent leurs présences aux écoulements qui les ramènent d'autres régions.

L'étude de la chimie des eaux, vient en complément à toute étude hydrogéologique, elle permet d'expliquer les mécanismes qui régissent la qualité des eaux. Elle apporte de nombreuses informations sur les échanges qui s'effectuent entre l'aquifère et son environnement c'est-à-dire sur la nature de l'encaissant, sur les zones d'alimentation et de circulation... .

La chimie des eaux est très importante pour la région d'étude, eu égard au contexte particulièrement difficile où interfère l'agriculture grosse consommatrice d'eau et un climat aride caractérisé par une faible précipitation.

Le présent chapitre traite du chimisme des eaux souterraines, et nous permettra d'essayer tentons d'expliquer le comportement, l'origine et l'évolution des éléments chimiques décrits pour expliquer le fonctionnement hydraulique du système aquifère.

III-2-Analyses physico-chimiques:

Pour réaliser notre travail, nous disposons des analyses chimiques réalisées en **2003** et **2014**. La première étape a été consacrée à la détermination des caractéristiques des eaux, cette dernière a été faite à partir des résultats des échantillons prélevés et analysés au laboratoire de chimie des eaux de l'ADE Touggourt (Les eaux de ces forages sont destinées à l'AEP et l'irrigation).

III -2-1-Cartographie des paramètres physiques:**1-La Température:**

La température joue un rôle important dans la mobilité des sels et des gaz, donc sur la conductivité électrique. Elle permet d'avoir une idée sur la profondeur de circulation des eaux. L'augmentation de la température est fonction de la profondeur (**1°C pour 35 m**).

La température moyenne des eaux de la nappe Complexe Terminal est de l'ordre de **24.89 °C**, et celle de l'air est de **28.04 °C**. On constate que la température de l'eau pratiquement plus froide que l'air, Ce qui montre qu'il y a aucune interaction entre la nappe et l'air.

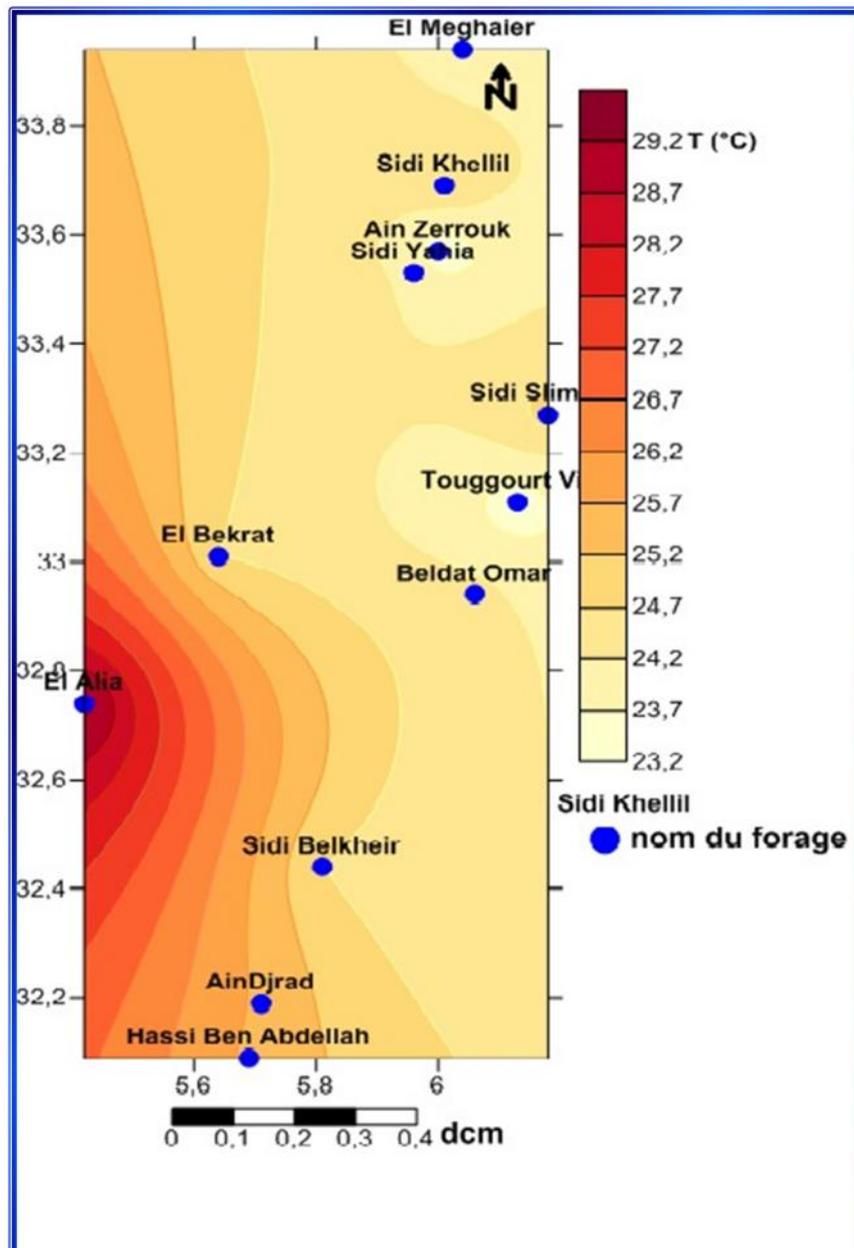


Figure N°44: Carte de température pour l'année 2014

2-Le pH :

Le pH est une mesure de la concentration en proton en solution. Les valeurs de pH sont très proches, entre 7 et 7,5 mais dans la plupart des points d'eaux de la nappe Complexe Terminal les eaux sont légèrement acidifiées.

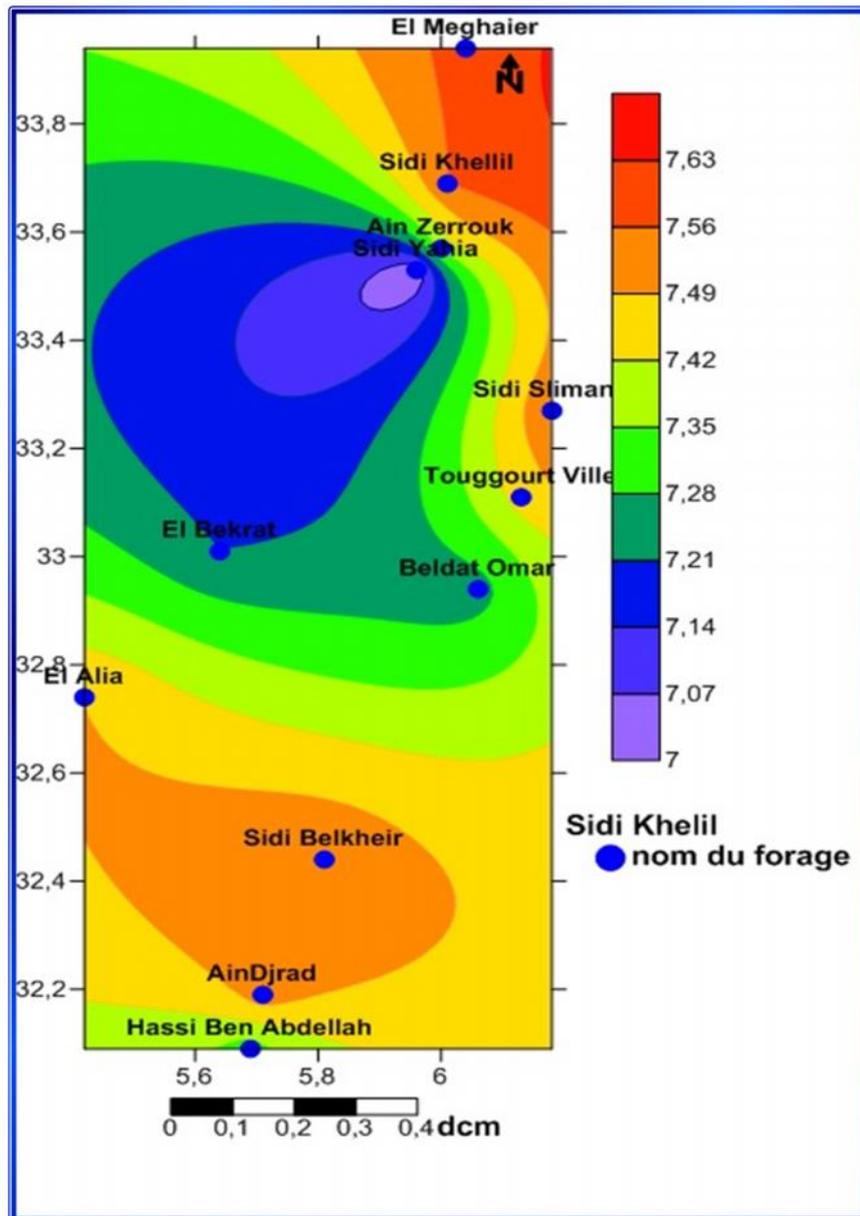


Figure N°45: Carte de pH pour l'année 2014

3-La conductivité électrique :

Les valeurs de la conductivité électrique des eaux souterraines de la zone d'étude ont été mesurées sur terrain et sont exprimées en $\mu\text{S}/\text{cm}$. 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 de leur concentration.

Pour la nappe du Complexe Terminal de la région d'étude, les valeurs de la conductivité varient entre $4000 \mu\text{S}/\text{cm}$ et $9500 \mu\text{S}/\text{cm}$. Elles sont importantes au centre de l'aquifère mais diminuent au nord et au sud de l'aquifère.

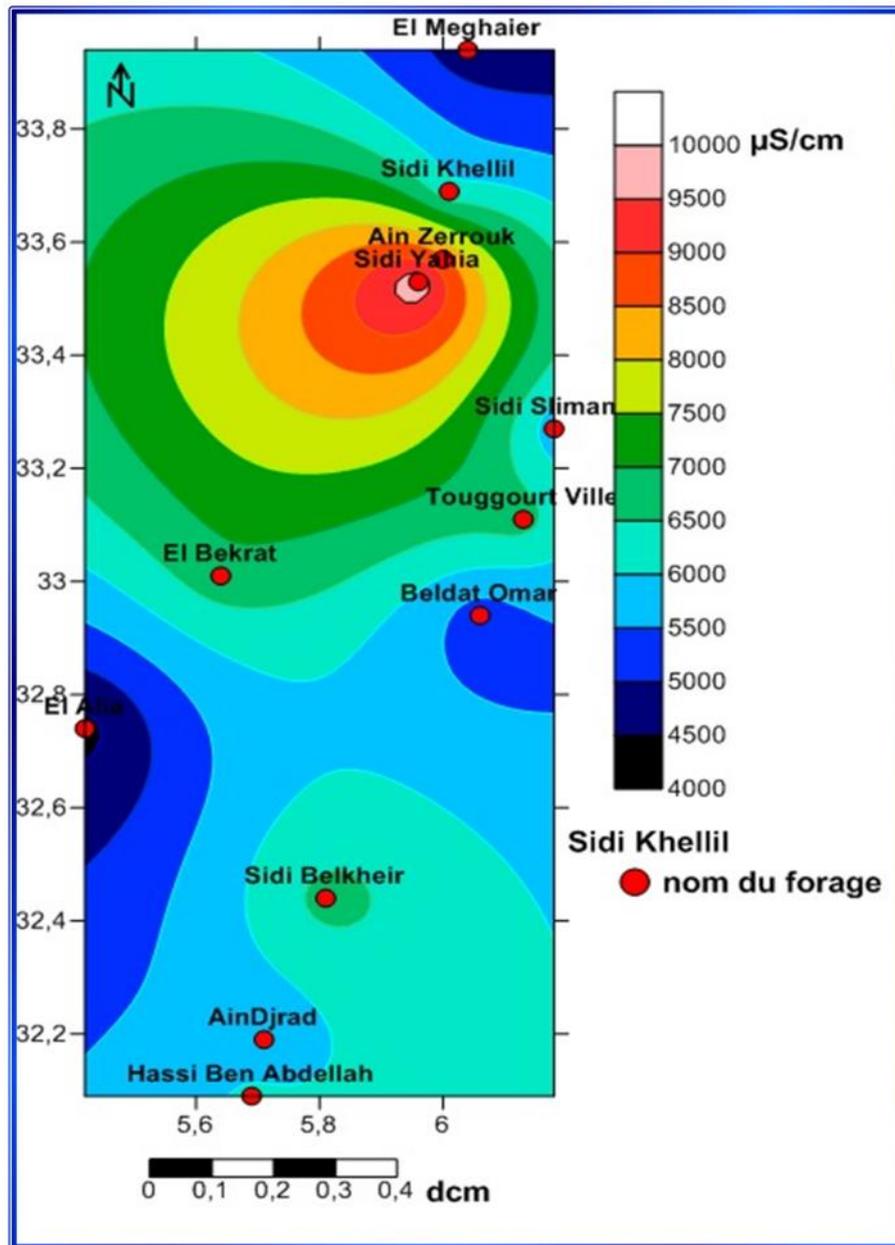


Figure N°46: Carte de Conductivité électrique pour l'année 2014

4-Facies chimique :

Les faciès hydrochimiques, d'après **Jaekli (1970)**, sont fréquemment utilisés en hydrogéologie pour décrire grossièrement la composition des eaux naturelles. On les détermine par le calcul des quantités en réaction (conversion des concentrations en méq/l), et en tenant compte de la classification des ions (formule ionique).

5-Diagramme de piper :

Ce type de diagramme permet de représenter plusieurs échantillons d'eau simultanément. Il est composé de deux triangles, permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique, et d'un losange synthétisant le faciès global.

Sur toute la période d'observation, on a remarqué que la répartition des différents faciès dépendait de la lithologie et de l'hydrodynamisme de la nappe aquifère:

Le faciès sulfatés magnésienne calciques et le faciès chloruré sodique sont important et se répand à l'intérieur de la nappe. Ils s'expliquent par la présence des formations des marnes gypsifères.

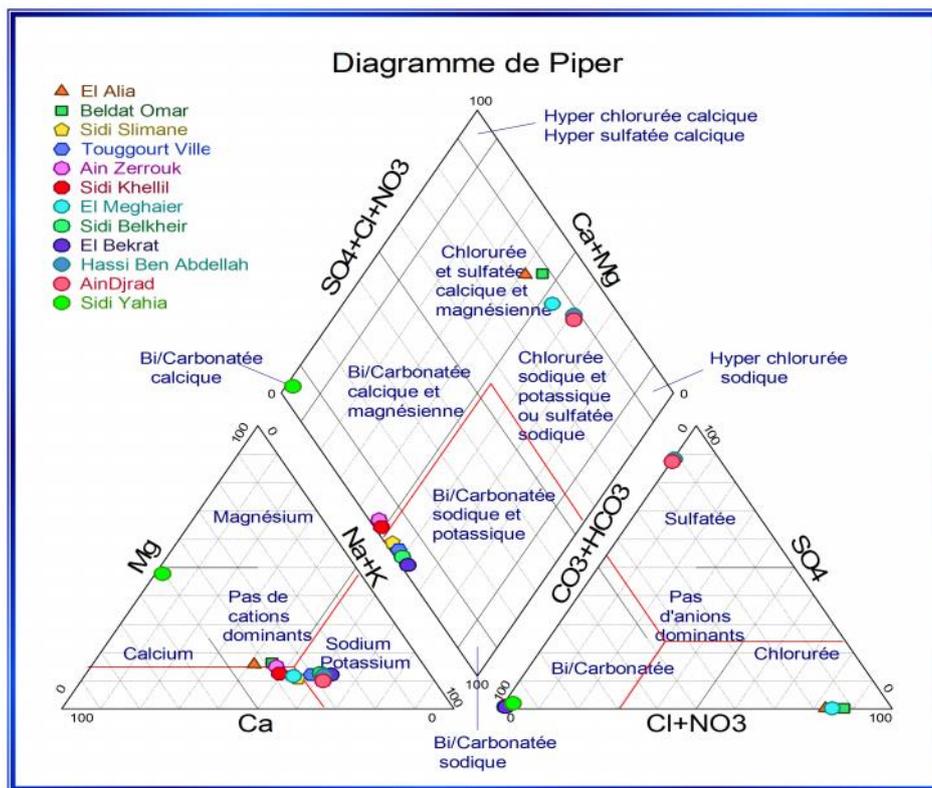


Figure .N°47 : Le diagramme de Piper la nappe de complexe terminal de l'année 2003.

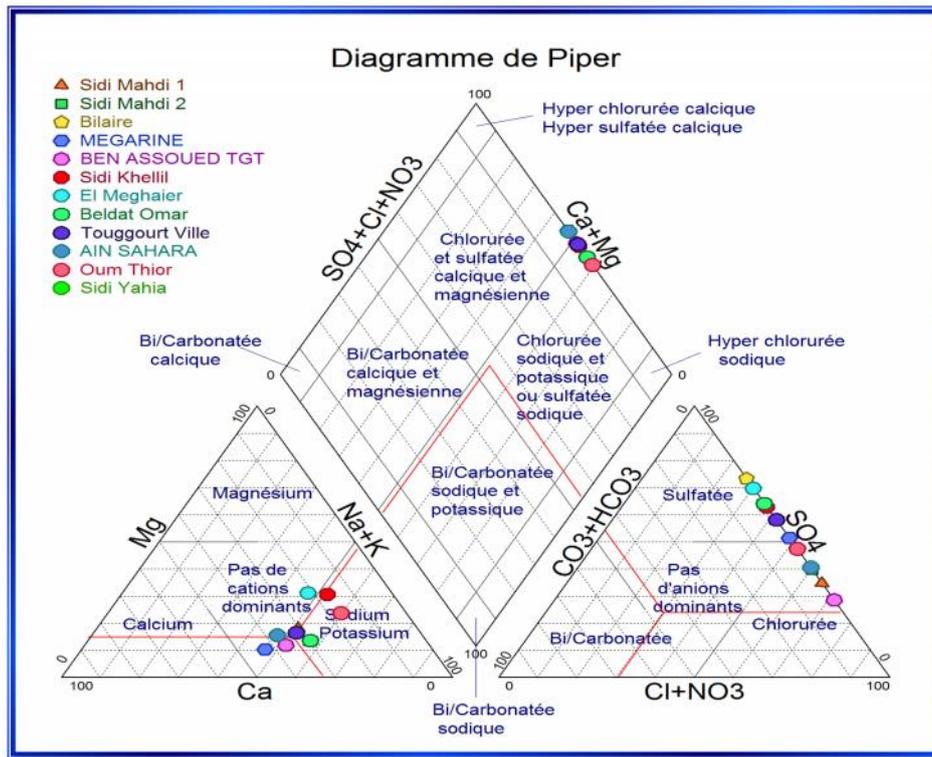


Figure N° 48: Le diagramme de Piper la nappe de complexe terminal de l'année 2014.

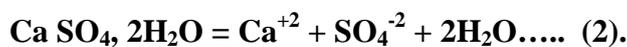
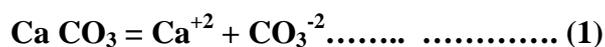
III-2-3-Cartographie des paramètres chimiques :

Dans notre présente étude, on va cartographier les éléments chimiques dominants caractérisant les faciès chimiques qui présentent une influence sur la qualité des eaux et qui montrent une évolution significative durant toute la période d'observation. La campagne de 2014 a montré des teneurs maximales en sels dissous, c'est pourquoi nous les avons prises comme exemple pour illustrer la variation spatiale des éléments chimiques.

La cartographie hydrochimique a été illustrée par interpolation triangulaire, en utilisant le logiciel Surfer 11 (Golden software, 2013).

1-Le calcium:

La présence des ions Ca^{+2} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles soit à la dissolution des formations carbonatées ($Ca CO_3$), soit la dissolution des formations gypseuses ($Ca SO_4$).



Ils n'existent pas de limites pour la teneur en calcium, mais une eau dure présente de nombreux inconvénients. L'O.M.S donne des limites pour le Ca^{++} de **100 à 200 mg/l**.

Les résultats de mesure obtenus au laboratoire montrent que tous les points d'eau de la plaine (eaux de la nappe du complexe terminal) présentent des concentrations supérieures à **100 mg/l**, elles varient de **190 et 521 mg/l** au niveau de la commune de Beni Yassouad.

Ce constat, nous permet de dire que les eaux de la nappe ne sont pas dans les limites de potabilité sont impropres à la consommation. L'ion Ca^{++} , peut provenir soit de la dissolution des formations carbonatées (1) et la dissolution des formations gypseuses(2).

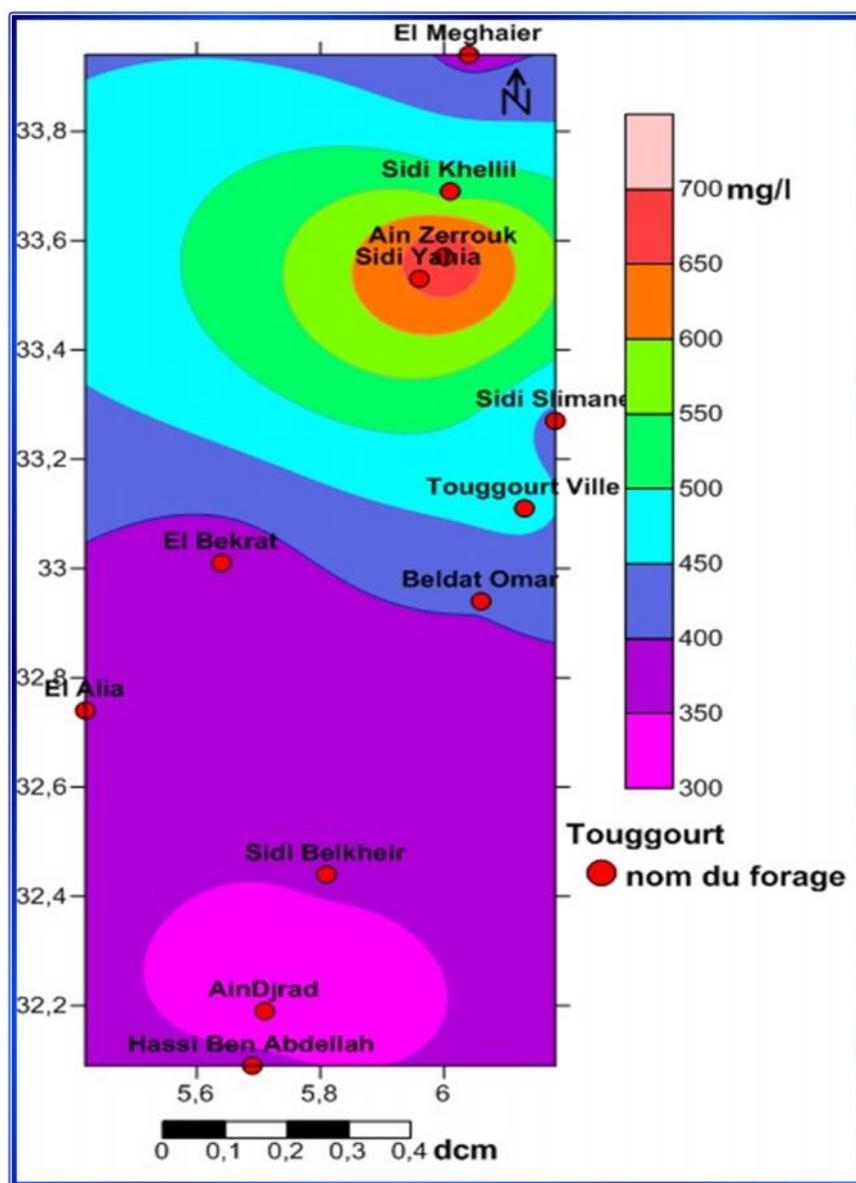
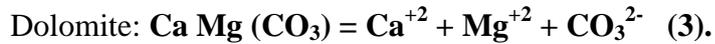


Figure N°49: Carte de calcium pour l'année 2014

2- Le magnésium :

Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite).



Les teneurs en magnésium sont comprises entre **68.04 à 365 mg/l** pour **2014**.

L'évolution des teneurs est identique à celle du calcium, la comparaison des concentrations avec les normes de potabilité montre qu'une grande partie des points d'eau possède des teneurs supérieures à la norme de potabilité (**50 mg/l**).

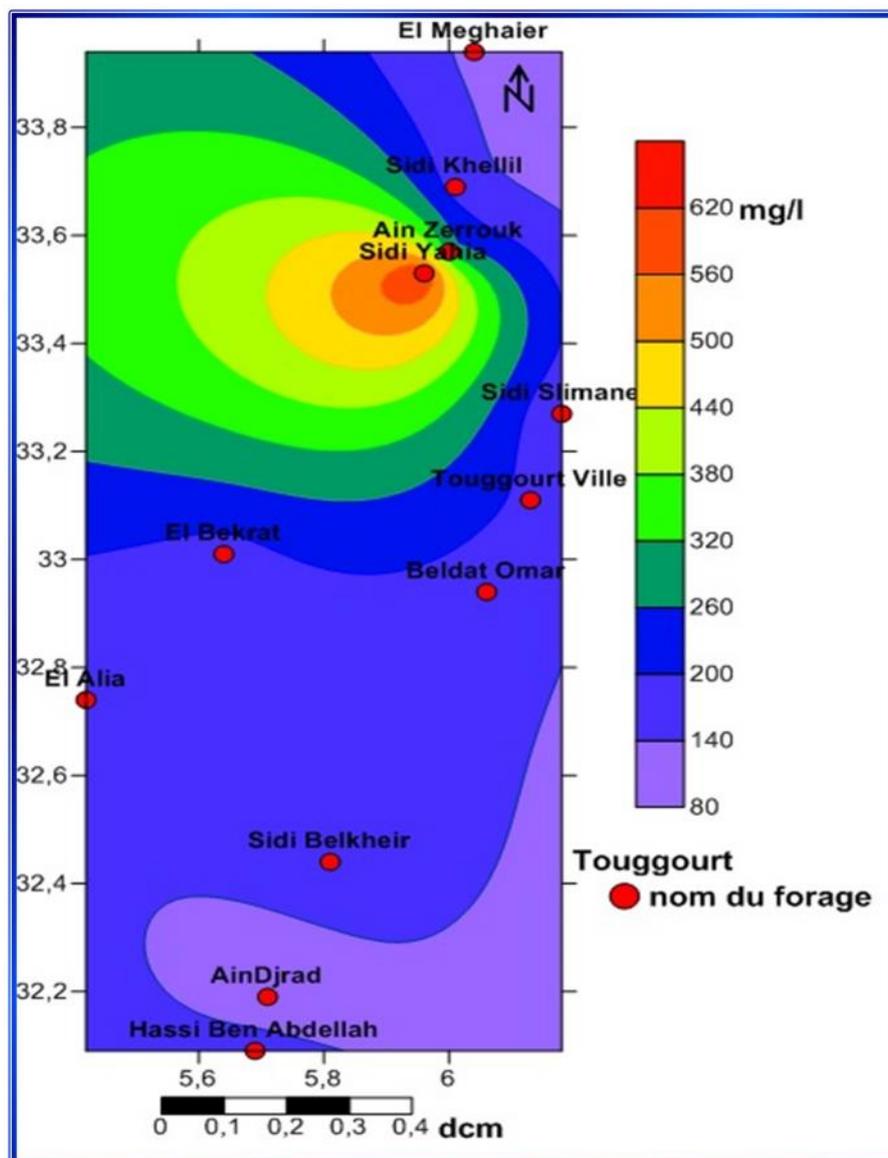


Figure N°50: Carte de magnésium pour l'année 2014

3-Le sodium et chlore:

L'origine de ces éléments est liée principalement à la dissolution des minéraux salifères.



Les teneurs du sodium sont comprises entre **150 à 900 mg/l**. Ces derniers augmentent suivant le sens d'écoulement de l'aquifère, suivant une direction Sud-Nord.

L'observation des cartes de chlorures montre que les teneurs varient entre **560 et 1725 mg/l**. Ces dernières sont importantes au niveau de la commune de Beni Yessoud, ce sont dépassés la norme de l'OMS.

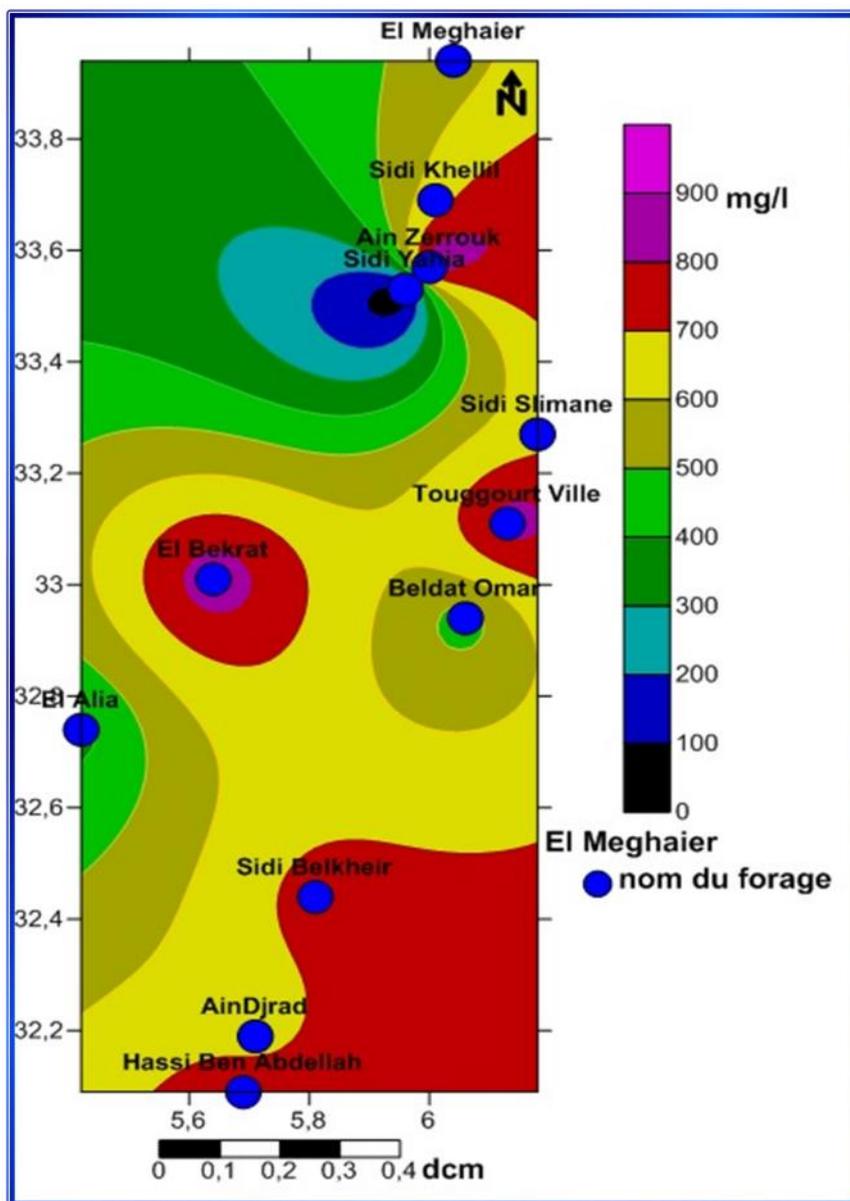


Figure N°51: Carte de sodium pour l'année 2014

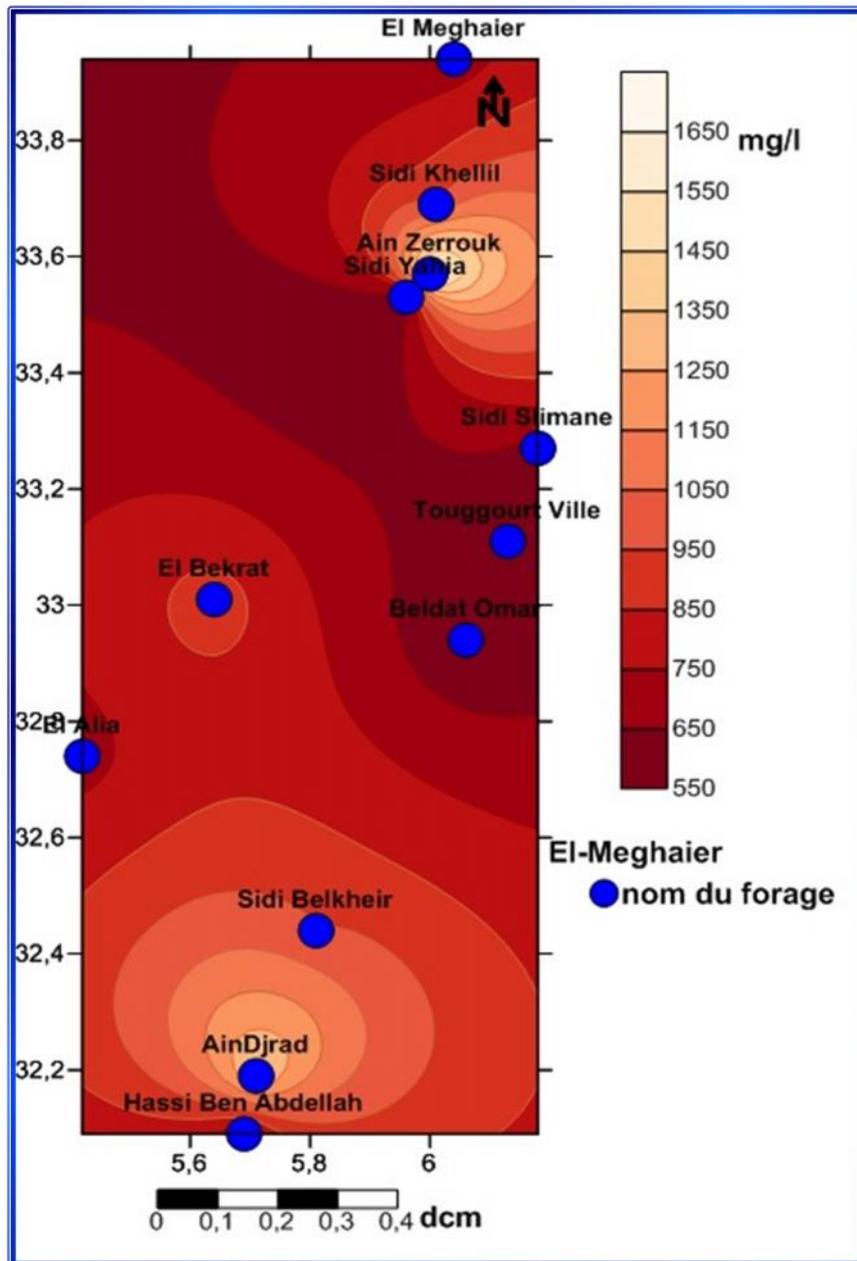


Figure N°52: Carte de chlorure pour l'année 2014

4-Le potassium:

La carte montre que les concentrations en potassium sont comprises entre 10 et 48 mg/l, on signale que les faibles valeurs se localisent au Sud - ouest de l'aquifère (EL ALIA).

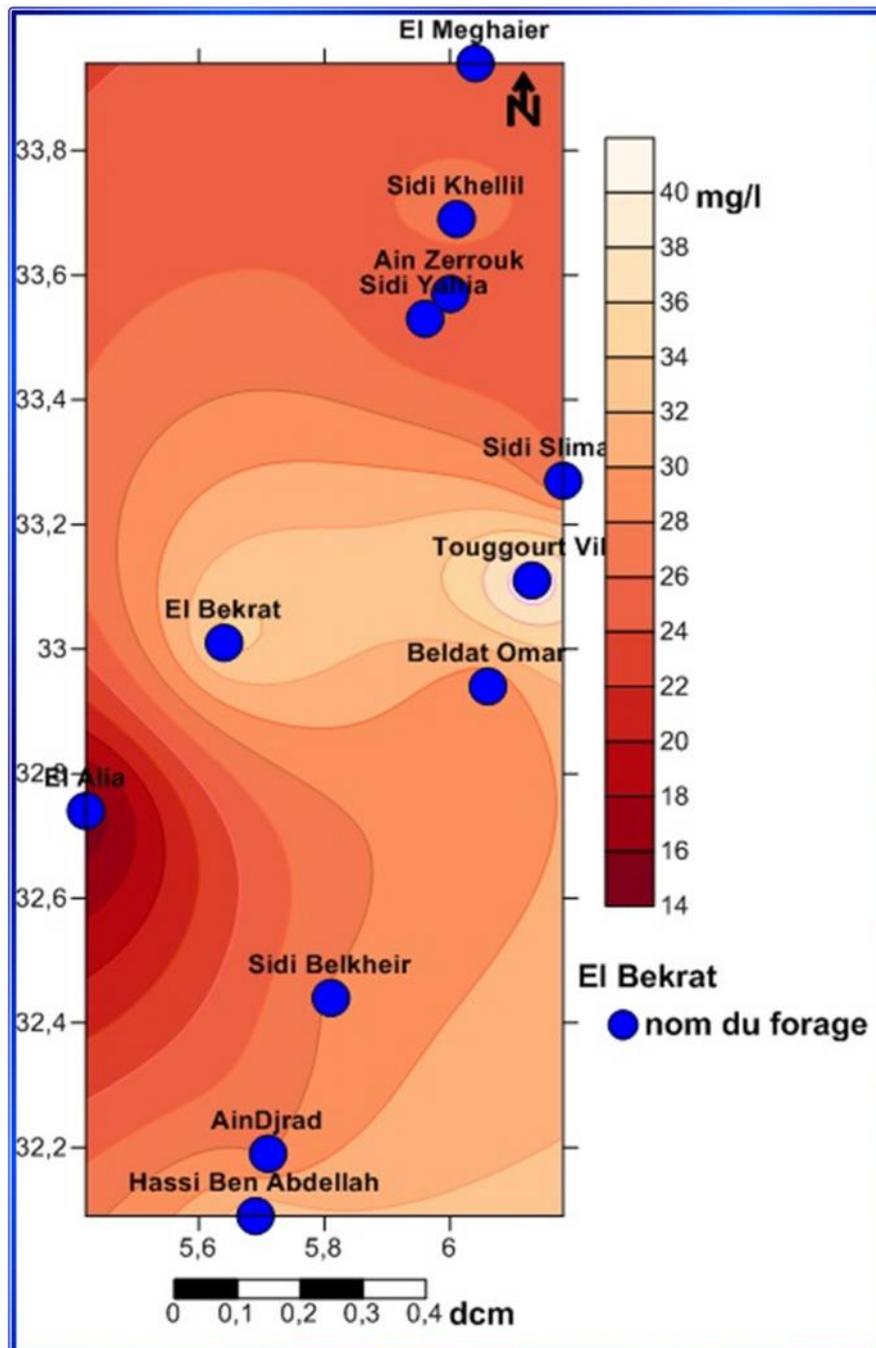


Figure N°53: Carte de potassium pour l'année 2014

5- Les sulfates :

La présence des ions sulfatés dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypsifères. Pour l'année 2014, on a enregistré des teneurs importantes, ces teneurs varient fortement de 367 mg/l à 1720 mg/l.

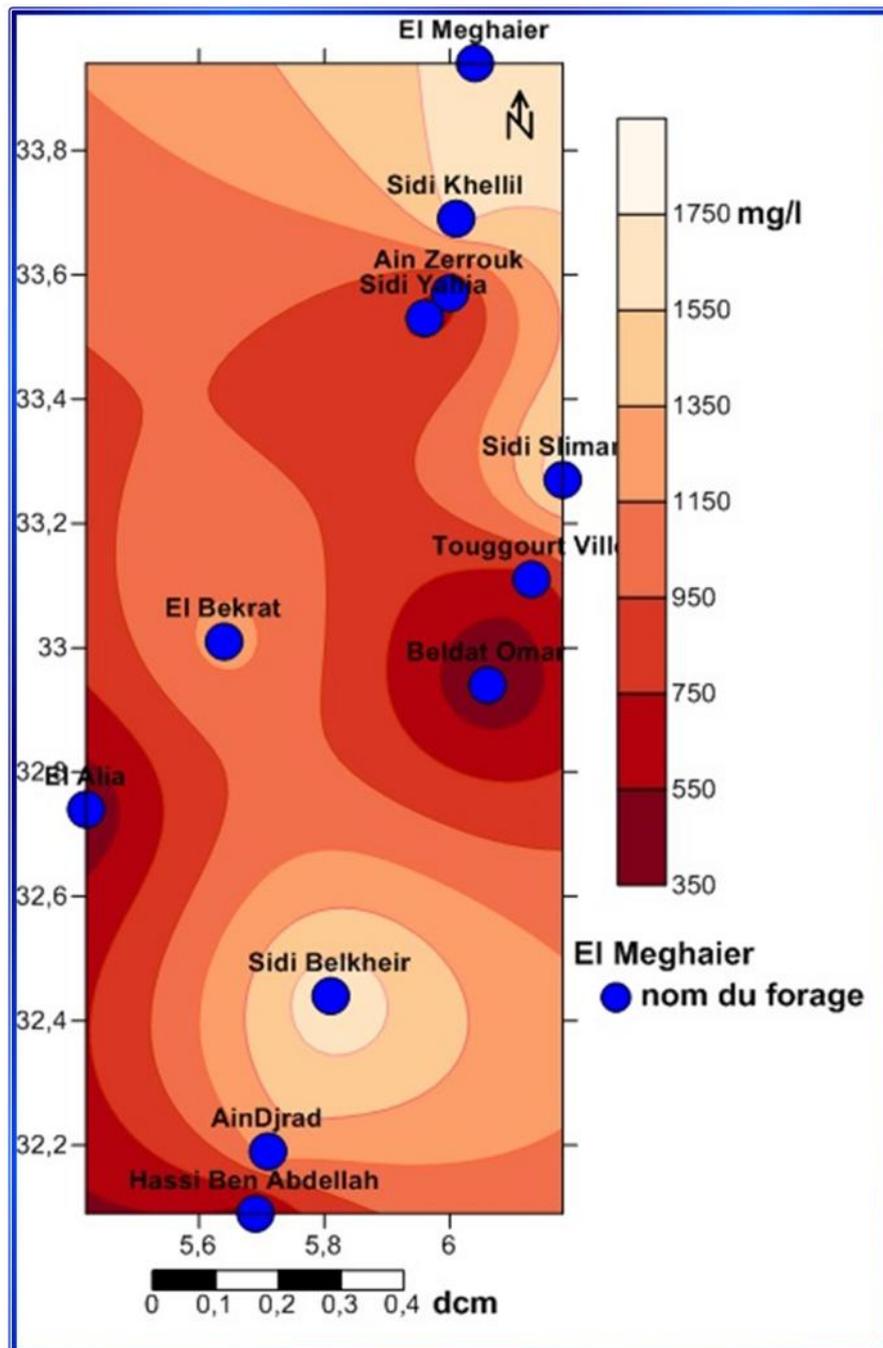


Figure N°54: Carte de sulfate pour l'année 2014

III-3- Origine des éléments chimiques :

Le parcours d'écoulement et les couches traversées influent sur l'acquisition des éléments chimiques. En se basant sur les mesures et les analyses chimiques de la campagne 2014, on va essayer de déterminer l'origine probable de tous les ions.

III-3-1- Les éléments Ca^{+2} _ HCO_3^{-3} _ SO_4^{-2} :

Le calcium tire son origine des carbonates et du gypse, la détermination de l'origine de chaque concentration en Ca^{+2} est nécessaire pour connaître les mécanismes du chimisme de la nappe.

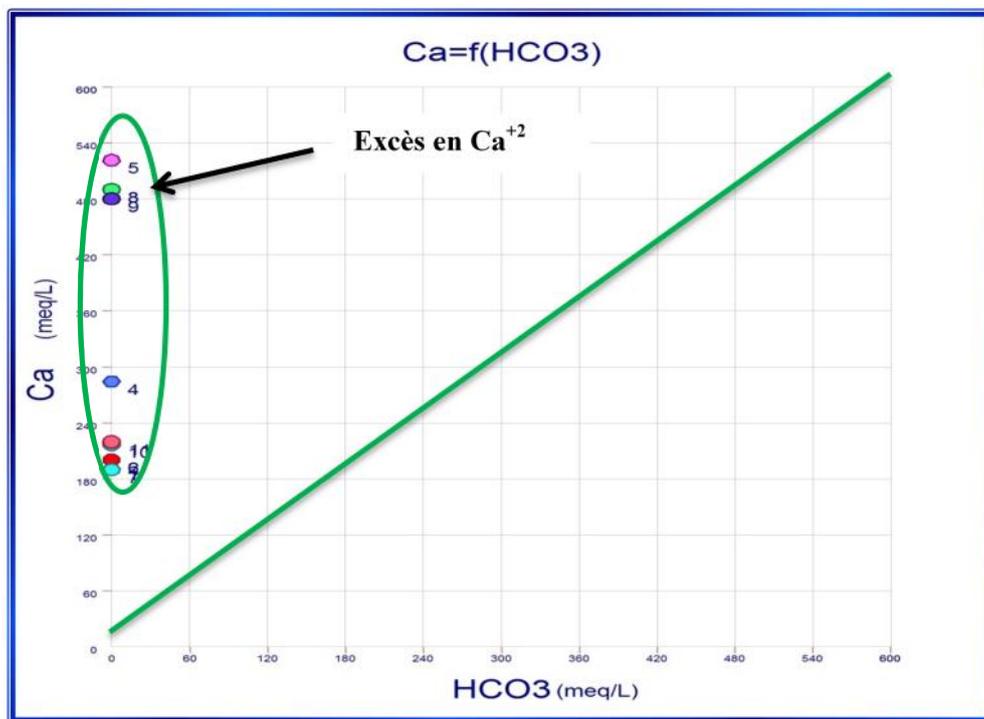


Figure N° 55: Détermination de l'origine du calcium.

Établi un graphe où nous avons représenté le calcium en fonction des bicarbonates (**figure 55**). L'analyse de ce graphe montre que tous les échantillons ont une origine gypsefaire.

III-3-2- Les éléments Na^+ - Cl^- :

Dans les eaux naturelles, la présence des deux éléments Na^+ et Cl^- est attribuée à la dissolution de la halite. Cependant, les chlorures comme le sodium peuvent avoir d'autres origines (naturelles ou anthropiques).

La représentation graphique de l'évolution du Na^+ en fonction de Cl^- (**figure 56**) a montré un excès des teneurs en Na^+ , qui s'explique par l'existence d'une autre origine pour les ions sodiques (autre que l'halite).

L'augmentation des teneurs en Na^+ qui a accompagné les faibles teneurs en Cl^- est due au phénomène d'échange de base, car les argiles du substratum escheriez peuvent libérer des ions Na^+ après avoir fixé le Ca^{2+} .

Les fortes teneurs en Na^+ qui ont accompagné celles élevées du Cl^- , sont attribuées à la dissolution de l'halite contenue dans évaporites.

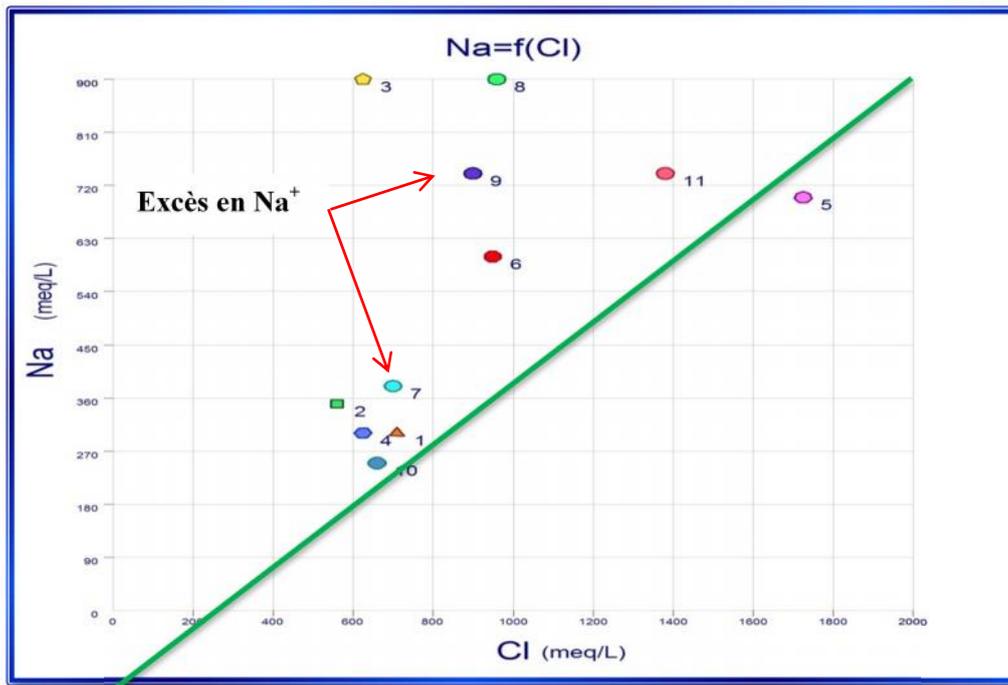


Figure N°56 : Détermination de l'origine du sodium.

III-3-3- Les éléments HCO_3^- _ Cl^- _ SO_4^{2-} :

Après avoir fait le point sur les origines des cations, on a essayé de représenter l'évolution des anions en fonction de la conductivité. L'interprétation de la **figure 56** montre que la conductivité électrique n'évolue pas avec les bicarbonates, alors que les chlorures et les sulfates croissent avec la salinité. Cette dernière est donc due aux éléments salifères.

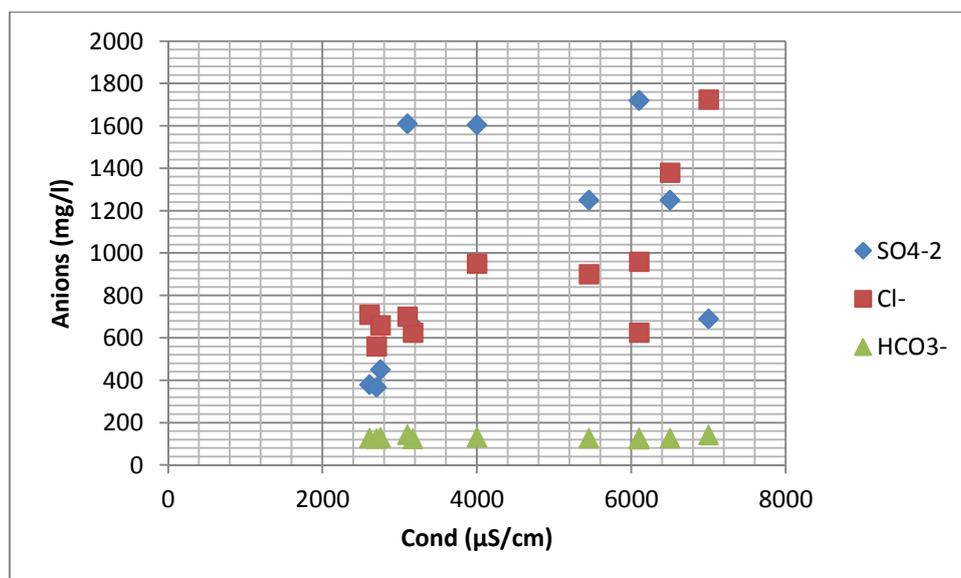


Figure N°57 : Evolution des anions en fonction de la conductivité électrique.

III-3-4- Les éléments Cl^- - SO_4^{2-} :

Ces deux ions sont issus de deux formations différentes, le SO_4^{2-} provient du gypse et le Cl^- provient de la dissolution de l'halite et probablement d'une pollution anthropique. On a associé l'évolution de ces ions à la conductivité électrique pour mettre en relief la façon selon laquelle ils évoluent et déterminer lequel entre eux est l'origine de la salinité des eaux de la nappe.

L'interprétation du graphe (**figure.58**) a révélé que la moitié des points d'eau présentent un ($\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$) supérieur à 1, indiquant ainsi la dominance des ions Cl^- par rapport à SO_4^{2-} , ce qui confirme la dominance du faciès chloruré sodique. L'autre moitié des points d'eau présentent des valeurs du rapport ($\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$) inférieur à 1, indiquant une origine gypsifère (**figure 58**).

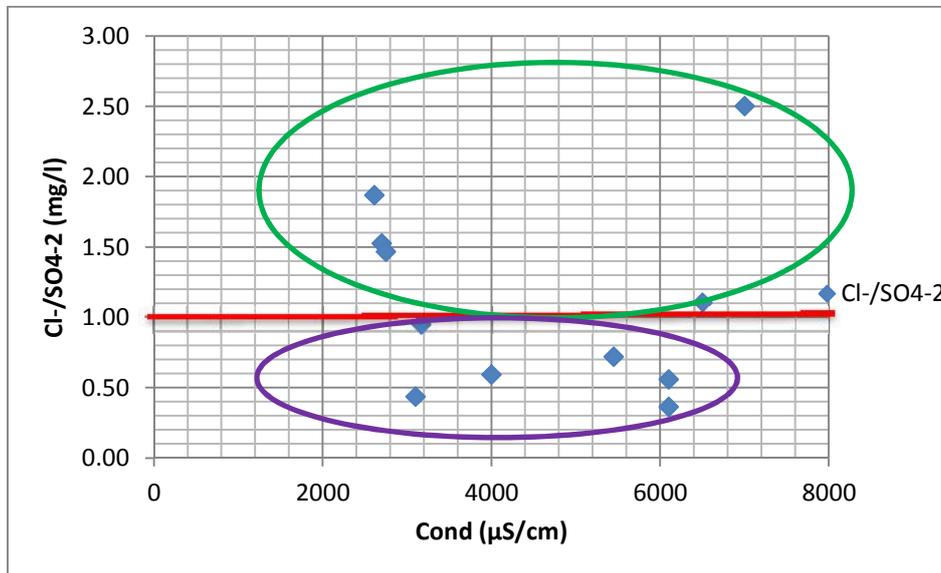


Figure N°58 : Evolution des chlorures et des sulfates en fonction de la conductivité

III-4- Acquisition et évolution de la minéralisation de l'eau :

Dans ce paragraphe, il convient de discuter sur les différents processus contribuant à la minéralisation des eaux à travers l'approche thermodynamique et les diagrammes d'équilibre construits à partir des teneurs en éléments chimiques majeurs.

L'approche thermodynamique permet d'étudier l'évolution chimique de l'eau en fonction de son état d'équilibre vis-à-vis des minéraux primaires et néoformés de la roche réservoir lors du prélèvement.

III-4-1- Indices de saturation:

Si on considère une réaction chimique entre l'eau et un minéral, la constante d'équilibre thermodynamique de cette réaction, $K(T)$ s'écrit : $K(T) = PAI$

PAI est appelé produit d'activité ionique. L'écart à l'équilibre est défini par l'indice de saturation IS qui s'écrit : $IS = \log(PAI) - \log(T)$

Quand $IS = 0$ l'eau est à l'équilibre avec le minéral

$IS < 0$ l'eau est sous saturée, et capable de dissoudre le minéral

$IS > 0$ l'eau est sursaturée, et capable de précipiter le minéral

Dans cette optique, les calculs des indices de saturation ont été réalisés à l'aide du logiciel PHREEQ du programme thermodynamique WATEQ Debye.

Ces calculs ont été effectués pour les eaux des points ayant fait l'objet de suivi pour les deux années **2003** et **2014**, représentant l'aquifère du complexe terminal.

Les principaux paramètres statistiques d'indices de saturation calculés sont dans le **tableau 23** et la **figure N°59**.

Il est intéressant de remarquer que toutes les eaux sont sous-saturées vis-à-vis d'Anhydrite et du gypse. On remarque toutes les eaux sont saturées vis-à-vis de l'halite.

- les minéraux évaporitiques présentent des degrés de saturation différents. En effet, celui de l'Anhydrite varie de **0.77** à **+ 1.59**, suivi par celui de gypse qui varie de **0.97** à **+ 1.76** et enfin celui de l'halite qui varie de **-2.67** à **- 1.75**.
- Si l'on admet que l'état d'équilibre se fait dans l'intervalle de **- 0.5** à **+ 0.5**, on peut dire que les deux minéraux ont dépassés leur état d'équilibre et ce sont dans un état de sursaturation. Par contre l'halite est sous l'état d'équilibre, il est sous saturé.

Tableau N°23: Paramètres statistiques des indices de saturation (IS) des eaux de nappes d'Oued Righ , Complexe terminal

Nom du forage	Anhydrite	Gypsum	Halite
Sidi Mehdi1	0,77	0,97	-2,60
Sidi Mehdi2	0,77	0,97	-2,64
Bilaire	1,56	1,74	-2,12
Megarine	1,09	1,29	-2,67
Benassoued TGT	1,36	1,53	-1,75
Sidi khellil	1,18	1,36	-2,36
Elmaghiare	1,15	1,34	-2,50
Beldat Omar	1,59	1,76	-1,91
Toggourt	1,46	1,64	-2,05
Ain Sahra	0,88	1,08	-2,72
Oum Thior	1,17	1,34	-1,85

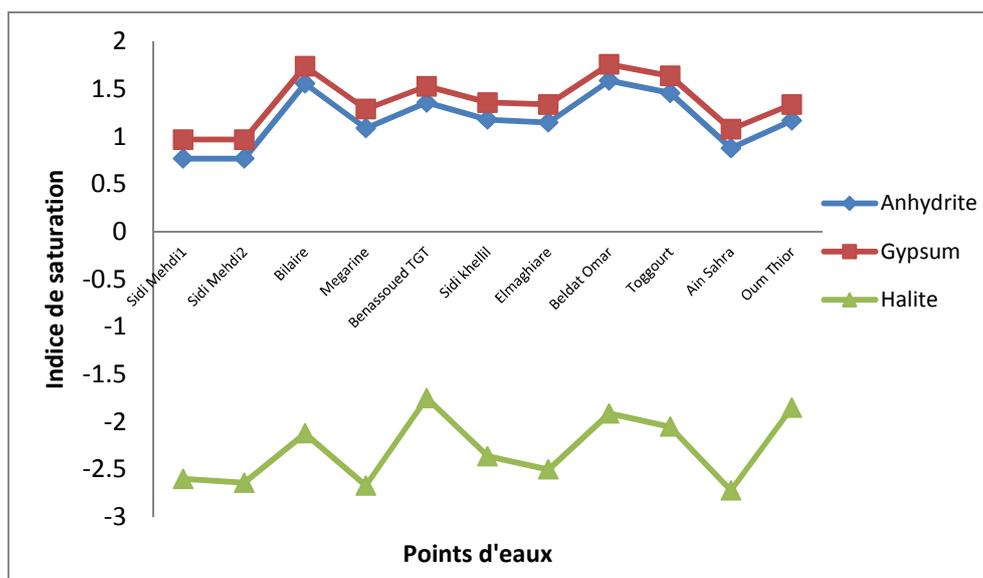


Figure N°59: Variation de l'indice de saturation des minéraux, 2014.

III-5- Aptitude des eaux à l'irrigation :

La zone d'étude étant à vocation agricole, sur la base des résultats des analyses chimiques réalisées, nous avons jugé utile de traiter l'utilisation des eaux pour l'irrigation et des risques encourus par l'utilisation de ces eaux dans le domaine agricole. Partant du constat que les sels minéraux contenus dans l'eau ont des effets néfastes sur le sol et les plantes. En effet les sels en quantité, peuvent perturber le développement des plantes. Ces sels agissent sur le processus osmotique, en causant des réactions métaboliques, ils causent également des changements dans la structure du sol (sur sa perméabilité et son aération), affectant directement le développement de la plante (Person, 1978).

La qualité de l'eau d'irrigation est généralement exprimée par des classes de convenance relative. La plupart des classifications tiennent compte de la conductivité (exprimant la totalité des corps dissous) et surtout la teneur en sodium et en bore. La concentration du sodium est important dans la classification de l'eau d'irrigation car le sodium réagit avec le sol et réduit sa perméabilité

L'agriculture représente le plus important consommateur des ressources en eau dans notre zone d'étude et pour réaliser notre travail, nous avons utilisé le diagramme de Richards, basé sur la combinaison du SAR et de la conductivité.

III-6-Classification des eaux par la méthode de Richards :

L'observation du graphe (**FigureN°60**), nous permet de déterminer les suivantes:

La classe **C4-S4**: tous les points d'eau sont hors de la classe, généralement cette eau ne convient pas à l'irrigation, cependant elle peut être utilisée sous certaines conditions : sols très perméables, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel.

On constate que les eaux souterraines subissent une dégradation selon le sens de l'écoulement, montrant ainsi l'effet de la lithologie sur leur qualité.

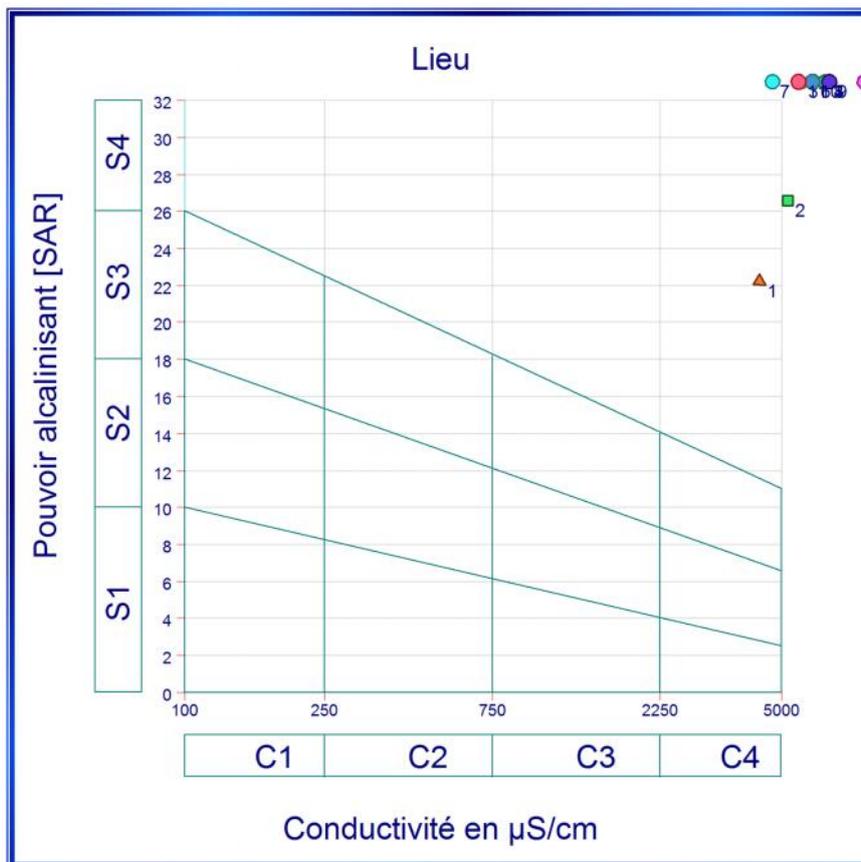


Figure N°60 : Diagramme de Richards pour les eaux de Complexe Terminal de 2003

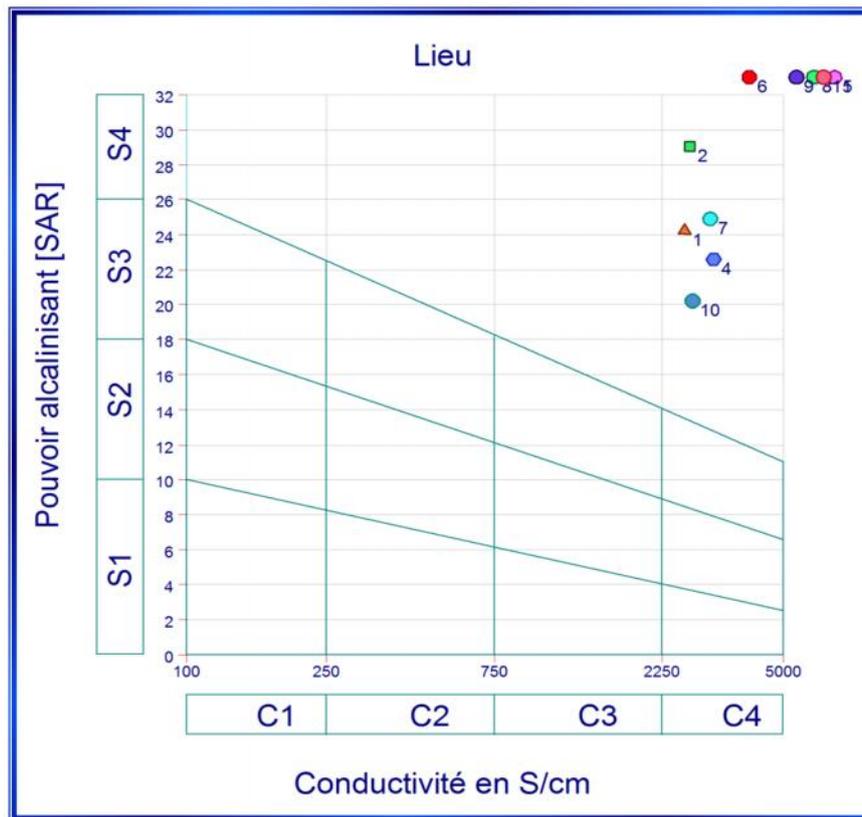


Figure N° 61: Diagramme de Richards pour les eaux de Complexe Terminal de 2014.

III-7-Conclusion :

L'étude hydrogéochimique des eaux de l'aquifère du complexe terminale de la région de Oued Righ permet de dire que :

Les eaux sont caractérisées par une forte salinité et par la présence de deux faciès dominants, qui sont le chloruré sodique, le sulfaté magnésien calcique.

La répartition spatiale des éléments chimiques montre que le chimisme est fortement lié à la lithologie de la nappe, suite à la dissolution des formations carbonatées et des formations évaporitiques.

Le suivi de la qualité des eaux dans le temps a montré l'effet des précipitations et de l'évaporation sur la minéralisation des eaux souterraines.

L'évolution des éléments chimiques (Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^-), qui caractérisent les formations géologiques principales de l'aquifère, a montré la dominance des ions salifères (Na^+ , Cl^-) et des ions gypsifères (SO_4^{2-}) par rapport à ceux carbonatés (Ca^{2+} , HCO_3^-) dans l'acquisition de la salinité.

La classification de Richards a prouvé la dégradation de la qualité des eaux pour l'irrigation. D'après les résultats obtenus par les différentes méthodes utilisées, on peut dire que la minéralisation des eaux d'Oued Righ est due principalement à la géologie des terrains traversés.

En fin, on peut dire que quel que soit la destination prévue pour les eaux de la nappe de Complexe Terminal, à être traitées (station de traitement) avant usage avec un risque sévère pour le sol et les plantes.

CONCLUSION GENERALE

La présente étude, qui a porté sur la nappe de complexe terminal de la plaine d'Oued Righ, située au Sud- Est de l'Algérie, a abouti aux conclusions suivantes:

OUED RIGH est une vaste vallée occupe d'une largeur de **20à 30** km prolonge sur une longueur de **150 km** avec une pente de **1‰**, d'une vue aérienne on observe un cour d'eau traverse le long de cette zone commence de GOUG au Sud jusqu'à l'exutoire naturel chott MEROUANE au Nord c'est le canal, qui reçoit un débit total (**2.74 m³/s**) de drainage **80 %** non épuré.

Géomorphologie de la vallée est une croûte gypso-calcaire, recouvert par des endroits dunaires ; le fond de la vallée est constitué de dépôts sablo argileux.

Formations imperméables constituées d'argiles et de marnes servants de substratum et toits des nappes.

L'aspect climatique de la région de l'Oued Righ caractérisée par un climat désertique hyperaride marqué par des précipitations faibles et irrégulières de l'ordre de **70.13 mm/an**, et les températures élevées ou la moyenne annuelle est de l'ordre de **28.04 °C**.

Du point de vue hydrogéologique, on distingue les formations aquifères suivantes du bas au haut :

➤ Continentale Intercalaire :

Contenu dans les sables gréseux, son épaisseur varie d'une région à une autre, c'est un aquifère profond d'âge Crétacé inférieur (Barremien-Albien).

➤ Complexe Terminal :

Est multicouche peu profond :

• La nappe des calcaire CT3 :

Carbonaté, constitué par des calcaires, calcaire dolomitique ou marneux d'âge Sénonien-Eocène, sa profondeur est de **160 m**.

• La deuxième nappe des sable CT2 :

Constituée par des grès, sables et graviers et quelques intercalations gréseuses d'âge Pliocène, sa puissance est de **10-50 m**.

• La 1 ère nappe des sables CT1 :

Constituée par des sables à granulométrie plus au moins fine d'âge Mio-Pliocene, sa puissance varie de **10-50 m**.

- La nappe phréatique: surmonte ces deux aquifères contenus dans les sables fins à moyens, sa puissance moyenne **20 m**, son alimentation généralement locale se fait par l'excès d'irrigation.

L'étude hydrogéologique montre que l'écoulement souterrain se fait, en général, de Sud vers le Nord.

Le CT présente un rabattement en fonction de temps atteint les **28 m** en **10 ans** ou les surfaces piézométriques présentent des cônes de dépressions quelques fois importants, notamment dans les zones de surexploitation de Choucha, Magar, et Tendla dans la partie médiane.

L'interprétation des données des essais de pompages montre des valeurs considérables de transmissivité et de perméabilité, en conséquence la nappe peut être exploitable du point de vue hydrodynamique.

L'étude hydrochimique des eaux de l'aquifère du complexe terminale de la région d'Oued Righ permet de dire :

Les eaux sont caractérisées par une forte salinité et par la présence de deux faciès dominants, qui sont le chloruré sodique, le sulfaté magnésien calcique.

La répartition spatiale des éléments chimiques montre que le chimisme est fortement lié à la lithologie de la nappe, suite à la dissolution des formations carbonatées et des formations évaporitiques.

L'évolution des éléments chimiques (Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^-), qui caractérisent les formations géologiques principales de l'aquifère, a montré la dominance des ions salifères (Na^+ , Cl^-) et des ions gypsifères (SO_4^{2-}) par rapport à ceux carbonatés (Ca^{2+} , HCO_3^-) dans l'acquisition de la salinité.

La classification de Richards a prouvé la dégradation de la qualité des eaux pour l'irrigation.

D'après les résultats obtenus par les différentes méthodes utilisées, on peut dire que la minéralisation des eaux d'Oued Righ est due principalement à la géologie des terrains traversés.

RECOMMANDATION

Pour une meilleure prise en charge des problèmes qui touche notre région d'étude de l'Oued Righ, on suggère :

- **Réalisations des piézomètres** dans les différentes nappes le long de la vallée pour surveiller la fluctuation de leur niveau.
- Etablir **un réseau de surveillance périodique** qualitatif et quantitatif de toutes les caractéristiques hydrodynamiques et hydrochimique.
- **Penser à l'adoucissement de l'eau** dans les régions à forte salinité (notamment l'Oued Righ Sud).
- **Rénover les réseaux d'assainissement** pour supprimer toute source de pollution.
- **La réhabilitation et l'entretien du canal** ; il faut éliminer les végétaux dans les berges et les dépôts qui gênent l'écoulement de l'eau du canal.
- **Optimiser de forer** dans le continentale intercalaire et le complexe terminal.

BIBLIOGRAPHIE

- A.N.R.H** : Inventaire 2003, 2008, 2010, et 2014, archives.
- Bel, F. et Cuhe D. 1969.** Mise au point des connaissances sur la nappe du Complexe Terminal ; ERESS ; Ouargla. Algérie.
- Bel, F. et Demargne F. 1966.** Etude géologique du Continental Terminal.
- Bellon-Jaseix. R** : Essai de bilan de la nappe du Continental Intercalaire.
- Boualem Remini. Office de la publication universitaires.** La problématique de l'eau en algérie.
- Bourgois, S. Gou, V. et Bermond, A. 1995.** Etude des composés modèles des variations de mobilité des éléments traces dues à des molécules organiques solubles. INRA, Paris.
- Boutaleb, S. 2000.** Impact de la géologie et du climat des bassins versants sur la qualité des eaux d'une grande nappe alluviale en climat semi-aride. Application aux relations hydrologiques entre le Haut-Atlas-Occidental et la plaine du Souss. Th. Doct. Univ. Sci. D'Agadir Maroc.
- Bulletin d'agronomie saharienne (1983)** : Utilisation agricole des eaux chaudes au bas Sahara.
- Busson, G. 1970.** Le Mésozoïque saharien. 2ème partie: Essai de synthèse des données des sondages algéro-tunisiens. Edit., Paris, « Centre Rech. Zones Arides », Géol., 11, 811p. Ed. C.N.R.S.
- Burgeap, et Direction des Carburants. 1963.** Etude du Continental Intercalaire Saharien. Rapport scientifique, ANRH, Alger, Algérie.
- Castany. G (1982)** : Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Dunod –univ. Bordas. Paris.
- Cornet, A. 1961.** Initiation à l'hydrogéologie saharienne. Hydraulique et équipement rural. Service des études scientifiques. Rapport, Alger.
- Cornet, A. 1964.** Introduction à l'hydrogéologie saharienne ; Rev. de géogr. phys. et de géol. dyn. (2), vol. VI, fasc.1; 5-72.
- Debieche, T.H.J. Mania, J. Mudry. 2001b.** L'acquisition de la salinité des eaux souterraines en zone méditerranéenne (Nord-Est Algérien)
- Debieche, T. 2002.** Évolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle).

- Dubief, J. 1953.** Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Institut de Météorologie et de Physique du Globe de l'Algérie ; Service des Etudes Scientifiques ; Alger.
- Dubost, D. 1991.** Ecologie, aménagement des oasis algériennes, Thèse Doctorat de Géographie, Université François Rabellais, Tours.
- Etude UNESCO., 1972.** Etude des ressources en eau du Sahara septentrional ERESS.
- Fabre, J. 1976.** Introduction à la géologie du Sahara algérien. SNED. Algérie
- François Anctill. Jean Rousselle. Nicolas lauzon. HYDROLOGIE.** Cheminements de l'eau.
- Jean-Jacques coulin.** Les eaux souterraines. Connaissance et gestion
- Guendouz, A. 1985.** Contribution à l'étude géochimique et isotopique des nappes profondes du Sahara nord-est septentrional, Algérie. Thèse Université Paris-Sud, Orsay.
- Hacini, M. 2006.** Géochimie des sels et des saumures du chott Merouane et calcul des vitesses de précipitation de quelques minéraux évaporitiques. Thèse Doctorat, Université Badji Mokhtar, Annaba.
- Hamdi-Aïssa, B. Halitim, A. Bensaad, A. Halilat, M.T. et Daddi-Bouhoun, M. 2000.** Gestion de l'eau pour une agriculture durable au Sahara algérien, pp. 63-66, in INRS-eau université du Québec & université de Poitier eds, *Colloque international ESRA' 2000 : Eaux Souterraines en Région Agricole*, Poitier.
- Helal, F. et Ourihane, D. 2004.** Etude hydrogéologique du continental intercalaire et du complexe terminal de la région de Touggourt. Aspect hydro-chimique et problèmes techniques poses. Mémoire ingénieur.
- Khadraoui Abderrazak. 2006.** Eau et sol en Algerien. Gestion et impact sur l'environnement.
- Khadraoui Abderrazak. 2007.** Eau et impact environnemental dans le Sahara Algerien. Définition- évaluation et perspective de développement.
- Kilian, C. 1931.** Les principaux complexes continentaux du Sahara. C.R. Soc. Géol. Fr. Paris.
- Laraque, A. 1991.** Comportements hydrochimiques des açudes du Nordeste brésilien semi-aride (évolution et prévisions pour un usage en irrigation). Th. Doct. Univ. Montpellier II.
- Margat, J. et Saad, K. F. 1982.** L'utilisation des ressources en eau souterraine non renouvelables pour le développement. 4eme conférence internationale sur la planification et la gestion des eaux. Marseille.
- Margat, J. et Saad, K. F. 1984.** Les nappes souterraines profondes : des mines d'eau sous les déserts UNESCO ; Nature et Ressources Vol. XX, n°2, avril-juin 1984.

- Margat, J. 1985.** Hydrologie et ressources en eau des zones arides. Bull. Soc. Géol. France, (8), t.1, n°7, pp.1009-1020.
- Margat, J. 1990.** Les gisements d'eau souterraine. La recherche n°221. mai, 1990.
- Margat, J. 1992.** Les eaux fossiles. Afrique contemporaine, N°161 (Spécial) 1er trimestre.
- Marjoua, A. 1995.** Approche géochimique et modélisation hydrodynamique de l'aquifère de la Chaouia côtière (Maroc) : (Origine de la salinité des eaux). Th. Doct. Univ. Paris 6.
- O.S.S, 2002.** Système Aquifère du Sahara Septentrional : De la concertation à la gestion commune d'un bassin aquifère transfrontière. Projet SASS. Rapport interne. Tunis, Tunisie.
- O.S.S, 2003a.** Système Aquifère du Sahara Septentrional. Volume 2 : Hydrogéologie. Projet SASS. Rapport interne. Coupes. Planches. Annexes. Tunis.
- O.S.S., 2003b.** Système Aquifère du Sahara Septentrional. Volume 4: Modèle Mathématique. Projet
- Ould Baba Sy., 2005.** Recharge et paleorecharge du système aquifère du Sahara septentrional.
- Pagotto, C. 1999.** Etude sur l'émission et le transfert dans les eaux et les sols des éléments traces métalliques et des hydrocarbures en domaines routier. Thèse de doctorat, Univ de Poitiers.
- Philippe quevauviller.** Protection des eaux souterraines
- S.A.S.S., 2002.** Rapport interne. Annexes. Tunis, Tunisie.
- Sogetha, et Sogreah, 1970.** Participation à la mise en valeur de l'Oued Rhir. Etude agro-pédologique. 1-54 (manuscript).
- UNESCO., 1972.** Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional, Rapport sur les résultats du Projet REG-100, UNESCO, Paris (1972).
- <https://scholar.google.fr/citations?user=9iGt4u4AAAAJ&hl=fr>.
- http://www.webreview.dz/inter-server/IMG/pdf/caracteristiques_hydro.pdf
- <http://manifest.univouargla.dz/documents/Archive/ Proceeding-du-Seminaire-International sur-Hydrogeologie-et-Environnement-SIHE-2013-Ouargla/abour%20fella.pdf>
- <https://www.tib.eu /The-lifespan-of-the-Complexe-Terminal-Aquifer-Algerian>.
- <http://geothermal-energy-journal.springeropen.com/articles/10.1186/>
- <https://www.u-picardie.fr/beauchamp/cours.qge/du-7.htm>
- [https://www.google.dz/SAFEACTIVE&q_calcul_du_gradient_hydraulique_A_partir_d'une_carte pizomtrique](https://www.google.dz/SAFEACTIVE&q_calcul_du_gradient_hydraulique_A_partir_d'une_carte_pizomtrique).