

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA -

FACULTE DESHYDROCARBURES, DES ENERGIES RENOUVELABLES ET DES

SCIENCES LA TERRE ET DE L'UNIVERS

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



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

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

Option :Hydrogéologie

THEME

**Etude hydrogéologique et hydrochimique
de l'aquifère de Complexe Terminale (CT) de
El-Oued (SE Algérie)**

Soutenu publiquement par : 20/06/2018

Zidane Mohammed Laid

Soufi Mohammed

Devant le jury :

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

Année Universitaire : 2017/2018

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier avant tout le bon Dieu tout puissant de nous avoir donné le courage et la force d'élaborer ce travail.

*C'est avec beaucoup de reconnaissance que nous adressons nos sincères remerciements à l'égard de notre promoteur **Boualem Bouselsal** pour avoir proposé ce thème et d'avoir suivi et dirigé ce travail, nous le remercions infiniment, pour son aide, ses conseils, ses orientations ainsi que ses remarques et ses critiques qui nous ont été d'un apport précieux, nos remerciements s'étendront aussi aux membres du jury qui ont acceptés de critiquer notre travail.*

Nous adressons nos vifs remerciements à tous les enseignants de l'université Kasdi Merbah Ouargla qui ont contribué à notre formation durant notre parcours universitaire.

Enfin à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet de fin d'étude.

Merci encore à tous....

Dédicaces

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

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

Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour, à tous mes frères et mes sœurs, je dédie ce travail dont le grand plaisir leurs revient en premier lieu pour leurs conseils, aides, et encouragements.

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

Etude hydrogéologique et hydrochimique de l'aquifère de Complexe Terminale (CT) de El-Oued

Résumé :

La région d'Oued-Souf (SE Algérie), est caractérisée par la superposition de trois couches aquifères, il s'agit de haut en bas, de l'aquifère superficiel, l'aquifère de complexe terminal (CT) et l'aquifère de continental intercalaire (CI).

L'aquifère de complexe terminal englobe des assises perméables du Sénonien carbonaté au Mio-Pliocène. En effet on distingue trois aquifères séparés localement par des horizons semi-perméables ou imperméables. La profondeur du CT varie entre 200 et 600 mètres. Quant à son épaisseur utile est d'environ 50 mètres. L'examen des cartes piézométriques montrent que le sens d'écoulement de CT est en général Sud vers le Nord.

L'étude de la qualité des eaux de l'aquifère complexe terminal pour l'alimentation en eau potable (AEP) montre qu'elles sont non potables, en référence aux normes de l'organisation mondiale de la santé (OMS) et aux normes algériennes des eaux potables, elles sont caractérisées fortement minéralisées. Quant à sa qualité pour l'irrigation, basée sur les normes de Riverside, elles s'arrangent dans la classe des eaux médiocres à mauvaises.

Les eaux de l'aquifère de complexe terminal sont dominées par les faciès évaporitiques (sulfaté sodique, chloruré sodique, chloruré calcique et sulfaté calcique). L'étude combinée des rapports ioniques et le calcul des indices de saturation, effectuée sur les échantillons, montrent que les origines de la minéralisation sont la dissolution des évaporites (gypse et halite) et l'échange de base.

Mots clés : Complexe Terminal, El Oued, OMS, Minéralisation, Irrigation.

Study Hydrogeological and hydrochemical of the aquifer Complex Terminal (CT) of El-Oued

Abstract:

The region of Oued-Souf (SE Algeria), is characterized by the superposition of three aquifer layers, it is from top to bottom, the superficial aquifer, the aquifer of terminal complex (CT) and the aquifer of intercalary continental (CI).

The terminal complex aquifer encompasses permeable sedimentary Senonian carbonate at Mio-Pliocene. There are three aquifers separated locally by semi-permeable or impermeable horizons. The depth of the CT varies between 200 and 600 meters. As for its useful thickness is about 50 meters. Examination of the piezometric maps shows that the direction of CT flow is generally south to the north.

The water quality study of the aquifer complex terminal for drinking water supply (AEP) shows that they are non-potable, in reference to the standards of the World Health Organization (WHO) and standards Algerian drinking water, they are highly mineralized. As for its quality for irrigation, based on Riverside standards, they manage in the class of mediocre water to bad. The waters of the terminal complex aquifer are dominated by evaporitic facies (sodium sulphate, sodium chloride, calcium chloride and calcium sulphate). The combined study of the ionic ratios and the calculation of saturation indices, carried out on the samples, show that the origins of the mineralization are the dissolution of the evaporates (gypsum and halite) and the base exchange.

Keywords: Terminal Complex, El-Oued, WHO, Mineralization, Irrigation.

دراسة هيدروجيولوجية وهيدروكيميائية لخزان المركب النهائي في الوادي

ملخص:

منطقة وادي سوف (جنوب شرق الجزائر)، تتميز بتراكب من ثلاث طبقات مياه جوفية، حيث من الأعلى إلى الأسفل، المياه الجوفية السطحية وطبقة المركب النهائي (CT) وطبقة المتداخل القاري (CI). طبقة المركب النهائي تشمل نفاذية الرسوبية من السينونيانى الكربوناتي الى بليوسيني الحديث، في الواقع هناك ثلاثة طبقات مياه منفصلة من خلال طبقات شبه نفوذة أو غير نفوذة. عمق (CT) يتراوح بين 200 و600 متر. كما سمكه يتراوح حوالي 50 مترا. دراسة خرائط البيزو مترية تبين أن اتجاه المياه (CT) عموما من الجنوب إلى الشمال. تمت دراسة نوعية وجودة المياه الجوفية لطبقة المركب النهائي من أجل استعمالات مياه الصالحة للشرب (AEP) تدل على أنها غير صالحة للشرب، في إشارة إلى معايير منظمة الصحة العالمية (OMS) والمعايير الجزائرية لمياه الشرب، أنها تتميز بدرجة تمعدن قوية. فيما يتعلق بنوعية الري، استنادا إلى معايير ريفيرسايد، حيث نصنفها في قسم المياه المتوسطة الى السيئة. المياه الجوفية للمركب النهائي يسيطر عليها السحنات التبخيرية (كبريتات الصوديوم، كلوريد الصوديوم، كلوريد الكالسيوم وكبريتات الكالسيوم). دراسة مشتركة من النسب الأيونية وحساب مؤشرات التشبع التي أجريت على العينات تبين أن أصول تمعدن هي تحلل المتبخرات (الجبس والهاليت) وقاعدة الصرف.

الكلمات الرئيسية: طبقة المركب النهائي، الوادي، منظمة الصحة العالمية، التمعدن، الري.

Liste des Abréviations

ADE: Algérienne Des Eaux.

AEA : Alimentation en Eau d'Agriculture.

DPSB : Direction Programmation et Suivi Budget.

AEI : Alimentation en Eau d'Industrie.

AEP : Alimentation en Eau Potable.

ANRH: Agence Nationale des Ressources Hydriques

CI: Continental Intercalaire

CT: Complexe Terminal

DRH : Direction des Ressources Hydriques.

GIRE : Gestion Intégrée de la Ressource en Eau.

OMS : Organisation Mondiale de la Sante.

ONM : Office National Météorologique.

DSA : Direction des Services Agricoles.

DRH : Direction des Ressources Hydriques.

DEM: Direction de L'Energie et des Mines.

Table des matières

Remerciement	
Résumé	
Abstract	
ملخص	
Liste des abréviations	
Table des matières	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
INTRODUCTION GENERALE	01

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA ZONE D'ETUDE

1 - Présentation de la zone d'étude	02
1.1. Situation géographique d'El-Oued	02
2. La topographie de la région d'étude.....	02
3. Géomorphologie de la région d'étude	03
3.1. Tercha	03
3.2. Louss.....	04
3.3. Salsala ou Smida	04
3.4. Tefza	04
4. Contextes Socio-économique.....	04
4.1. L'artisanat	04
4.2. Le commerce	04
4.3. L'industrie.....	04
5. Activités de la région.....	05
6. Ressources en eau dans la wilaya d'El-Oued	05
6.1. Les ressource en eau	06
6.2 Les différents usages de l'eau	06
6.2.1 L'alimentation en eau potable (AEP)	06
6.2.2 Les usages agricoles de l'eau (AEA).....	06
6.2.3 Utilisation industrielle de l'eau (AEI).....	07
6.3 Ressemblance des données ressources / besoins.....	08
6.3.1 Les Ressources.....	08

Etude hydrogéologique et hydrochimique de l'aquifère de Complexe Terminale (CT) de El-Oued

6.3.2 Besoins.....	08
2. Contexte hydro-climatologique.....	09
2.1. La température	09
2.2 la précipitation.....	09
2.3 L'Humidité.....	10
2.4. L'Evaporation	10
2.5. Le Vent	11
2.6. La courbe pluvio-thermique.....	11
2.7. Le bilan hydrique	11
3. Contexte géologique.....	13
3.1. Cadre géologique régional	13
3.1.1. Le Secondaire	14
3.1.2. Le Tertiaire	15
3.1.3. Quaternaire.....	16
3.2 Cadre géologique locale :	17
3.2.1 Interprétation des coupes	17
3.3. Tectonique.....	19
4. Conclusion	20

CHAPITER II : HYDROGEOLOGIE

1. Présentation des nappes aquifères de la région d'étude	21
1.1 Nappe phréatique.....	21
1.2 Nappe du Complexe Terminal (CT).....	22
1.3 Nappe du Continental Intercalaire (CI)	24
2. Estimation des réserves	25
3. Etude piézométrique de la nappe du Complexe Terminal (CT)	27
3.1. Interprétation.....	27
3.1.1 Carte piézométrique Mars 2010	27
3.1.2 Carte piézométrique Mars 2017	28
3.1.3. Carte de variation piézométrique de la nappe CT entre 2010 et 2017	29
4. Caractéristiques hydrodynamiques de La nappe du CT	30
4.1. Essai de pompage à Guemar	30
4.1.1. Débits spécifiques.....	30
4.1.2. Perméabilité	31

Etude hydrogéologique et hydrochimique de l'aquifère de Complexe Terminale (CT) de El-Oued

4.1.3. Calcul du coefficient d'emmagasinement.....	31
5. Conclusion	32

CHAPITER III : HYDROCHIMIE

1. Introduction.....	33
2. Qualité chimiques des eaux de complexe terminal	33
2.1. Qualité chimiques vis-à-vis à la potabilité.....	33
2.1.1. Température	33
2.1.2 Potentiel d'hydrogène (pH).....	33
2.1.3 La conductivité électrique.....	34
2.1.4 Le Calcium (Ca^{2+})	35
2.1.5. Le Magnésium (Mg^{2+})	36
2.1.6. Le Sodium (Na^+)	36
2.1.7. Les Chlorures (Cl^-)	37
2.1.8. Les Sulfates (SO_4^{2-})	37
2.1.9. Les Bicarbonates (HCO_3^-).....	38
2.1.10. Les Nitrates (NO_3^-).....	39
2.1.11. Etude de la potabilité des eaux de complexe terminal.....	39
2.2 Etude de la potabilité des eaux CT.....	40
2.3 Aptitudes des eaux de complexe terminal à l'irrigation.....	40
3. Etude de facies chimique des eaux de Complexe Terminal	41
4. L'origine de minéralisation des eaux de complexe terminal	41
4.1. Le couple Na^+ - Cl^-	42
4.2. La relation Na^+ - SO_4^{2-}	42
4.3. Indice d'échange de base.....	43
4.4. Notion d'indice de saturation.....	44
5. Conclusion	45
CONCLUSION GENERALE	46
BIBLIOGRAPHIE	47

Liste des tableaux

Tab.1. Altitude moyenne des différentes communes du Souf	3
Tab.2. Les besoins / ressources en eau mobilisable pour l'AEP (1999-2012)	6
Tab.3. Besoins en eau-ressources mobilisable à des fins agricoles (AEA) (1999-2012)	7
Tab.4. Les besoins en eau-ressources mobilisable d'AEI (1999-2012)	7
Tab.5 Récapitulation sur les ressources et les besoins en eaux de différents secteurs en m ³ /j (1999-2012).	8
Tab.6. La température moyenne mensuelle durant 1989-2017.	9
Tab.7 Les précipitations moyennes mensuelles durant (1989-2017).	10
Tab.8. Humidité relative moyenne mensuelle (1989-2017)	10
Tab.9. Evaporation moyenne mensuelle durant (1989-2017)	11
Tab.10. vitesses du vent moyennes mensuelles à Oued Souf en (1989-2017)	11
Tab.11. données des précipitations et des températures moyennes mensuelles.	12
Tab.12. Bilan hydrique d'après Thorntwaite (1989-2017)	12
Tab. 13. Épaisseur moyenne des différents aquifères et estimation de la réserve	25
Tab.14. Niveau piézométrique de la nappe du CT.	27
Tab.15. Calcul de débit spécifique : Valeurs débits / rabattements	30
Tab.16 : Variations des paramètres physico-chimiques des eaux de complexe terminal et les normes de potabilité des eaux	33
Tab.17. Evolution des indices de saturation des minéraux	44

Liste des figures

Fig. 1. Situation géographique de la zone d'étude	2
Fig. 2. Carte topographique de la vallée du Souf (DRH d'El-Oued, 2016).	3
Fig.3. Représentation des ressources mobilisables pour les trois consommateurs de l'eau	8
Fig. 4. Histogramme des températures moyennes mensuelles (T°C)	9
Fig. 5. Histogramme précipitations moyennes mensuelles (mm)	10
Fig.6. Variation mensuelles de l'humidité relative moyenne	10
Fig.7. Variation mensuelle de l'Evaporation moyenne	11
Fig.8. Histogramme des vitesses du vent moyennes	11
Fig. 9. Diagramme Ombro-thermique de la vallée du Souf	12
Fig.10. Carte géologique régionale	13
Fig. 11. Log de forage F3Albien, cité 19 Mars El oued (coupe d'après DRH 2011)	16
Fig.12. Carte géologique de la zone d'étude (extrait d'après la carte du Sahara)	17
Fig. 13. Coupe géologique N° 1 (A.N.R.H, 1989) extrait des logs lithologiques des forages	18
Fig. 14. Coupe géologique N° 2 (A.N.R.H, 1989) extrait des logs lithologiques des forages	18
Fig. 15. Coupe géologique N° 3 (A.N.R.H, 1989) extrait des logs lithologiques des forages	19
Fig.16. Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO, 1972)	21
Fig. 17. Zone d'alimentation de la nappe phréatique et le sens d'écoulement (2006)	22
Fig. 18. Coupe hydrogéologique de l'El-Oued	22
Fig.19. Le sens d'écoulement des aquifères CT et CI	24
Fig.20. Récapitulatif des systèmes aquifères d'El-Oued (D'après DRH d'El Oued, 2005)	26
Fig. 21. Variation des niveaux piézométriques de la nappe CT entre 2010 et 2017	27
Fig. 22. Carte piézométrique de la nappe CT de la vallée du Souf en 2010	29
Fig. 23. Carte piézométrique de la nappe CT de la vallée du Souf en 2017.	29
Fig.24. Carte variation le niveau piézométrique de la nappe CT entre 2010 et 2017	30
Fig.25. Courbe débit spécifique / Rabattement à Guemar (S.Khechana 2012)	31
Fig. 26. Essai de pompage long duré à Guemar (S.Khechana 2012)	32
Fig.27. Histogramme des valeurs de PH dans la nappe de CT	34
Fig.28. Carte de conductivité (en $\mu\text{S.Cm}^{-1}$) de la nappe CT de vallée Souf (2017)	35
Fig.29. Histogramme des teneurs de calcium dans les eaux de CT	36
Fig.30. Histogramme des teneurs de magnésium dans les eaux de CT	36
Fig.31. Histogramme des teneurs de sodium dans les eaux de CT	37
Fig.32. Histogramme des teneurs de chlorures dans les eaux de CT.	37
Fig.33. Histogramme des teneurs de sulfates dans les eaux de CT.	38
Fig.34. Histogramme des teneurs de bicarbonates dans les eaux de CT.	38
Fig.35. Carte de répartition des nitrates (en mg/l) dans les eaux de CT d'El Oued.	39
Fig.36. Diagramme de Richards : classification des eaux d'irrigation en fonction du S.A.R	40
Fig.37. Diagramme de Piper	41
Fig.38. Le couple Na^+ et Cl^-	42
Fig.39. La relation Na^+ et SO_4^{2-}	42
Fig.40. La relation Ca^{2+} et SO_4^{2-}	43
Fig.41. Indice échange de base	43
Fig.42. Variation de l'indice de saturation des minéraux	45

Introduction Générale

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'Algérie reçoit approximativement 90 milliards m³ de pluie par an dont 85% s'évaporent et le reste s'infiltré dans le sous-sol ou s'écoule dans le cours d'eau. En matière de ressources souterraines, le volume exploitable est estimé à 1,8 milliards m³ au Nord. Au Sud et exactement dans le Sahara Septentrional, il existe une importante ressources en eau stocké dans deux nappes ; il s'agit de la nappe du continentale intercalaire (CI) et la nappe de complexe terminal (CT).

Notre contribution a pour objectif de déterminer les caractéristiques hydrogéologiques et hydrochimiques de l'aquifère de complexe terminal d'El Oued. Et pour atteindre ces objectifs, nous avons développés les chapitres suivants :

Le Première Chapitre : Généralité Sur La Zone D'étude

Contient trois parties, la première donne une aperçue sur l'histoire de la région d'El Oued avec description de la situation géographique, l'occupation du sol, le contexte socio-économique de la zone d'étude. La deuxième partie est consacrée à l'étude climatique de la région, elle étudié les différents paramètres climatiques telle que la précipitation, la température, l'humidité, les vents, et le bilan hydrique d'El Oued. La troisième partie est consacrée à l'étude du contexte géologique de la région, la description lithologique des formations géologiques d'El Oued, et l'interprétation des coupes géologiques.

Le Deuxième Chapitre : Etude Hydrogéologique

Contient deux parties, la première partie traite l'hydrogéologie de système aquifère de Sahara septentrional et présente les caractéristiques des trois aquifères. La deuxième partie est consacrée à l'étude de l'aquifère du Complexe Terminal, on déterminant la piézométrie et hydrodynamisme par interprétation des essais de pompage.

Le Troisième Chapitre : Etude Hydrochimique

Il est consacré à la détermination des faciès chimiques, l'étude de la qualité des eaux de la nappe du complexe terminale vis-à-vis à la potabilité et à l'utilisation en agriculture. Et enfin la détermination de l'origine de minéralisation des eaux de l'aquifère du Complexe Terminal.

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

Chapitre-I

Généralités sur la zone d'étude

1. Présentation de la zone d'étude

1.1. Situation géographique d'El-Oued

La région d'El Oued est située au sud-est algérien (Fig.1), occupe une superficie de 44586 km² avec une population de 523 656 habitants, avec une densité est de 17.74 habitant par km². Elle se trouve à environ 700 km au Sud- Est d'Alger et 350 km à l'Ouest de Gabes (Tunisie). Elle est limitée par:

- Au Nord par les wilayas de Biskra, Khenchela et Tébessa,
- A l'Est par la Tunisie.
- A l'Ouest par les wilayas Biskra, Djelfa et Ouargla,
- Au Sud par la Wilaya d'Ouargla.

Géographiquement, elle est limitée par les coordonnées suivantes :

- $X_1 = 5^{\circ} 30'$ et $X_2 = 7^{\circ}$
- $Y_1 = 35^{\circ} 30'$ et $Y_2 = 37^{\circ}$

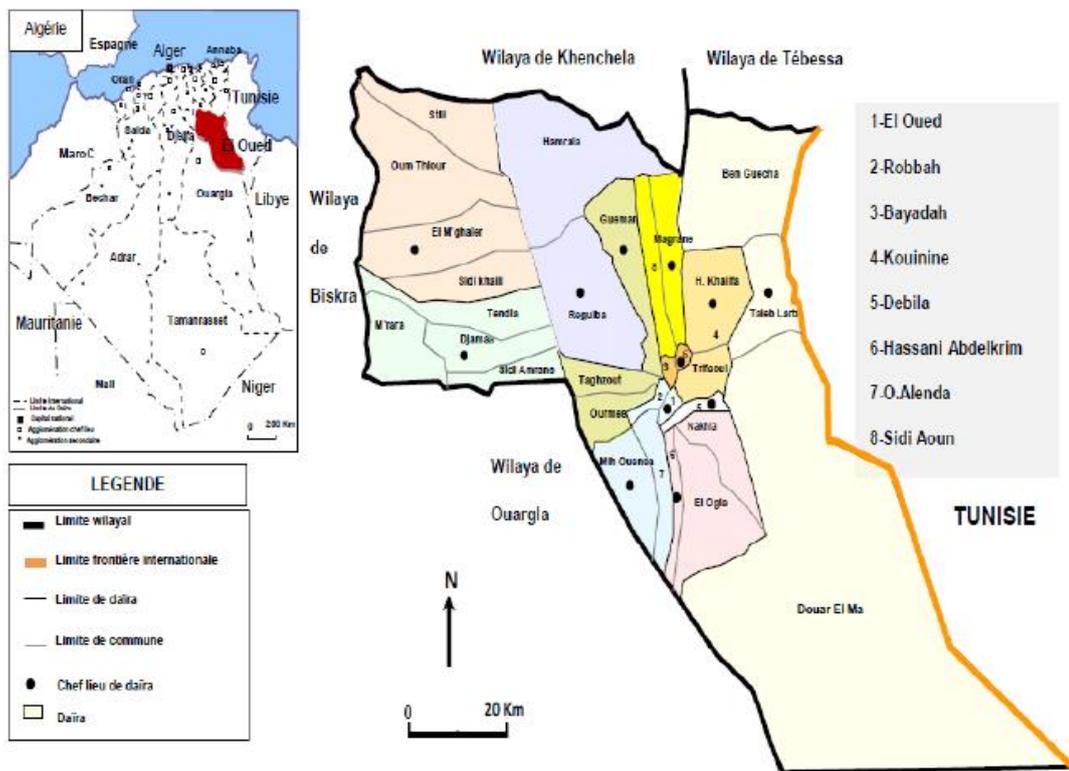


Fig.1. Situation géographique d'El Oued.

2. La topographie de la région d'étude :

La région de Oued Souf appelée aussi région du Bas-Sahara caractérisée par une faible altitude au Sud-est du pays. Le point le plus haut se trouve à la cote 125m dans la ville d'Essoualah, alors que le point le plus bas se trouve à la cote -3 m à Foulia commune de Réguiba (ANRH 2016).

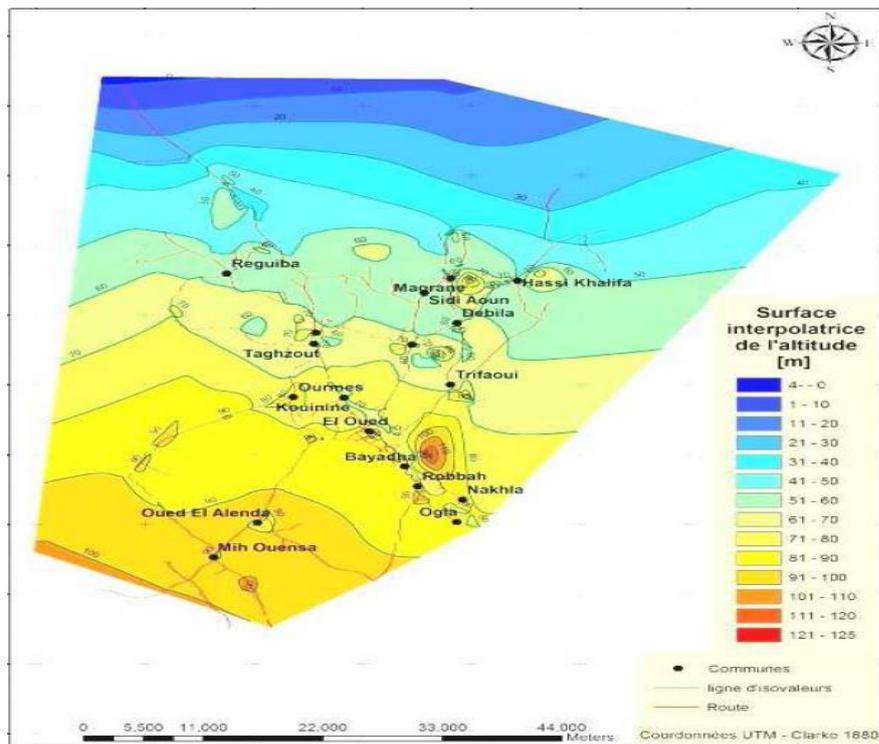


Fig.2. Carte topographique de la vallée du Souf (DRH d'El-Oued, 2016).

L'altitude moyenne de la région est de 61 m et dénonce une diminution du Sud vers le Nord pour être de 25 m au-dessous du niveau de la mer dans la zone des Chotts.

Tab.1. Altitude moyenne des différentes communes du Souf(DRHd'El-Oued, 2016)

N°	Commune	Altitude	N°	Commune	Altitude
01	HassiKhalifa	77	10	SidiAoun	54
02	El-Ogla	91	11	Trifaoui	81
03	MouihOuansa	91	12	Magrane	60
04	El Oued	77	13	Ourmes	85
05	Robbah	93	14	Kouinine	75
06	OuedAlenda	83	15	Reguiba	57
07	Bavadha	90	16	Taghzout	78.5
08	Nakhla	85	17	Debila	62
09	Guemar	64	18	HassaniAbdelkrim	66

3. Géomorphologie de la région d'étude

Le sous-sol présent des contrastes frappants. C'est ainsi qu'au Sud, à 6 kilomètres d'El Oued et jusqu'à El Oglia 24 Km plus loin, on remarque l'absence totale de " Tefza " (pierre à plâtre calcaire), tandis que sur un autre axe allant d'El Oued à Ghamra (en passant par Tiksebt, Kouinine et Guemar) la " Tefza " y occupe tous le terrain. Ainsi deux bandes de terrains sédimentaires, de formations différentes, renfermant des roches dissemblables dont dépend de la qualité de la nappe aquifère, prolongent de part et d'autres sur les principaux axes du Souf. Une coupe dans le sol, nous permet de distinguer :

3.1. Tercha : Formé de fins cristaux qui lui donnent un aspect de grès ; se rencontre en plaques continues ou en bancs extrêmement durs, il est composé de cristaux en fer.

3.2.Louss :Louss est fait de cristaux de gypse en fer de lames imbriqués, il se rencontre sous forme de couches continues, très dures de réseaux mélangés au sable, de bancs isolés ou de colonnes qui semblent être constituées autour d'anciennes racines gypseuses.

3.3. Salsala ou Smida:Se trouve en plaques continues ou en bancs extrêmement durs, il est composé de cristaux en fer comme le Louss, mais c'est plus fins et plus serrés.

3.4.Tefza: C'est un grès blanc assez dur, et constitue de la pierre à chauffer qui donnera le plâtre. (Tercha, Louss, Salsala, Smida et Tefza sont les appellations locales, utilisés pour les différentes couches géologiques).

4. Contextes Socio-économique

Les manifestations de la vie quotidienne traduisent un système d'organisation qui tient compte des possibilités économiques, de la vocation agricole, commerciale et artisanale. Les principales activités, elle nous donne un aperçu général sur l'économie d'El-Oued qui est :

4.1. L'artisanat :El Oued à toujours était un centre artisanal, notamment pour les objets liés à l'ancienne technologie de l'agriculture .On note les activités artisanales, il s'agit des tailleurs, des tapissiers, des maçons, des cordonniers, des menuisiers, des bijoutiers, des forgerons.

4.2. Le commerce : La ville d'El-Oued compte 7 000 artisans, et 10 000 commerçants dans l'ensemble de la wilaya d'El-Oued. Grâce à la position géographique entre les trois Etats (Algérie, Tunisie, Libye), El-Oued a acquis une position stratégique exceptionnelle, on peut dire que la ville d'El Oued est un centre d'échange commercial, très actif, ainsi elle constitue le centre d'achat de toute la région d'El-Oued, d'où l'importance de son marché.

Cette activité commerciale se traduit également par le grand axe commerçant qui, sur plus de 15km, s'allonge le long de la Route Nationale de Kouinine-Robbah où la densité commerciale y est forte au centre 15 à 20 établissements par 100 m pour décroître vers les extrémités 4 à 5.

4.3. L'industrie : Depuis la décennie 1980, de petites unités privées se sont installées. On note des activités industrielles dans cinq branches essentielles : les parfumeries et cosmétique, l'agroalimentaire, Les plastique, les matériaux de construction, les boissons .Aujourd'hui plus de 1600 personnes travaillent dans l'industrie. Un bref inventaire des unités industrielles d'El-Oued ci-joint:

- parfumerie et cosmétique 20 unités.
- transformation du plastique 15 unités.
- Fabrication carrelage 7 unités.
- transformation aluminium 6 unités.
- Insecticides et détergents 4 unités.
- Semoulerie, pâtes alimentaire 3 unités.

- unité déminéralisation eau 2 unités.
- unité de fabrication de peinture 1 unité.
- unité de fabrication des boissons 1 unité.

5. Activités de la région

La région est caractérisée par une économie agricole liée intimement au palmier dattier. Actuellement il existe près de 2500000 palmiers dattier dont 183000 seulement sont productifs. La moyenne d'exportation est de 40000 tonnes/an. L'élevage est une autre activité qui se répartie comme suit (DSA 2016) :

- Ovin : 500 000 têtes.
- Caprin : 153 000 têtes.
- Camelin : 27300 têtes.
- Bovin : 4700 têtes.

Cela permet d'avoir :

- Une production de viande rouge estimée à : 4700 tonnes/an ;
- Une production de viande blanche estimée à : 2240 tonnes/an ;
- Une production d'œufs estimée à : 27561270 Œufs/an) ;
- Une production laitière : 44000000 litres/an.

L'agriculture et le commerce représentent les principales activités des habitants de la région. La culture dominante est le palmier dattier viennent après le tabac, les arachides endernier lapomme de terre et quelques cultures maraîchères. La ville d'El-Oued est un centre d'échange commercial très actif grâce à sa position géographique.

En ce qui concerne les activités artisanales, la région du Souf a toujours été un centre artisanal, connu particulièrement dans la confection des outils de travail destinés à l'agriculture ainsi que pour ses tapis tissés. Son architecture est admirable, distinctes par les coupes qui coiffent les maisons. La ville d'El Oued est un centre d'échange commercial très actif grâce à sa position géographique. En ce qui concerne les activités artisanales, la région du Souf a toujours été un centre artisanal, connu particulièrement dans la confection des outils de travail destinée à l'agriculture ainsi que pour ses tapis tissés. L'industrie est dans sa phase préliminaire, représentée par des petites unités de secteur privé. Enfin son architecture est admirable, distinctes par les coupes qui coiffent les maisons.

6. Ressources en eau dans la wilaya d'El-Oued

Dans la vallée d'Oued Souf, et comme toutes les zones arides, les seules ressources en eaux sont souterraines, alors que leur mobilisation est primordiale.

6.1. Les ressources en eau

Le potentiel des ressources en eaux souterraines, établi par la direction de l'hydraulique de la Wilaya d'El-Oued, se répartit comme suit :

- Nappe phréatique : 0.13 .10⁻⁶ Millions hm³.
- Nappes profondes : 4.90 Millions hm³ (soit 2.7 Millions hm³ pour le CT et 2.2 Millions hm³ pour le CI).
- Total : 4.90 Millions hm³.

6.2. Les différents usages de l'eau

6.2.1. L'alimentation en eau potable (AEP): Les prélèvements pour l'alimentation en eau potable sont principalement effectués à partir de 148 forages dans la nappe du Complexe Terminal (CT) et 02 forages dans la nappe du Continental Intercalaire (CI).

En 1999, la mobilisation est de 305279.29 m³/j qui atteint 396468.59 m³/j en 2012 où les ressources mobilisables à but d'alimentation en eau potable représentent 8.29 % du total de la mobilisation. Les besoins en eau domestique est évaluée à 27326.06 m³ /j en 1999 qui s'accroît jusqu'à 138671.82m³ /j en 2012.

Tab.2. Les besoins / ressources en eau mobilisable pour l'AEP (1999-2012)

Année	Besoins en m ³ /j	Ressources mobilisables (m ³ /j)
1999	27326.06	305279.29
2000	100276.02	308632.86
2001	103341.68	319099.29
2002	106516.80	323084.29
2003	109817.76	332682.86
2004	113166.82	342261.43
2005	116646.66	352916.43
2006	120245.84	355710.71
2007	124351.76	362824.92
2008	125374.08	366453.17
2009	124351.76	362824.92
2010	128952.78	373709.67
2011	133724.03	384920.96
2012	138671.82	396468.59
Total	1572763.87	4886869.39

(DRH, El-Oued, 2013)

6.2.2. Les usages agricoles de l'eau (AEA) : Dans la vallée de Souf, la ressource en eau est fortement exploitée par l'irrigation, la culture de la pomme de terre a connu un fort développement depuis la fin des années 90. La superficie agricole irriguée s'est élevée à près de 31494 ha en 1999 et à 59935 ha en 2009, sachant que les besoins en eau d'un hectare est évaluée à 16430 m³ /an. Ceux-ci s'effectuent essentiellement par le pompage au sein des forages des nappes profondes (CT et CI) et surtout de nombreux puits dans la nappe phréatique (autour de 20000 puits en 2010). L'agriculture, qui utilise plus de 88 % des ressources en eau mobilisées représente la part du lion Fig.4, augmente de 2679696 m³/j en

1999 à 3354307.2 m³/j en 2003 pour atteindre 3983038 m³/j en 2009. Les besoins en eau de ce secteur sont évalués à 4189976.6 m³/j en 2012.

Tab.3. Besoins en eau-ressources mobilisable à des fins agricoles (AEA) (1999-2012)

Année	AEA en m ³ /j	Ressources mobilisables (m ³ /j)
1999	1417661.4	2679696.0
2000	1845561.6	2819404.8
2001	1931222.7	3033590.4
2002	2035159.3	3186950.4
2003	2136665.2	3354307.2
2004	2249874.7	3440448.0
2005	2316224.9	3578256.0
2006	2337651.4	3592080.0
2007	2443918.7	3722418.0
2008	2570239.3	3852718.0
2009	2693211.8	3983038.0
2010	2822068.0	4117766.3
2011	2954705.2	4253652.6
2012	3095940.1	4389769.5
Total	29754164.20	50004095.20

(DSA, El-Oued, 2013)

6.2.3 Utilisation industrielle de l'eau (AEI): La consommation d'eau industrielle est extrêmement variable et elle dépend évidemment du type d'industrie, et vu l'absence des industries à forte intensité d'eau (telles que l'industrie chimique, la sidérurgie et la pâte à papier...) les ressources mobilisables à des fins industrielles ne représentent que 3.34 % du total des ressources mobilisables de la vallée. Les besoins industriels en eau en 1999 est estimé à 31375.71 m³/j qui s'accroît en 2012 à 42371.62 m³/j.

Tab.4. Les besoins en eau-ressources mobilisable d'AEI (1999-2012).

Année	AEI en m ³ /j	Ressources mobilisables (m ³ /j)
1999	31375.71	122111.71
2000	32169.71	123453.14
2001	33135.14	127639.71
2002	34008.86	129233.71
2003	34984.00	133073.14
2004	35838.86	136904.57
2005	36477.14	141166.57
2006	37542.00	142284.29
2007	38280.04	145164.29
2008	39019.12	148049.5
2009	39757.49	150931.00
2010	40314.10	153868.60
2011	40878.50	156946.00
2012	41459.8	160084.90
Total	515240.47	1970911.13

6.3 Ressemblance des données ressources / besoins

6.3.1. Les Ressource : Les ressources mobilisables pour les différents usagers (domestiques, agricoles et industriels) dépassent 1.13 km³ en 1999 qui atteignent 1.7 km³ en 2012.

6.3.2 Besoins : La population de la vallée d'Oued-Souf est de 374331 habitants en 1999, ce nombre est passé à environ 542150 habitants en 2012 ou les besoins ont dépassé 1.14 Milliards m³. Les besoins par habitant de cette année se répartissent comme suit :

- Besoins industriels : 38.08 hm³.
- Besoins domestiques: 94.50 hm³.
- Besoins agricoles : 1007.42 hm³
- Total : 1140 hm³

Tab.5. Récapitulation sur les ressources et les besoins en eaux de différents secteurs.

Année	Ressources (m ³ /j)			Total des ressources mobilisables (m ³ /j)	Besoins (m ³ /j)			Total des besoins (m ³ /j)
	AEP	AEA	AEI		AEP	AEA	AEI	
1999	305279.29	2679696	122111.71	3107087.0	78439.29	1417661.4	31375.71	1527476.42
2000	308632.86	2819404.8	123453.14	3251490.8	80424.29	1845561.6	32169.71	1958155.64
2001	319099.29	3033590.4	127639.71	3480329.4	82837.86	1931222.7	33135.14	2047195.71
2002	323084.29	3186950.4	129233.71	3639268.4	85022.14	2035159.3	34008.86	2151190.34
2003	332682.86	3354307.2	133073.14	3820063.2	87460.00	2136665.2	34984.00	2259109.23
2004	342261.43	3440448.0	136904.57	3919614.0	89597.14	2249874.7	35838.86	2375310.68
2005	352916.43	3578256.0	141166.57	4072339.0	91192.86	2316224.9	36477.14	2443894.88
2006	355710.71	3592080.0	142284.29	4090075.0	93855.00	2337651.4	37542.00	2469048.40
2007	362824.92	3722418.0	145164.29	4230407.2	124351.76	2443918.7	38280.04	2606550.50
2008	366453.17	3852718.0	148049.5	4367220.6	125374.08	2570239.3	39019.12	2734632.50
2009	373782.24	3983038.0	150931.00	4507751.2	126404.2	2693211.8	39757.49	2859373.49
2010	371685.29	4042906.8	152327.88	4566919.17	128606.2	2756372.6	40634.36	2925613.16
2011	371887.09	4115622.7	153189.31	4640699.1	130834.2	2823654.2	41256.71	2995745.11
2012	374115.38	4189976.6	154227.8	4718319.78	133077.52	2896587.4	42371.62	3072036.54

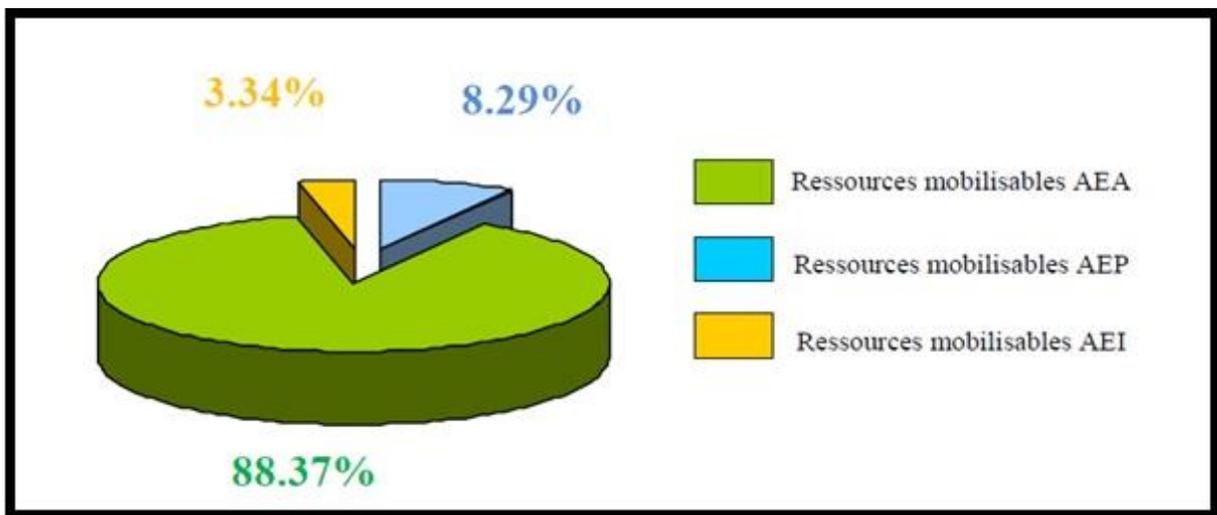


Fig. 3. Représentation des ressources mobilisables pour les trois grands consommateurs de l'eau (S.Khechana 2012)

2. Contexte climatologique

Les données pluviométriques, de la température, de l'humidité, de l'évaporation, etc.....) ont été observées par l'Office National de la Météorologie (O.N.M.) et enregistrées à la station climatologique de l'aérodrome de Oued Souf sur la période (1989 et 2017).

2.1. La température

Les températures dans cette région sont constamment variables. Les écarts entre la nuit et le jour dépassent parfois 21°C à l'ombre, les minimax de températures progressent régulièrement de 3 °C à 25 °C, alors que les maximas de 15°C à 40°C et c'est selon la durée de l'ensoleillement. Ces valeurs sont élevées entre le début du mois de Janvier et la fin du mois de Juillet. Ce tableau montre une variabilité de température dans le temps sur (1989-2017): On enregistre une température moyenne mensuelle de 27,05°C, elle est maximale pendant le mois de juillet est de l'ordre de 38,74 °C qui représente le mois chaud et minimale pendant le mois de janvier est de l'ordre 16,42°C.

Tab.6. Les températures moyennes mensuelles

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	T Moy
T (C°)	27.94	26.65	22.7	18.45	16.42	18.43	22.5	28.35	32.23	37.95	38.74	38.28	27.39

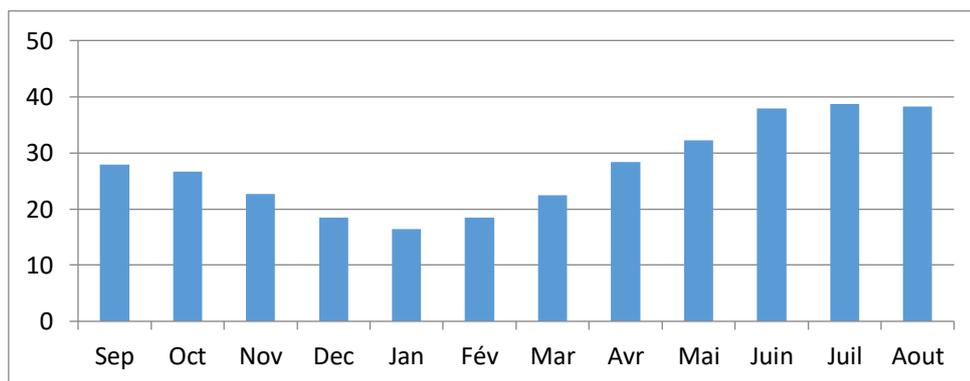


Fig.4: Histogramme des températures moyennes mensuelles (T°C)

2.2. La précipitation

D'après Dubief (1963) les origines des précipitations dans les régions sahariennes sont différentes et c'est selon les saisons :

Durant l'été, elles sont dues aux dépressions de mousson, et en hiver, leur provenance est des eaux dépressions accompagnant la migration vers le sud des fronts polaires, alors que pendant la période intermédiaire, ces précipitations sont dues aux dépressions Soudano Sahariennes traversant notre Sahara du sud vers le Nord.

Le tableau ci-dessous et la figure donne les précipitations moyennes mensuelles observées durant (1989-2017). On remarque que la pluviométrie maximale est de l'ordre de 17,64 mm

enregistré pendant le mois de Janvier, et le minimum est de l'ordre de 0,36 mm enregistré pendant le mois de juillet.

Tab.7. Les précipitations moyennes mensuelles

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P Moy (mm)	6.96	6.46	6.7	6.8	17.64	6.32	6.83	6.76	5.51	0.81	0.36	2.07

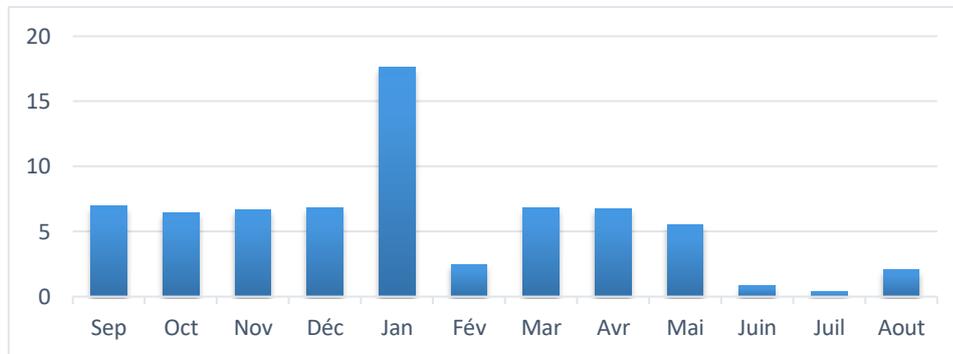


Fig.5: Histogramme précipitations moyennes mensuelles (mm)

2.3 L'Humidité

Le tableau suivant donne les valeurs d'humidité relative moyenne, observées durant la période de (1989-2017). L'histogramme (Fig.6) permet de distinguer les mois secs des mois relativement humides. On remarque que les mois humides ($HR > 49\%$) sont Janvier, Février, Octobre, Novembre, Décembre et les mois secs caractérisant le reste de l'année.

Tab.8. Humidité relative moyenne mensuelle

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
HR (%)	44.58	51.01	56.74	64.21	64.24	53.25	46.56	42.28	36.98	32.04	29.91	32.93

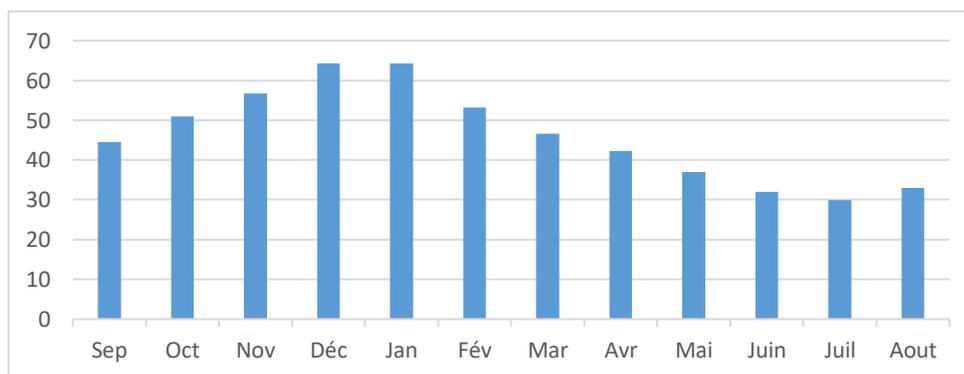


Fig.6: Variation mensuelles de l'humidité relative moyenne

2.4. L'Evaporation

Le tableau suivant porte les valeurs moyennes mensuelles de l'évaporation période (1989-2017). L'évaporation la plus élevée se produit en Juin, Juillet et Août et la plus faible en Janvier. Avec une moyenne de 15.45mm par an.

Tab.9. Evaporation moyenne mensuelle

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Evap(mm)	13.56	10.87	9.76	8.03	6.97	11.43	15.82	19.47	23.03	26.87	28.56	19.43

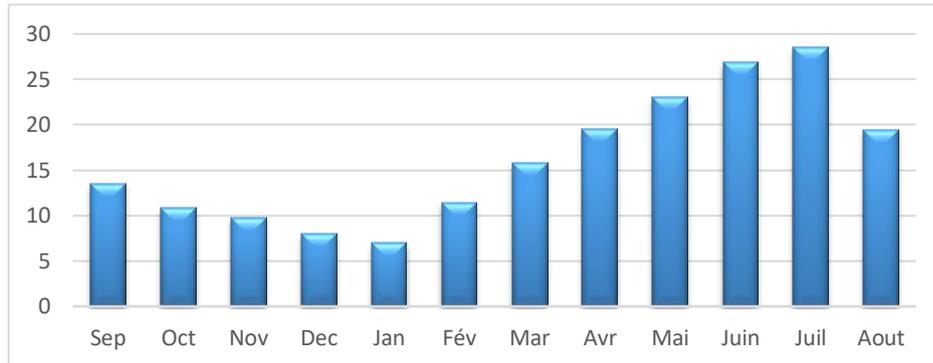


Fig.7: Variation mensuelle de l'Evaporation moyenne

2.5. Le Vent

La vitesse moyenne des vents enregistrée pour la période de (1989-2017) est reportée sur le Tableau. On peut remarquer que la vitesse du vent moyenne oscille entre 1,68 m/s enregistrée durant le mois de décembre et 3,83 m/s pour le mois d'avril, Les vitesses du vent moyennes annuelles est 2,39 m/s.

Tab.10. vitesses du vent moyennes mensuelles à Oued Souf.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Vent (m/s)	2.45	1.78	1.45	1.68	1.83	2.91	2.34	3.83	3.57	2.23	2.07	2.49

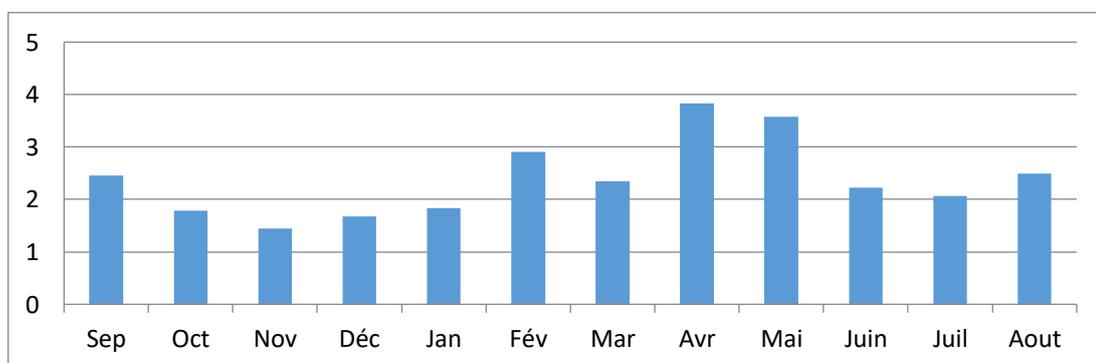


Fig.8: Histogramme des vitesses du vent moyennes mensuelles (m/s).

2.6. La courbe pluvio-thermique

Suivant Gaussen et Bagnouls (in Rkiouak, 1996), un mois est dit sec lorsque $P < 2T$ avec P la précipitation et T la température. La variation de ces deux paramètres au cours d'une année hydrologique moyenne est figurée sur le diagramme ombro-thermique (Fig.9). On en déduit que la période sèche est étendue pendant toute les deuze mois.

Tab. 11. données des précipitations et des températures moyennes mensuelles

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P (mm)	6.96	6.46	6.7	6.8	17.64	6.32	6.83	6.76	5.51	0.81	0.36	2.07
2T (C°)	55.88	53.3	45.4	36.9	32.84	36.86	45	56.7	64.46	75.9	77.48	76.56

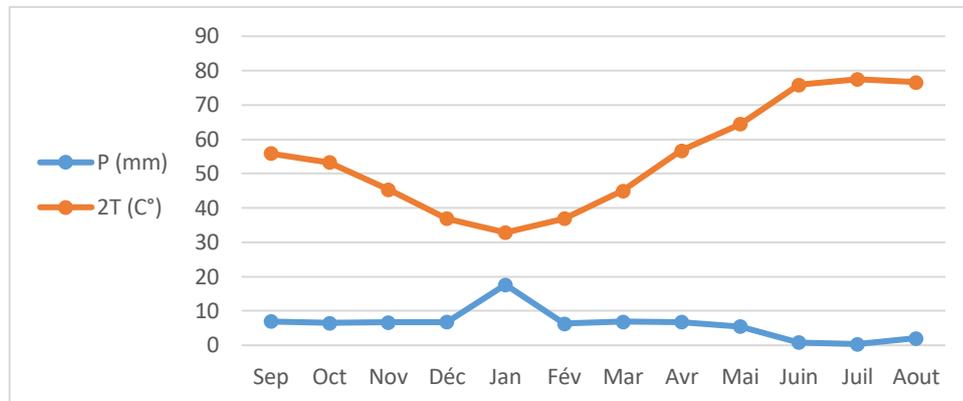


Fig.9: Diagramme Ombro-thermique de la vallée du Souf

2.7. Le bilan hydrique

La formule générale du bilan d'eau donne l'égalité des apports et des pertes évaluées sur une grande période. $P = ETR + EX$

Avec : **P** : Précipitation en (mm) , **ETR** : la lame d'eau évaporée réellement en (mm).

EX : Excédent : $EX = R + I$; **R** : ruissellement, **I** : infiltration. Le Tableau (12) résume le calcul du bilan hydrique par la méthode de Thornthwaite pour la station météorologique de Guemar à partir de la pluviométrie et des températures mensuelles.

Tab.12.Bilan hydrique d'après Thornthwaite (1989-2017)

	T	ETP	P	P-ETP	RFU	ETR	DA	Ex
Sep	27.94	141.2	6.96	-134.2	00	7.0	134.2	00
Oct	22.65	72.5	6.46	-66.0	00	6.5	66.0	00
Nov	15.7	28.5	6.7	-21.8	00	6.7	21.8	00
Déc	11.45	11.6	6.8	-4.8	00	6.8	4.8	00
Jan	10.42	10.9	17.64	6.7	1,9	10.9	0.0	00
Fév	12.43	17.3	2.49	-14.8	00	9.2	8.1	00
Mars	16.5	37.4	6.83	-30.6	00	6.8	30.6	00
Avr	20.35	65.3	6.76	-58.5	00	6.8	58.5	00
Mai	25.23	121.7	5.51	-116.2	00	5.5	116.2	00
Juin	29.95	184.8	0.81	-184.0	00	0.8	184.0	00
Juil	32.74	230.7	0.36	-230.3	00	0.4	230.3	00
Aout	32.28	214.9	2.07	-212.8	00	2.1	212.8	00
Annuel	21.5	1136.8	69.4	-1067.4	1.90	69.4	1067.4	00

Formules de verification:

$$1- \quad P = \sum ETR + \sum EX = 69,4 + 0 = 69,4$$

$$2- \quad ETP = \sum ETR + \sum Da = 69,4 + 1067,4 = 1136,8$$

3. Contexte géologique

3.1 Cadre géologique régional

L'appellation (Oued Souf) que l'on a donné à la partie septentrionale de la région du souf est due à la forme très nette d'une dépression de direction Nord-sud. Elle est caractérisée par un remplissage sédimentaire qui s'étend près d'une centaine de kilomètres au niveau du sol désertique et même parfois au-dessous de l'altitude zéro. Sur toute l'étendue de la région du Souf, la structure géologique est simple dont le substratum est formé par le crétacé. Abstraction faite de différents terrains de couverture, post-crétacé, on observe une succession du Sud au Nord, de différents étages du crétacé dont l'albien est le dernier terme, du sénonien supérieur situé sous les chotts. Cette structure de soubassement crétacé est le résultat d'une phase d'érosion précédant la transgression Miocène. Dès le début du Miocène, il s'est établi partout un régime lagunaire et continental donnant naissance à un dépôt détritique sableux et argileux. Les sondages réalisés le long de la région montrent que le substratum n'affleure nulle part. L'immense étendue de la région est recouverte par les dépôts sableux d'âge Quaternaire, sauf dans le Nord de la région d'El-Oued, ou encore dans les environs de Bayadha où l'on voit apparaître de couches sableuses du Pliocène. Dans la partie méridionale et le centre d'El-Oued, le dépôt Quaternaire est représenté par les dunes formant vers le Nord l'extrémité Ouest du Grand Erg Oriental. Ce sont les formations des chotts qui disparaissent peu à peu sous le sable dunaire.

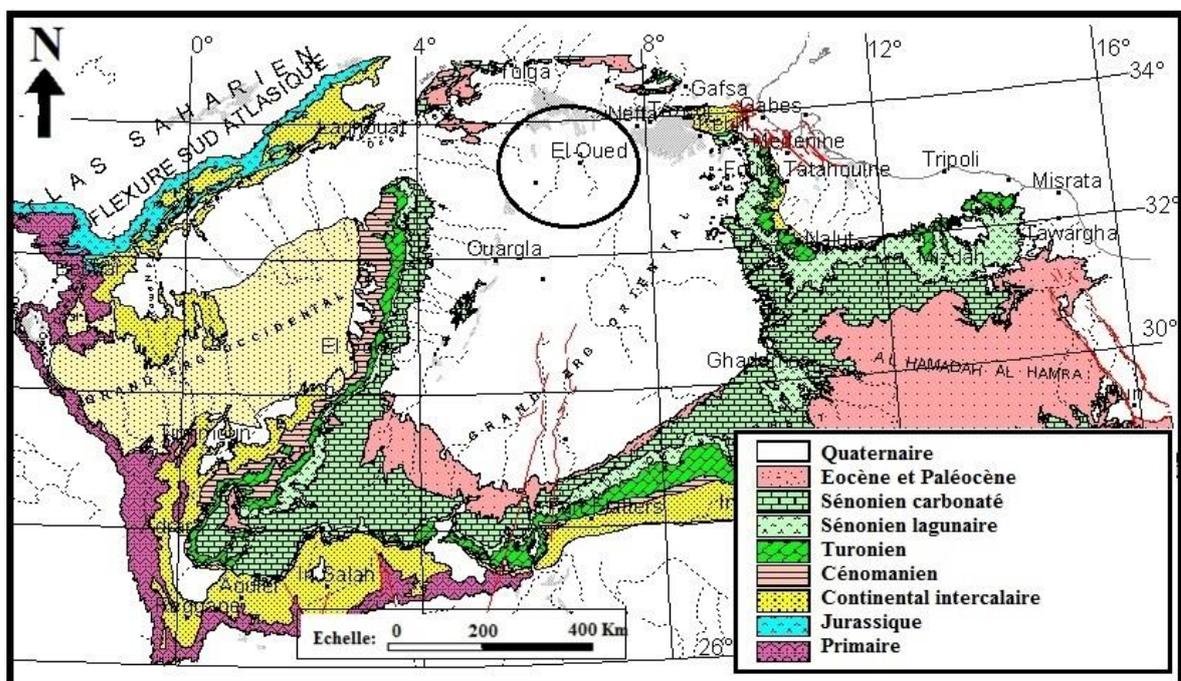


Fig.10: Carte géologique régionale

La litho-stratigraphie de la région d'El Oued est définie par l'étude des logs des forages d'eau et des sondages d'exploration pétroliers réalisés dans la région.

3.1.1. Le Secondaire

Le Barrémien: Cet étage est capté par tous les forages car continental Intercalaire réalisés dans cette région; il présente une lithologie, d'alternance de grés avec passages d'argiles et parfois des intercalations de calcaire, dolomitique, on rencontre également des sables avec présence de silex. L'épaisseur moyenne de cet étage est de l'ordre de 200 à 230 m.

L'Aptien: De même que le Barrémien, ce dernier est constitué principalement par des formations dolomitiques, marneuses et marno-calcaires.

D'après les coupes géologiques des forages réalisés dans la région, L'Aptien est le seul étage dont l'épaisseur ne dépasse guère 30 mètres.

L'Albien : Cet étage est constitué par une alternance de marnes, degrés de sables et surtout par des calcaires avec passages de silex et d'argile. La limite inférieure est constituée par le toit de la barre Aptienne, alors que sa limite supérieure par l'apparition, des faciès argilo carbonatés. D'après les coupes de sondages des forages Albien, l'épaisseur de cet étage varie de 100 à 150 m ; dans d'autres endroits elle peut atteindre 200 m.

Le Vraconien: C'est en fait, une zone de transition entre l'Albien sableux et le Cénomaniens argilo carbonaté. Cet étage est constitué principalement d'une alternance irrégulière de niveaux argilo dolomitiques. On montre aussi des argiles sableuses et de rares passées degrés à ciment calcaire. Le plus important dans cet étage, c'est qu'en raison de l'importance de ses niveaux argileux, il constitue une importance couverture de l'Albien.

L'épaisseur de cet étage, dans toute la zone d'étude varié entre 250 et 300 mètres.

Le Cénomaniens: Tous les forages réalisés dans cette région ont montré que cet étage est constitué par une alternance de dolomies, de calcaires dolomitiques de marnes dolomitiques, d'argiles et d'anhydrites. Cet étage joue le rôle d'un écran imperméable. Quant aux limites de cet étage, on peut dire que la limite inférieure est caractérisée par l'apparition d'évaporantes et de dolomies qui la distingue nettement, la limite supérieure caractérisée par l'apparition d'évaporantes et de calcaires correspondants à la limite inférieure du Turonien.

Le Turonien: Cet étage représente la base du complexe terminale. Il est généralement carbonaté et constitué par des calcaires dolomitiques et des dolomies micro cristallines compactes avec des intercalations de calcaire Turonien et parfois de marne. Les forages de la région montrent clairement que son épaisseur varie d'un endroit à un autre ; elle dépasse parfois 650 mètres.

Le Sénonien : La plupart des études géologiques effectuées à travers le Sahara Algérien montrent que le Sénonien est formé de deux ensembles très différents du point de vue

faciès :L'un correspond au Sénonien lagunaire situé à la base, l'autre au Sénonien carbonaté (la partie supérieure).

- **Sénonien Lagunaire:**La limite de ce sous étage est bien distinguée. Le Sénonien lagunaire est caractérisé par un faciès évaporé avec des argiles ou ces derniers sont aisément différentiant, de ceux du Turoniens. Il est constitué également d'anhydrites, de calcaires dolomitiques d'argiles et surtout les bancs de sel massif dont l'épaisseur avoisine 150 mètres. La limite supérieure de cette formation coïncidée avec le toit de la dernière intercalation anhydride.
- **Le Sénonien carbonatée :** Ce second sous étage est constitué par des dolomies, des calcaires dolomitiques avec des intercalations, marno-argileuses et en grande partie par des calcaires fissurés et de dolomies vacuolaires. Son épaisseur dépasse parfois 300 mètres. Il faut mentionner par ailleurs l'existence d'une continuité lithologique entre le Sénonien carbonaté et Eocène qui présentent tous deux des calcaires de même nature avec présence de nummulites.

3.1.2 Le Tertiaire

L'Eocène : Cet étage est formé par sables et des argiles, parfois on rencontre des gypses et ces graviers. Dans cette région, l'étage de l'Eocène est carbonaté à la partie inférieure, sa partie supérieure est marquée par des argiles de type lagunaires.L'épaisseur de cet horizon varie entre 150 et 200 mètres

Le Miopliocène :Ce dernier repose en discordance indifféremment sur le primaire d'une part et sur le crétacé inférieur, le Turonien, le Cénomaniens et l'Eocène d'autre part, il appartient à l'ensemble appelé communément complexe terminale (C.T). La plupart des coupes de sondages captant cet horizon, montrent que le Mi pliocène est constitué par un empilement de niveaux alternativement sableux, sablo argileux avec des intercalations gypseuses et dépassées degrés.Sur toute l'étendue du Sahara oriental, BEL et DEMARGNE séparent cet horizon en 4 niveaux :

1-**Niveau argileux** : il présente une faible épaisseur, son existence n'affecte que la partie centrale de Sahara oriental.

2-**Niveau grés-sableux** : c'est le plus puissant par rapport aux autres, son épaisseur reste presque régulière sur toute l'étendue du Sahara. C'est en fait à ce niveau que se trouve le principal horizon aquifère- appelé aussi complexe terminal (CT).

3-**Niveau argilo-sableux** : il ne présente pas un grand intérêt du point de vue hydrogéologique ; ses limites demeurent toujours confondues

4-**Niveau sableux** : ce niveau constitué le deuxième horizon aquifère du complexe terminal. Donc du point de vue hydrogéologique les deux niveaux sableux (b et d) présentent un grand intérêt. Ils correspondent à la nappe des sables du complexe terminal.

3.1.3. Quaternaire

Le quaternaire est formé par des dépôts sableux de type éolien donnant naissance à des dunes, qui forment à leur tour l'extrémité ouest du grand Erg oriental .Au nord ce sont les chotts qui disparaissent peu à peu sous les sables dunaires. C'est au niveau de cet horizon que l'on rencontre la nappe phréatique. Les colonnes stratigraphiques de certains forages montrent que l'épaisseur moyenne de cette nappe est de l'ordre de 60 mètres.

Coupe de forage d'El-Oued F3 X=33.20.193 Y=6.51.323 Z=105		Description géologique	Etages
0			
50			
100		Alternance d'argile parfois sableuse et de sable hétérogène à intercalation de gypse	Mio-pliocène
150			
200			
250			
300	300		
350		Alternance de calcaire fissuré et de calcaire massif	Eocène
400			
450			
500			
550			
600	640		
650		Alternance de marne gris- verdâtre et de calcaire gris, compact et dur ;	Sénonien
700	740	Alternance de dolomie beige compact d'hanydrite blanche et de calcaire argileux	Carbonaté
750			
800	840		
850			
900		Anhydrite blanche, massive dure avec passage de dolomie gris claire et intercalation de calcaire	Sénonien Lagunaire
950			
1000			
1050			
1100	1110		
1150	1167	Dolomie beige microcristalline compacte, dure, avec passage de calcaire peu dolomitique	Turonien
1200	1200		
1250	1270	Anhydrite massive et calcaire argileux à passages de marne	Cénomanién
1300		Anhydrite avec passage de calcaire, de dolomie et de marne	
1350	1374	Anhydrite avec passage de calcaire, marne et dolomie avec intercalation d'argile	
1400	1498	Calcaire gris clair argileux à passage de dolomie compact, parfois microcristalline	Vraconién
1450			
1500		Marne grise à passage d'argile gris-vert, intercalation de silex, à faible passage de grès calcaire	Albién
1550	1589	Dolomie, calcaire, marne	Aptién
1600	1613		
1650	1683	Argile brune rouge à intercalations de grès	Barrémién
1700	1720	Grès, dolomie, calcaire et sable, intercalation de silex	
1750	1770		
1800	1800		
1850	1850		

Fig. 11: Log de forage F3Albién, cité 19 Mars El oued (coupe d'après DRH 2011)

3.2. Cadre géologique locale

Nous proposons dans le cadre de cette étude, de définir le comportement hydrogéologique la nappe phréatique. Nous étudierons plus précisément les formations allant du Miocène le jusqu'au Barrémien, en précisant une description lithologique dans notre zone d'étude.

Seuls les terrains Mio-pliocène sont visibles affleurement. Ils sont recouverts par endroits par d'épais dépôts Quaternaire (dune et cordon d'Erg). La succession des terrains et leur description lithologique ont été rendus possibles grâce aux logs des forages.

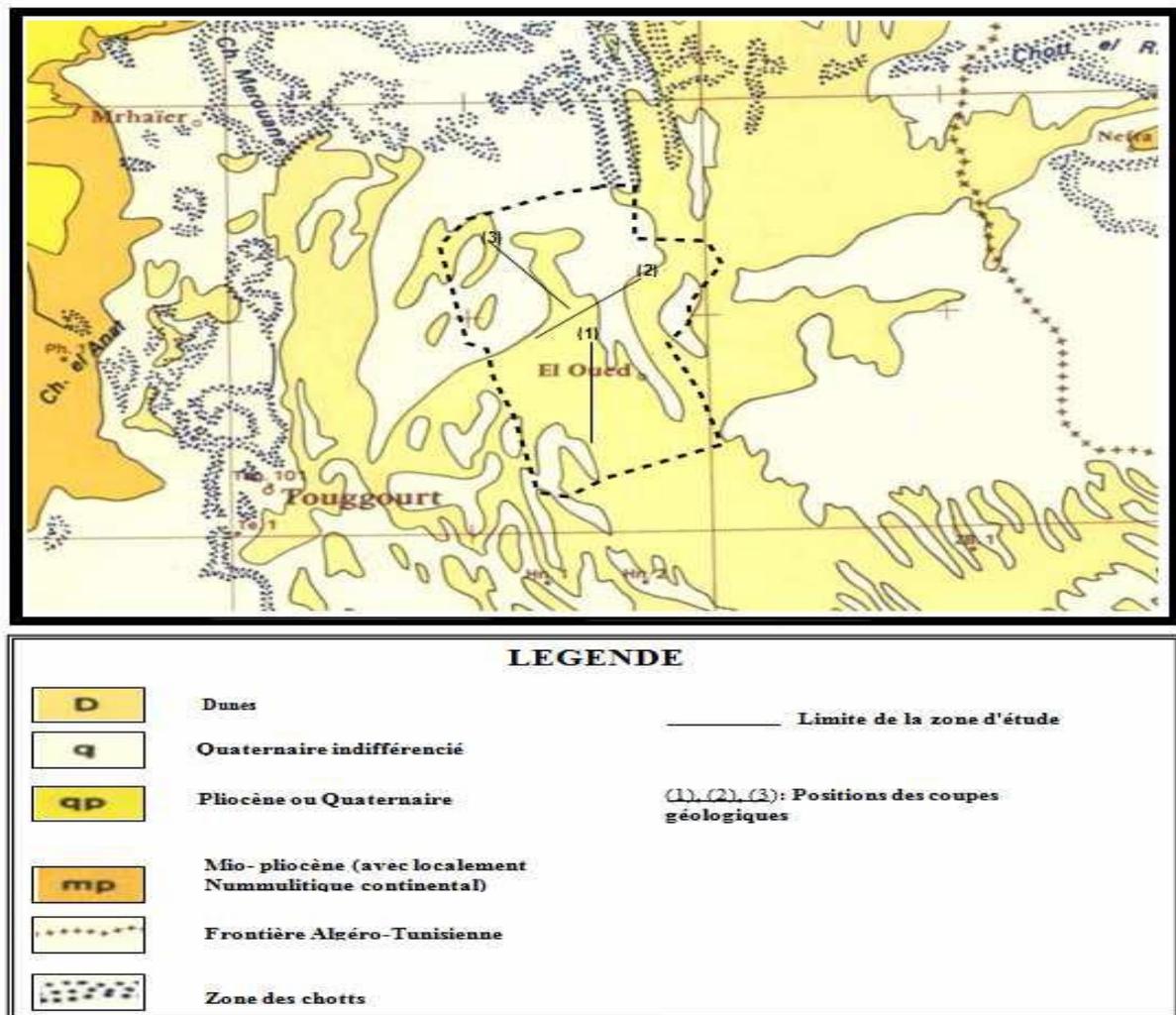


Fig. 12: Carte géologique de la zone d'étude (extrait d'après la carte du Sahara

Septentrional G. Busson 1970)

3.2.1 Interprétation des coupes

L'établissement des coupes a pour but, d'établir une corrélation lithologique du sous-sol, ainsi que d'identifier l'extension géographique, l'épaisseur approximative de la nappe et l'épaisseur utile des couches. Trois coupes géologiques sont établies par A.N.R.H en 1989 à partir des logs lithologiques des forages :

Coupe N° 1 : Cette coupe est faite sur la base des coupes de forages, elle est orientée du Nord vers le Sud. On remarque que l'épaisseur du Mio-Pliocène qui est constitué par des argiles, de sables et de calcaires diminue du Nord vers le Sud. Au niveau G11104, on remarque l'absence des formations quaternaires représentées par des sables ; cette lacune ne peut être expliquée que par l'effet d'une érosion, ces formations tendent à s'épaissir vers le Sud. Fig.13.

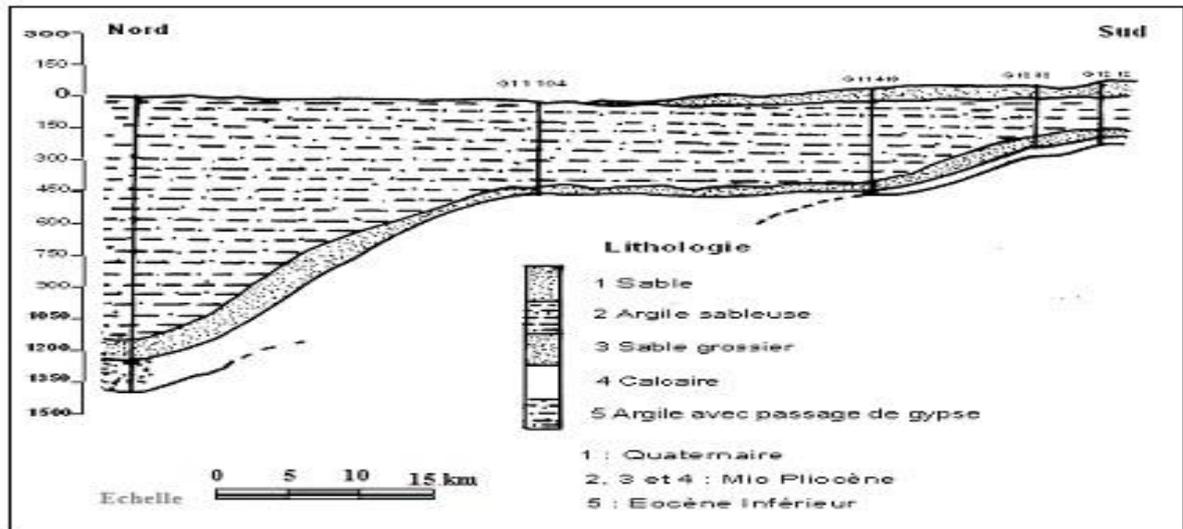


Fig. 13: Coupe géologique N° 1 (A.N.R.H, 1989)

Coupe N° 2 : La coupe N° 2 orientée NE-SW, en allant de la région dite Merzaka vers Ourmes, on remarque au niveau du forage (H1252), l'absence du Quaternaire, ceci ne peut être expliqué que par l'effet d'une érosion éolienne. Les formations mio-pliocènes sont caractérisées par une épaisseur considérable (plus de 200 m). Ce dernier dévient régulier sur tout le reste de la région, au contraire de celle de Quaternaire qui est constituée par des sables qui changent d'une région à l'autre (par exemple, au niveau du forage H11540 l'épaisseur présente presque la moitié de celle de H1284) Fig.14.

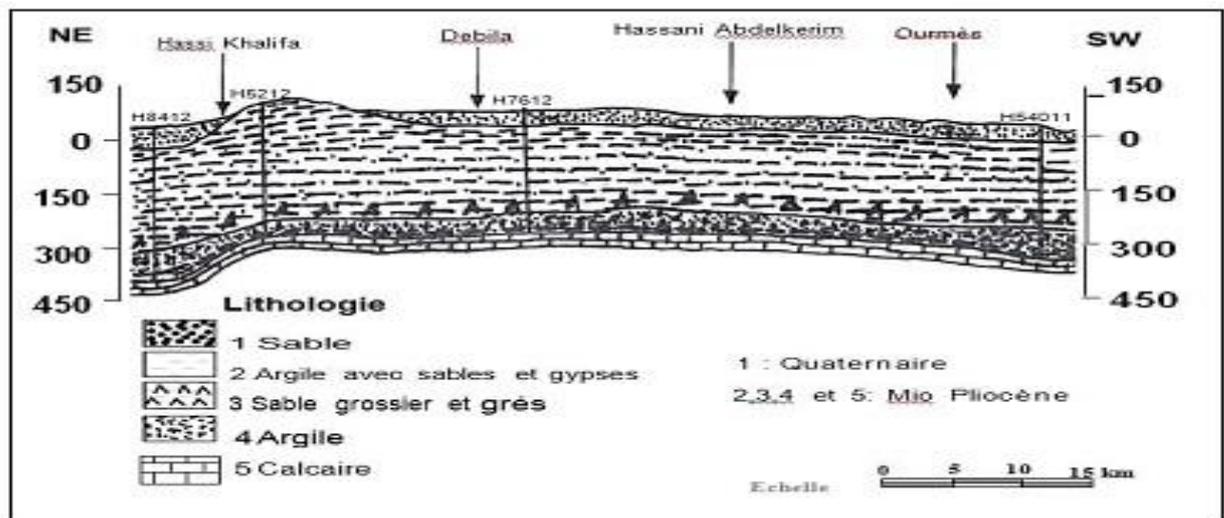


Fig.14 : Coupe géologique N° 2 (A.N.R.H, 1989)

Coupe N° 3: La coupe N° 3 est orientée du Nord-Ouest vers le Sud-Est, elle est différente des autres surtout du point de vue stratification ; cette dernière est croisée, ce qui donne naissance à des "biseautages". Cette situation est bien visible dans les quatre premiers forages. On constate que l'épaisseur des formations quaternaires, est plus importante au Nord-Ouest qu'au Sud-Est.

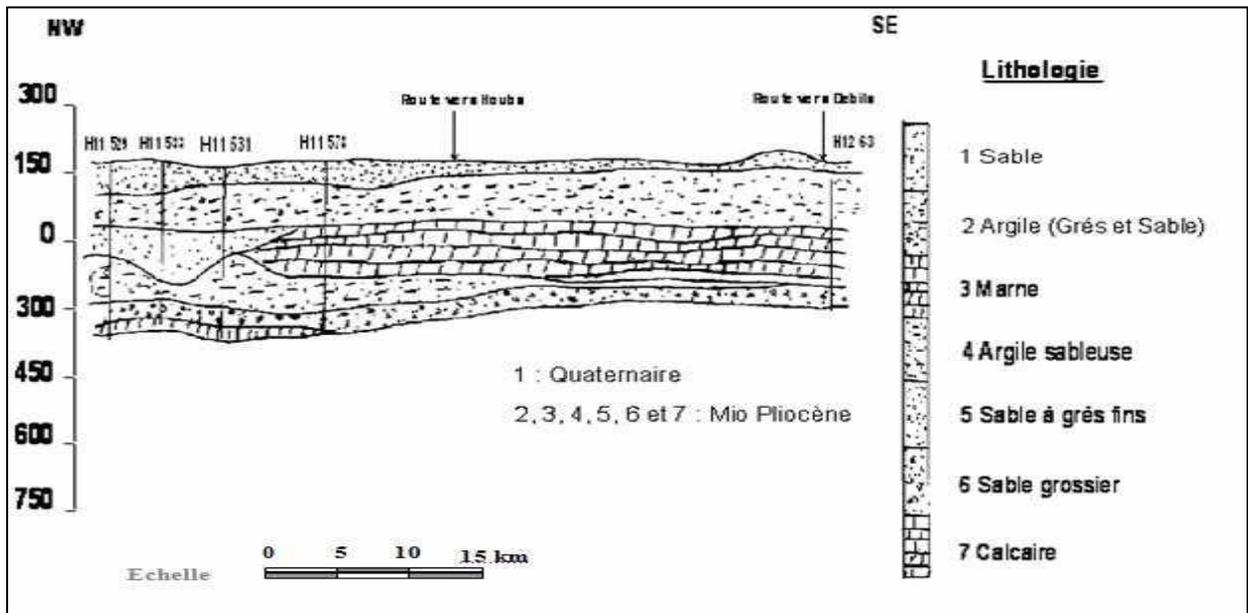


Fig.15: Coupe géologique N° 3 (A.N.R.H, 1989).

3.3. Tectonique

La zone d'étude fait partie du bassin sédimentaire du Sahara septentrional dont l'extension couvre une superficie de 780 000 km². Ce bassin, vaste zone d'épandage, constitue une importante dépression topographique, laquelle est sous-tendue par une cuvette structurale en forme de synclinal dissymétrique. La série sédimentaire est marquée, au centre de la fosse, par d'importants accidents tectoniques sub-verticaux.

Les courbes sédimentaires semblent s'épaissir du Nord d'El Oued vers le centre de cette dépression, ce qui montre que l'approfondissement suit de près la sédimentation. Donc si nous désirons retracer l'évènement paléogéographique du Souf, il faut noter qu'au cours de la jeunesse de l'immense dépression au début du Quaternaire et sous l'effet de la sédimentation, le centre de celle-ci (dépression) se déplace en fonction du temps vers le Nord tout en donnant naissance à des nouvelles dépressions correspondant actuellement à la zone des chotts, où leur naissance ne s'est effectuée qu'à la fin du Quaternaire. Ces caractéristiques ont favorisé la formation dans le Souf et dans tout le bas Sahara de plusieurs formations aquifères à comportement hydrodynamique variable en fonction de leurs faciès.

4. Conclusion

La vallée de Souf située au Sud-Est algérien, occupe une superficie de 11738 km², représente 18 communes administratives et englobe une population de 523 656 habitants. Le relief d'El-oued est caractérisé par trois principales formes : une région sableuse, une forme de plateau rocheux, et une zone de dépression.

Le climat de la région est de type saharien, caractérisé par un été chaud, sec et un hiver doux, la température moyenne interannuelle est de l'ordre de 27,4°C. Les précipitations moyennes interannuelles sont de l'ordre de 71.16 mm. Le bilan hydrique est déficitaire à cause des faibles précipitations et une forte évapotranspiration.

La stratigraphie de la région est caractérisée par des séries sédimentaires allant de Crétacé inférieur jusqu'aux dépôts de Quaternaire.

La géologie d'El-Oued est masquée par une épaisse couche de terrains quaternaires. La description a été effectuée grâce à l'interprétation des logs stratigraphiques des forages d'eau. La stratigraphie de la région est caractérisée par des séries sédimentaires allant de Crétacé inférieur jusqu'aux Quaternaire, elle est représentée par des formations détritiques et évaporitiques pour le Quaternaire, détritiques, évaporitiques et carbonatées pour le Tertiaire et le Crétacé supérieur.

Chapitre-II

Hydrogéologie

1. Présentation des nappes aquifères de la région d'étude

Du point de vue hydrogéologique, la région d'El Oued est représentée par deux systèmes aquifères, à savoir : le Complexe Terminal et le Continental Intercalaire. Ces deux systèmes sont surmontés par une nappe libre appelée nappe phréatique.

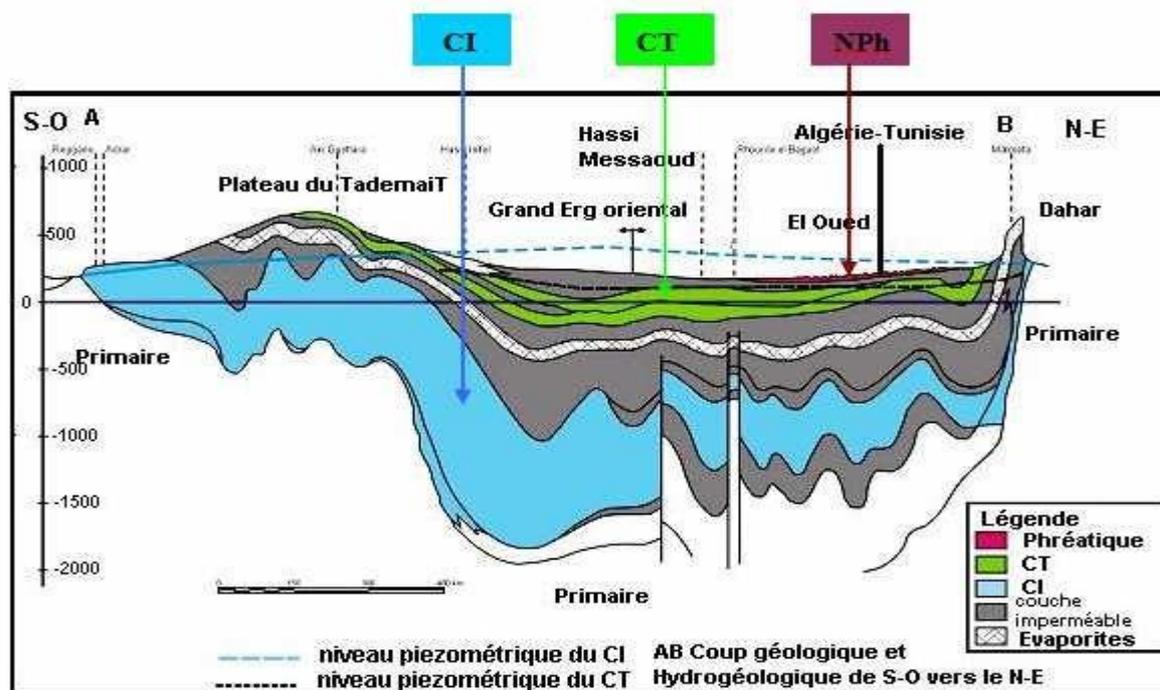


Fig.16. Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO, 1972)

1.1. Nappe phréatique

La nappe phréatique présente dans toute la région du Souf, correspond essentiellement à la partie supérieure des formations continentales déposées à la fin du Quaternaire ; elle se localise à des profondeurs variant entre 00 et 60 mètres.

Vu sur son importance, cette nappe représente la source principale en eau des palmeraies; elle est surtout exploitée par des puits traditionnels qui selon les enquêtes sont en nombre de 31 000 puits autorisés.

La circulation des eaux dans cette nappe est relativement rapide sur toute la région du Souf et particulièrement dans les zones caractérisées par l'existence de lentilles argileuses qui influent sur la perméabilité des sables. Excepté la région des Chotts, la nappe libre est présente sur toute la zone d'étude.

La nappe phréatique dans la région du Souf est principalement alimentée par les eaux utilisées par les populations (les eaux d'irrigation, industrielles et domestiques) et la source absolue de ces derniers est des nappes profondes du Complexe Terminale et Continentale Intercalaire (Marc Cote, 1998).

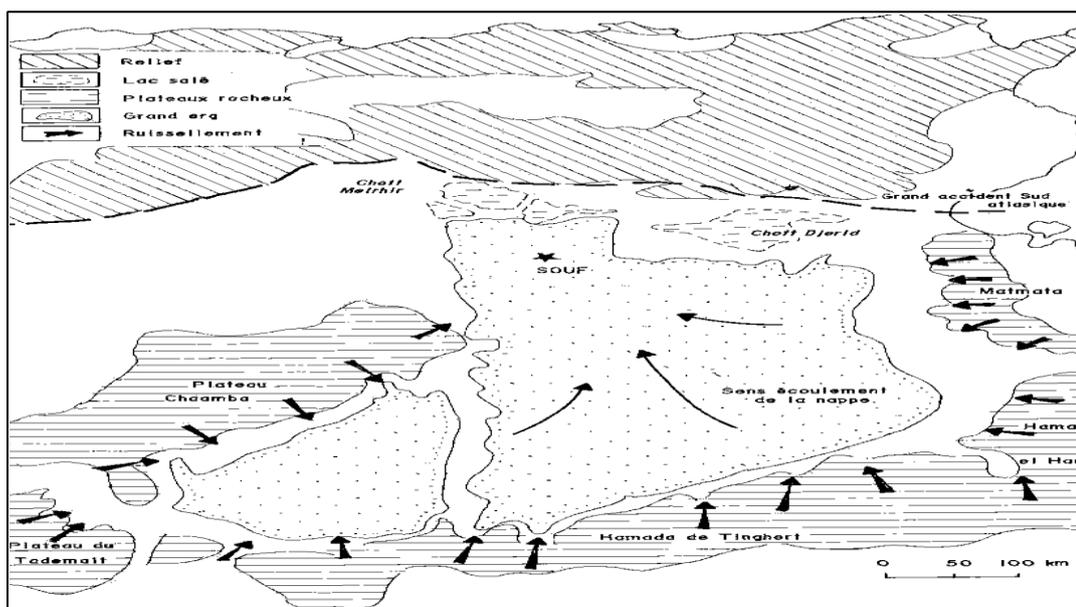
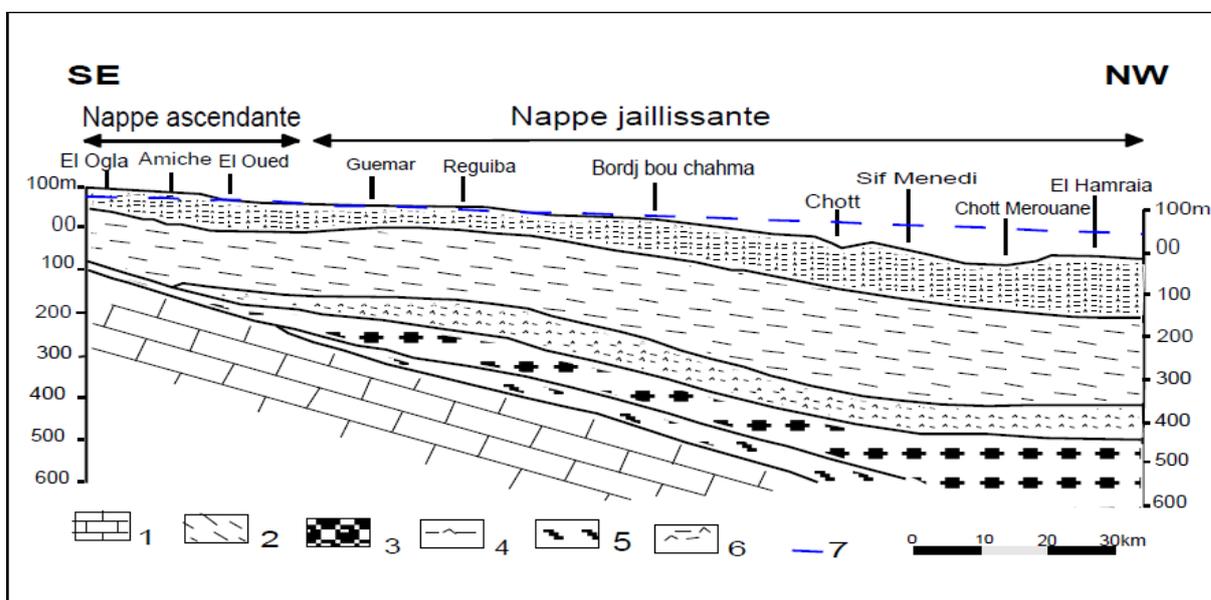


Fig.17. Zone d'alimentation de la nappe phréatique et le sens d'écoulement De la nappe (Cote Marc, 2006)

1.2. Nappe du Complexe Terminal (CT)

Ce terme regroupe sous une même dénomination, un ensemble de nappes aquifères qui sont situés dans la formation géologique différentes : Sénonien carbonaté, Eocène et Mio-pliocène sableux. D'après CORNET 1964, nous rappelons l'existence des 03 nappes dont les deux premières correspondent respectivement aux nappes de sables d'âge Miocène (Pontien) et Pliocène, alors que la dernière à l'Eocène inférieur.



1- calcaire de l'Eocène inférieur marin et de l'Eocène moyen évaporitique. 2- Argiles sableuses et marnes de la base du continental terminal. 3- Sable grossiers à graviers du Pontien inférieur. 4- Argiles et gypse dominants. 5- Argiles et sable dominants. 6- Argile sable et gypse (les trois derniers étages appartiennent au Mio-Pliocène supérieur). 7- Niveau hydrostatique de la nappe du Pontien inférieur.

Fig.18. Coupe hydrogéologique de l'El-Oued

1.2.1. Nappes des sables : Au sein de ces niveaux sableux, vient s'engendrer deux nappes captives, dont la première correspond à la formation supérieure du Complexe Terminal appelée communément réservoir du « Sub-Souf ». Cette nappe constituée de sables grossiers et faisant partie du Complexe Terminal mène progressivement vers le Nord du Sahara en direction de la fosse Sud artésienne, dans la région d'étude elle se trouve à 280 mètres de profondeur.

Il faut mentionner également l'existence d'une deuxième nappe de sables d'âge Pontien. Au-dessus des bancs supérieurs de la nappe des calcaires en contact avec les marnes de l'Eocène inférieurs et des graviers siliceux constituant donc une deuxième nappe captive en continuité avec la nappe du Pontien du Sud Tunisien, la profondeur de cette nappe varie entre 400 et 450 mètres. Quant à l'épaisseur utile de cette nappe, elle est de 50 mètres environ. L'écoulement des eaux dans ces deux dernières nappes se fait du Sud-Ouest vers le Nord-Est, autrement dit vers la zone des chotts (Melghir et Merouane).

Dans la zone à fortes exploitations telle que la ville d'El-Oued, l'extraction des eaux se fait par pompage. Par contre dans les régions où l'exploitation est moindre à Taleb Laarbi et Douar El Maa, la nappe est exploitée à ce jour artisanalement. C'est le cas de la nappe Pontien.

1.2.2. Les nappes de calcaires : Le Complexe Terminal possède une litho-stratigraphie plus complexe ; les forages captant cette nappe nous montrent l'existence de deux niveaux servant de repère pour la classification des eaux souterraines ; du Sud au Nord, nous observons l'existence d'un premier niveau calcaire mieux individualisé, parfois il est purement calcaire, quelque fois il est formé par des calcaires gypseux. Il correspond au niveau inférieur. Le niveau supérieur, principalement représenté par des calcaires siliceux, est considéré comme une zone de transition entre la nappe des calcaires et celle des sables. Dans l'ensemble, ces deux niveaux sont séparés par des formations tantôt marneuses, tantôt sableuses avec des passées d'argile rouge.

L'écoulement des eaux de la nappe du CT (Fig.19) s'oriente vers les chotts du Sahara Oriental; Melghir et Merouane en Algérie, Rharsa et Djerid en Tunisie. Alors que dans le bassin occidental les eaux de la nappe se mélangent avec celles du Continental Intercalaire

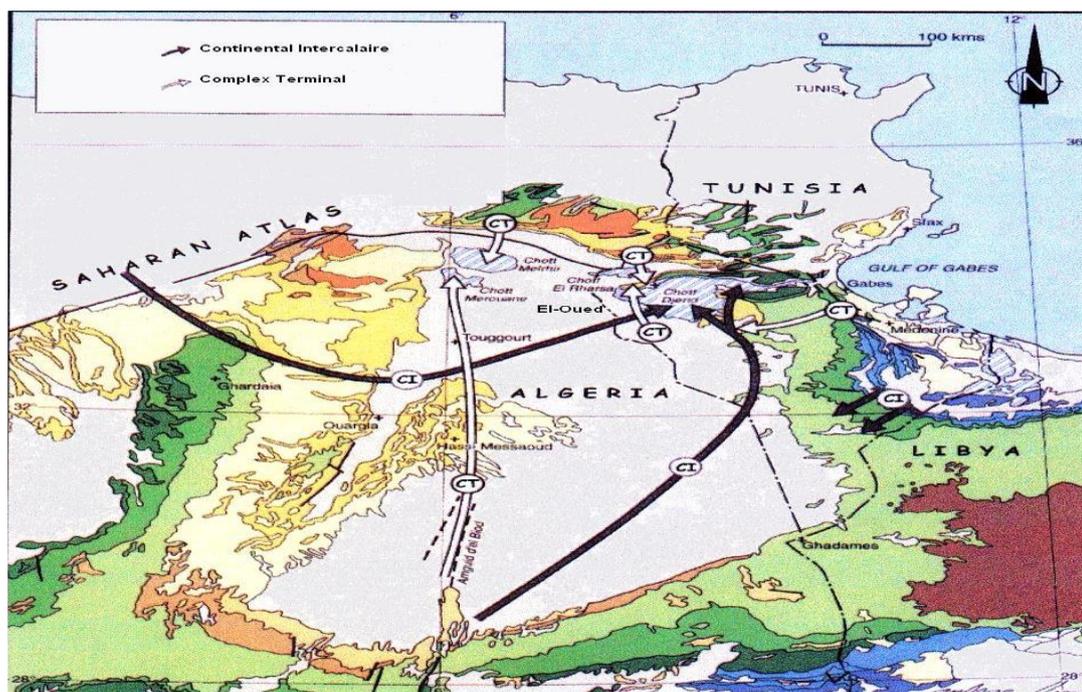


Fig.19. Le sens d'écoulement des aquifères CT et CI(UNESCO, 1972)

1.3 Nappe du Continental Intercalaire (CI)

Le terme « C.I » correspond ainsi aux formations continentales du Crétacé inférieur cette période se situe entre deux cycles sédimentaires régit par une régression marine suivit d'une transgression du Crétacé supérieur. Il occupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base Trias et le sommet de l'Albien.

Le traitement manquant du réservoir aquifère du Continental Intercalaire est son volume considérable dû à la fois à son extension sur plus de 600 000 Km² et son épaisseur moyenne de plusieurs centaines de mètres. Bien que l'intérêt majeur de ce système Aquifère soit constitué par les grandes quantités d'eaux qui ont été stockées au cours des périodes pluvieuses du Quaternaire et qui peuvent maintenant être exploitées ; il reçoit encore de nos jours une alimentation naturelle par les eaux météoriques et présente donc un fonctionnement hydraulique caractérisé par une alimentation, un écoulement et une série d'exutoire.

Baba SY et al. (2006) met en évidence les zones d'alimentation qui sont :

1. piémont sud atlasique au Nord-Ouest,
2. Tinrhert au Sud
3. Dahar à l'Est
4. JebelNafusa au Nord-est,
5. JebelHassawna au Sud, où la nappe du Cambro-Ordovicien est drainée vers le Nord par la nappe du Continental Intercalaire.

L'exutoire naturel principal de l'aquifère est situé en Tunisie. Il consiste en des remontées verticales par failles dans la zone du Chott Fedjaj et grâce à un écoulement vers la nappe de la

Geffara tunisienne par l'intermédiaire des failles d'El Hamma et de Médenine. Les bordures occidentales et méridionales du Tademaït constituent également une zone d'exutoire naturelle importante, probablement jalonnée anciennement par des sources, dont les foggaras ont pris la relève. L'eau non captée s'évapore dans un chapelet de sebkhas qui occupent le fond des dépressions du Gourara, du Touat et du Tidikelt. Par ailleurs, des transferts verticaux à partir du Continental Intercalaire vers le Complexe Terminal existent peut-être à la faveur des fractures qui jalonnent en Amguid-El Biod. Sur le reste du domaine, mis à part la zone de communication possible avec le Complexe Terminal sur le Grand Erg Occidental, le toit de la formation, constitué d'une épaisse couche d'argile et d'anhydrite, est parfaitement imperméable et isole complètement les deux réservoirs. L'exploitation du Continental Intercalaire s'est d'abord effectuée, depuis de longs siècles des exutoires artificiels, par le système traditionnel des foggaras, introduit sur la bordure du plateau du Tademaït dès le Xe siècle (UNESCO, 1972a ;BRL-BNEDER, 1992). La formation du Continental Intercalaire est représentée par des dépôts continentaux sablo- gréseux et sablo-argileux du Crétacé Inférieur. C'est un système aquifère multicouches dont la profondeur atteint localement 2000 mètres et dont la puissance varie entre 200 et 400 m. Elle est exploitée par trois forages artésiens. La commune d'El-Oued exploite cet aquifère par deux forages artésiens pour l'AEP d'un débit cumulé de 340 l/s et une température avoisinant les 70°C.

2. Estimation des réserves

Les études hydrogéologiques montrent que le Sahara renferme d'énormes réserves d'eaux souterraines, constituée par des grès de porosité 25%, le bassin considéré ayant 600 000 Km² (en Algérie), l'étude UNESCO (1972) évalue approximativement la réserve d'eau moyenne de l'ensemble des aquifères du CI et du CT à 60000 ×10⁹ m³. MARGAT (1992), sans détail précis sur la méthode de calcul, fait état de 40000 ×10⁹ m³ de réserves aquifères du CI. Il évalue la réserve du CT (couvrant 350 000 Km²) à 20 000 ×10⁹ m³.

Nous tentons, ici, d'évaluer la ressource dans les aquifères du Sahara septentrional au-dessous de la région du Souf. Les réserves totales contenues dans le réservoir représentent le volume total des formations aquifères, auquel est appliquée la porosité efficace (OSS 2002).

Tab.13. Épaisseur moyenne des différents aquifères et estimation de la réserve

Aquifère	Nappe phréatique	CT	CI
Épaisseur mouillée	45m	342m	385m
Superficies (m ²)	11738 km ² = 11738000000m ²		
porosité efficace (ne)	12.49×10 ⁻²	5×10 ⁻²	5×10 ⁻²
Réserves en (m ³)	65.97×10 ⁹ m ³	200×10 ⁹ m ³	226×10 ⁹ m ³

L'estimation des réserves, des aquifères de la nappe phréatique, du CT et du CI est rendue possible après la connaissance de l'épaisseur moyen de chaque aquifère. Le volume utile ou la réserve est calculée par la formule : $V = e \times s \times ne$

Où **e** : épaisseur moyen ; **s** : la superficie **ne** : la porosité efficace

D'après les études faites par l'ANRH pour mieux connaître les aquifères du Sahara septentrional, ces études nous a permis d'avoir une estimation de l'épaisseur moyen de chaque aquifères.

nature hydrogéol	Nappe	Nature lithologique	Sous Système		Syst	Ere	
perméable	Nappe libre	Sables, sables argileux, gypse et grés				Quaternaire (Q)	
imperm.		Argiles et Argiles sableuses					
perméable	1 ^{ère} nappe de sable	Sables	Mio-Pliocène		Néogène	Tertiaire	
semi-perm							Argiles gypseuses
perméable							2 ^{ème} nappe de sable
perméable	Nappe de calcaire	Calcaire fissuré	Inférieur	Eocène	Paléogène		
			S. Carbonaté	Sénonien			
imperm.		Evaporites et argiles	S. Lagunaire	Crétacé	Secondaire		
		Marne, dolomie, calcaire	Turonien				
		Argiles et marne	Cénomanién				
		Calcaire dolomitique	Vraconien				
perméable	Continente intercalaire (CI)	Sables et grés	Albien				
		Calcaire et marne	Aptien				
		Calcaire et sable	Barrémien				

Fig.20. Récapitulatif des systèmes aquifères d'El-Oued (D'après DRH 2005).

3. Etude piézométrique de la nappe du Complexe Terminal (CT)

La mesure de niveau des eaux souterraines, est effectuée à l'aide d'une sonde électrique, dont le capteur est réactif à la conductivité de l'eau. Lorsque la sonde atteinte le niveau de l'interface air/eau, un contact électrique est établi entre deux tiges métalliques, déclenchant

un signal sonore et lumineux. D'après les mesures piézométriques faites en 2010 et 2017 par la Direction des ressources hydriques (DRH) d'EL-Oued on obtient les résultats suivants :

Tab.14 : Niveau piézométrique de la nappe du CT.

Commune	NP (m)	
	Mars 2010	Mars 2017
El-Oued	45.85	33.6
MihOuensa	67.4	59.2
Robbah	67.55	59.55
Guemar	17.6	8.1
Reguiba	40.2	28.9
Hassani A. Karim	40.8	28.75
Debila	23.95	12.2
HassiKhalifa	22.9	8.9
Kouinine	36.8	21

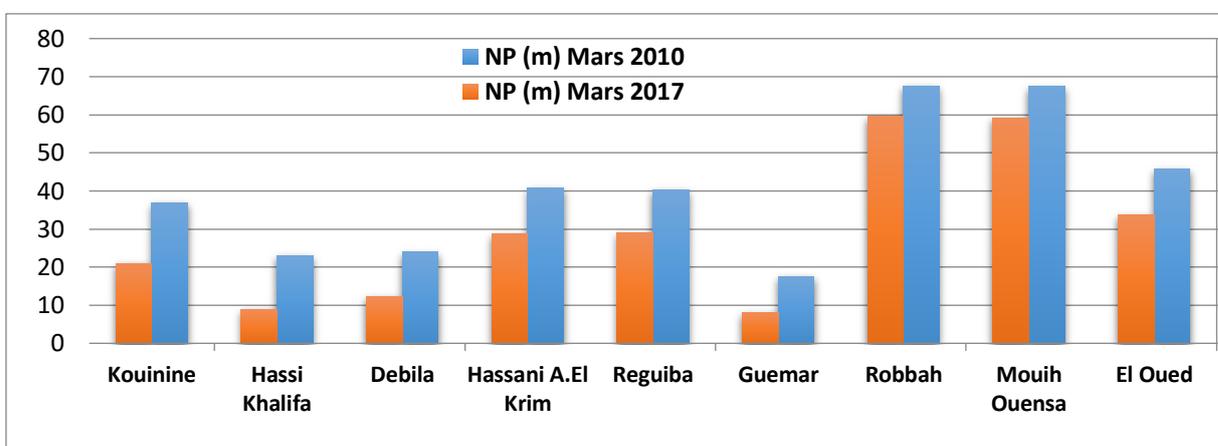


Fig. 21. Variation des niveaux piézométriques de la nappe CT entre 2010 et 2017

3.1. Interprétation

Nous constatons que le niveau piézométrique a baissé pour tous les points d'eau, le niveau piézométrique de la nappe diminue entre 2010 et 2017 ceci s'explique par la sur exploitation de cette nappe.

3.1.1. Carte piézométrique Mars 2010 : Les hauts niveaux piézométriques de la nappe est située à Robbah 67,55m et MihOuensa qui marqué une valeur de 67.4m, une zone basse située au Nord-Ouest à Hassi Khalifa et Debila aussi Guemar où le niveau piézométrique est compris entre 21 et 25m, on remarque aussi que le niveau piézométrique dans la commune d'El-Oued environ 42m. Le sens d'écoulement des eaux est orienté suivant une direction générale S-N. On constate que la surface piézométrique n'est pas régulière.

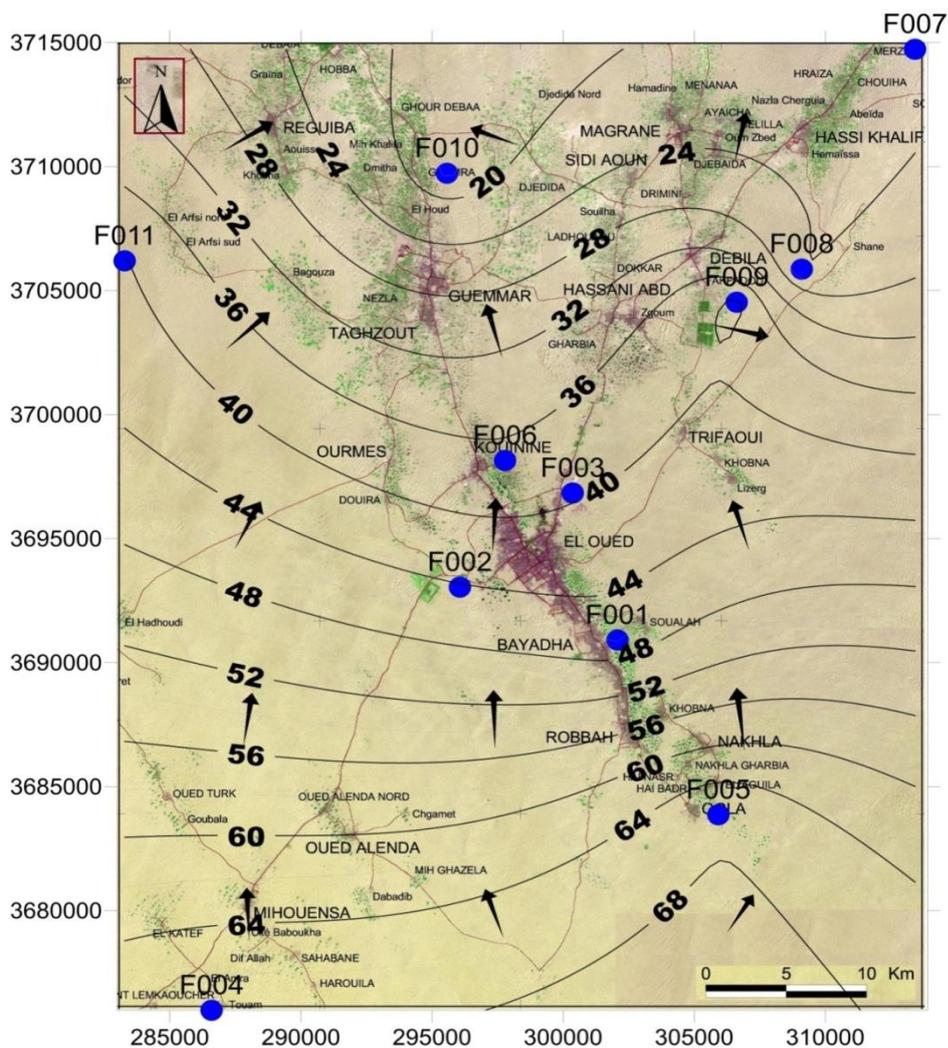


Fig. 22. Carte piézométrique de la nappe CT de la vallée du Souf en 2010.

3.1.2. Carte piézométrique Mars 2017: La carte piézométrique dressée pendant la période des basses eaux (2017) a permis de déterminer le sens d'écoulement et les cotes piézométriques dans les différentes zones de Oued Souf. Les hauts niveaux piézométriques de la nappe est située à Robbah 59,55m et MihOuensa qui marquent une valeur de 59.2m, une zone basse située au Nord-Ouest à Hassi Khalifa, Debila et Ghamra (Guemar) où le niveau piézométrique est compris entre 8 et 12m, on remarque aussi que le niveau piézométrique dans la commune d'El-Oued environ 28m. Le sens d'écoulement des eaux est orienté suivant une direction générale S-N.

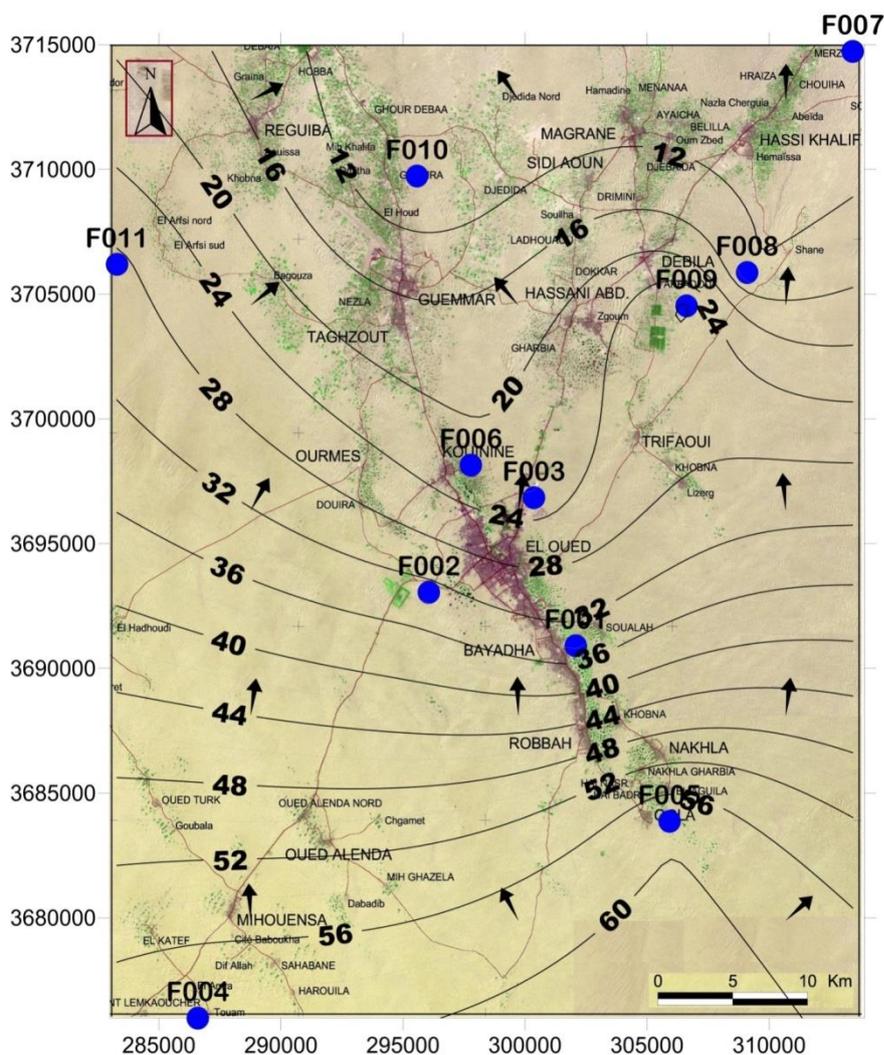


Fig. 23. Carte piézométrique de la nappe CT de la vallée du Souf en 2017

3.1.3. Carte de variation piézométrique de la nappe CT entre 2010 et 2017 : La comparaison entre la carte piézométrique (2010) et (2017), nous permet de remarquer une diminution du niveau piézométrique dans toute la zone d'étude, elle varie entre 7.5m et 17.5m. Dans la ville d'El-Oued la diminution varie entre 15m et 17.5m, ceci s'explique par la sur exploitation de cette nappe entre 2010 et 2017 dans cette zone. Cependant les autres communes, on remarque une variation de niveau piézométrique moins que la ville d'El-Oued, elle varie dans Kouinine et Trifaouie entre 14 et 15m, dans les régions de Guemar, Hassani.A.Karim, Debila et Hassi Khalifa elle est comprise entre 10m et 14m, cependant MihOuensa, Robbah et Réguiba elle varie 7.5m et 10.5m.

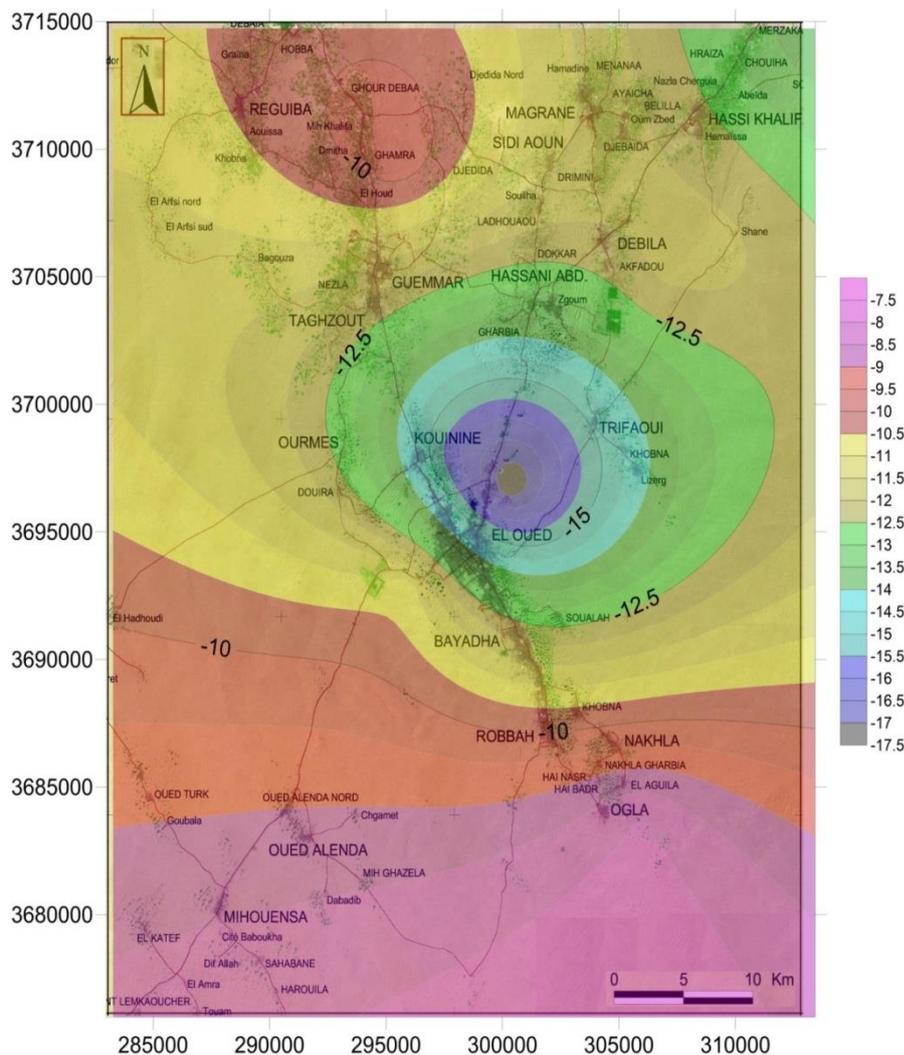


Fig.24. Carte de variation piézométrique de la nappe CT entre 2010 et 2017(en m)

4. Caractéristiques hydrodynamiques de la nappe du CT

4.1. Essai de pompage àGuemar

Ce forage de 363 m de profondeur est implanté dans la partie Nord-Ouest de la ville de Guemar à proximité de la route RN 48 entre Guemar–Réguiba Wilaya d’EL-Oued.L’essai qui a été réalisé a duré 72 heures pour la descente et avec un débit constant de 45 l/s.

Tab.15. Calcul de débit spécifique : Valeurs débits /rabattements

Palier	Niveau dynamique (m)	RabattementΔ (m)	Débit (l/s)
01	27.28	03.32	45
02	29.75	05.79	45
03	32.20	08.24	45
04	33.45	09.49	45

4.1.1. Débits spécifiques :Après l'utilisation du logiciel (Aquifer Test), le débit spécifique est déterminé à partir de ladroite débits-rabattement à un temps de 360 m (6h). Le débit spécifique est d’ordre de $4.06 \times 10^{-3} \text{m}^2/\text{s}$.

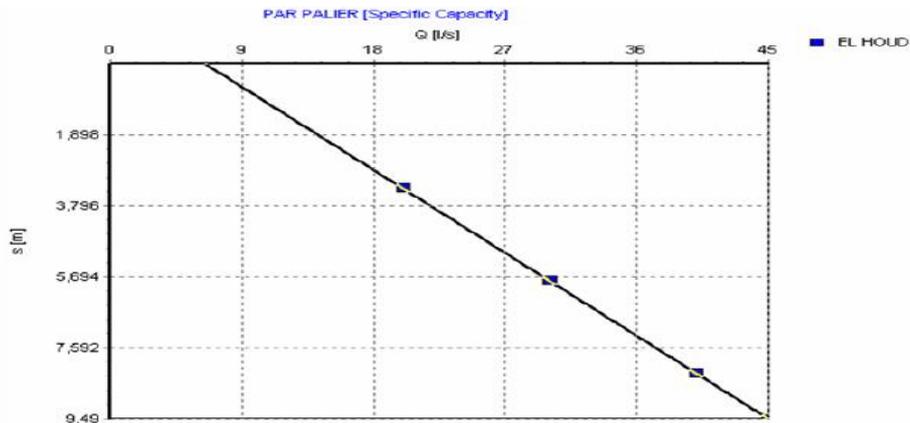


Fig.25. Courbe débit spécifique / Rabattement à Guemar(S.Khechana 2012)

4.1.2. Perméabilité : "La perméabilité est l'aptitude d'un réservoir à se laisser traverser par l'eau sous l'effet d'un gradient hydraulique (G.CASTANY). Elle est mesurée notamment par le coefficient de perméabilité K défini par la loi de Darcy comme le volume d'eau gravitaire traversant une unité de section perpendiculaire à l'écoulement en 1 seconde sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique. En prenant comme unités le m^2 et le m^3 , K est exprimé en m/s .

Le coefficient de perméabilité (K) dépend à la fois des caractéristiques du réservoir (granulométrie, porosité efficace) et des caractéristiques du fluide (viscosité, densité, température, et masse volumique). Le coefficient de perméabilité d'un sol est un coefficient important dépendant de la granulométrie du sol, la nature du sol, les caractéristiques physiques du liquide, la viscosité (eau) et le degré de consolidation du sol. D'après les calculs, le coefficient de la perméabilité K est de l'ordre de $4.73 \times 10^{-4} m/s$, alors que la transmissivité $= 3.12 \times 10^{-3} m^2/s$.

4.1.3. Calcul du coefficient d'emmagasinement : Le coefficient d'emmagasinement S est le volume d'eau libéré ou stocké par l'aquifère par unité d'aire horizontale de l'aquifère par unité de variation du gradient hydraulique. Il dépend en général des propriétés élastiques de l'eau et du milieu. Le coefficient d'emmagasinement est obtenu par calcul numérique dans le deuxième terme de l'expression de Jacob. Ou, plus simplement, avec t_0 , lorsqu'il peut être déterminé, par l'expression suivante : $S = 2.25T t_0 / r^2$

Il faut noter que ce paramètre ne peut être calculé correctement que si on a des mesures au niveau d'un piézomètre ce qui n'est pas le cas pour les présents essais

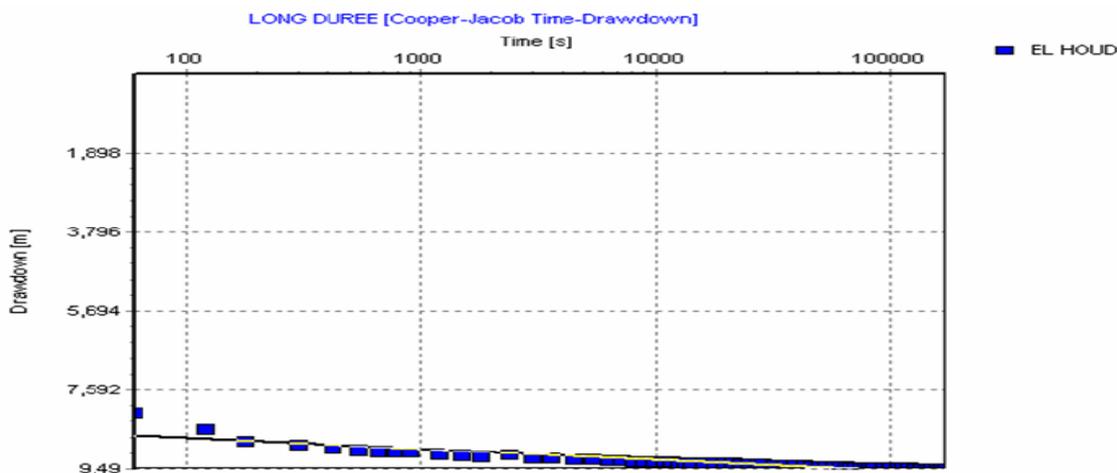


Fig.26. Essai de pompage long duré à Guemar (S.Khechana 2012)

5. Conclusion

Le système aquifère d'El-Oued est constitué de trois nappes : nappe libre (phréatique), et deux nappes captives (nappe de complexe terminal et nappe de continentale intercalaire). La nappe de complexe terminal englobe du Sénonien calcaire et du Mio-Pliocène. En effet, il est possible d'y distinguer trois corps aquifères principaux, séparés localement par des horizons semi-perméables ou imperméables. D'une manière générale la profondeur moyenne de cette nappe du CT varie entre 200 et 600 mètres. Quant à l'épaisseur utile de cette nappe, elle est de 50 mètres environ, avec une réserve estimée à $200 \times 10^9 \text{ m}^3$.

L'examen des cartes piézométriques montrent que le sens d'écoulement de la nappe du complexe terminal est en général Sud vers le Nord. L'interprétation des essais de pompage par la méthode graphique nous permet de définir les différents paramètres hydrodynamiques.

Le débit soutiré oscille entre 10 l/s à 50 l/s, Le débit spécifique est d'ordre de $4.06 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et la transmissivité moyenne de la nappe du CT est $3.12 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{set}$ la porosité efficace est estimée à 5%.

Chapitre-III

Hydrochimie

1. Introduction

L'étude de la composition chimique d'une eau est très importante dans la détermination de sa qualité, donc sa possibilité utilisée pour l'alimentation en eau potable, en agriculture et en industrie. On peut également cartographier la répartition et l'évolution temporelle et géographique des concentrations en éléments chimiques dissous.

Ce chapitre sera consacré à l'interprétation des analyses physico-chimiques d'échantillons d'eau (19 échantillons) que nous avons prélevés au niveau de la nappe complexe terminale (CT) d'El Oued Souf en mars 2017.

2. Qualité chimiques des eaux de Complexe Terminal

2.1. Qualité chimiques vis-à-vis à la potabilité

Le Tableau 16 montre la variabilité et l'ordre de grandeur des différents variables physico-chimiques caractéristiques des eaux souterraines à l'échelle de tout le secteur étudié, ainsi que les normes de potabilité des eaux de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS 2004) et les normes algériennes. La détermination de la potabilité d'une eau est faite par comparaison avec les valeurs guides des normes en question.

Tableau 16 : Variations des paramètres physico-chimiques des eaux de complexe terminal et les normes de potabilité des eaux.

Paramètre	N.ALG	N.OMS	Min	Max	Moy
Ca ⁺² (mg/l)	200	200	152	185,5	170,06
Mg ⁺² (mg/l)	150	150	159	258	197,84
Na ⁺ (mg/l)	200	200	437	580	495,34
Cl ⁻ (mg/l)	500	250	680	900	735,79
SO ₄ ⁻² (mg/l)	400	250	888	1238	1083,29
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	300	300	183	247	205,88
T(°C)	18 - 25	18 - 25	23	29	26
PH	6,5-8,5	6,5-8,5	7,94	8,52	8,22
CE(μS/cm)	2800	1000	4520	5250	4885

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

Dans cette étude, les températures des eaux souterraines observées varient de 23 °C à 29°C. Elles semblent ainsi indiquer une circulation d'eau peu profonde.

2.1.2. Potentiel d'hydrogène (pH) : Le pH est une mesure de la concentration en proton H⁺ en solution. Les valeurs de pH ont été mesurées sur terrain. Les eaux de la région d'étude montrent un pH est légèrement basique variant entre 7.5 et 8.5. Les points de mesure ne dépassent pas la norme algérienne de l'eau potable (6.5 à 8.5)

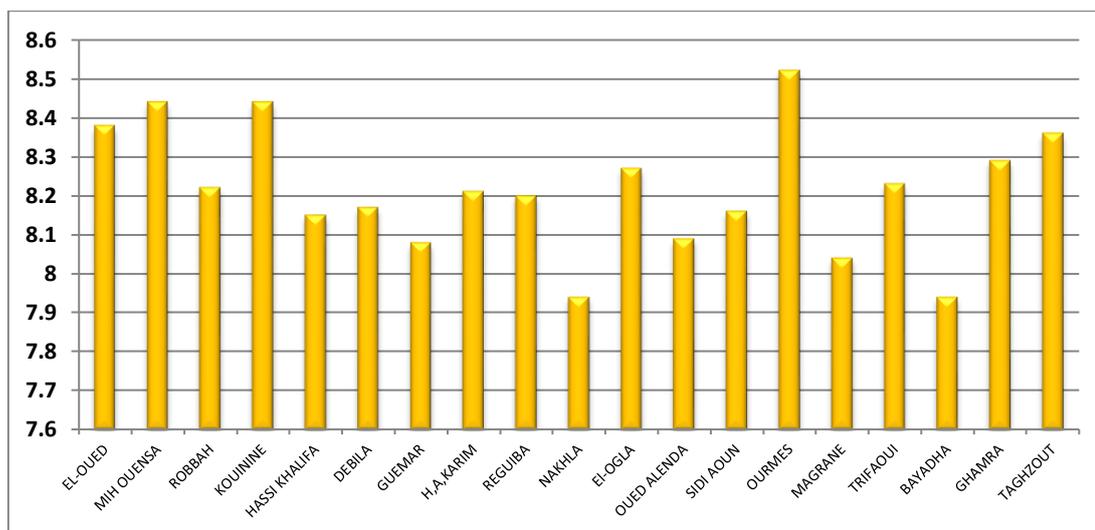


Figure.27.Histogramme des valeurs de PH dans la nappe de CT.

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

La conductivité électrique de l'eau de la nappe CT mesurée dans la zone d'étude en mars 2017 montrent des valeurs dépassant la norme algérienne de l'eau potable ($2800 \mu\text{S}.\text{Cm}^{-1}$). Elle varie entre $4620 \mu\text{S}.\text{Cm}^{-1}$ au Sud-Est de la zone d'étude à $5250 \mu\text{S}.\text{Cm}^{-1}$ au Sud-Ouest (Fig. 28). La figure montre que la conductivité électrique augmente dans le sens d'écoulement parce que les eaux sont de plus en plus chargées des sels issues de la dissolution de roches encaissantes.

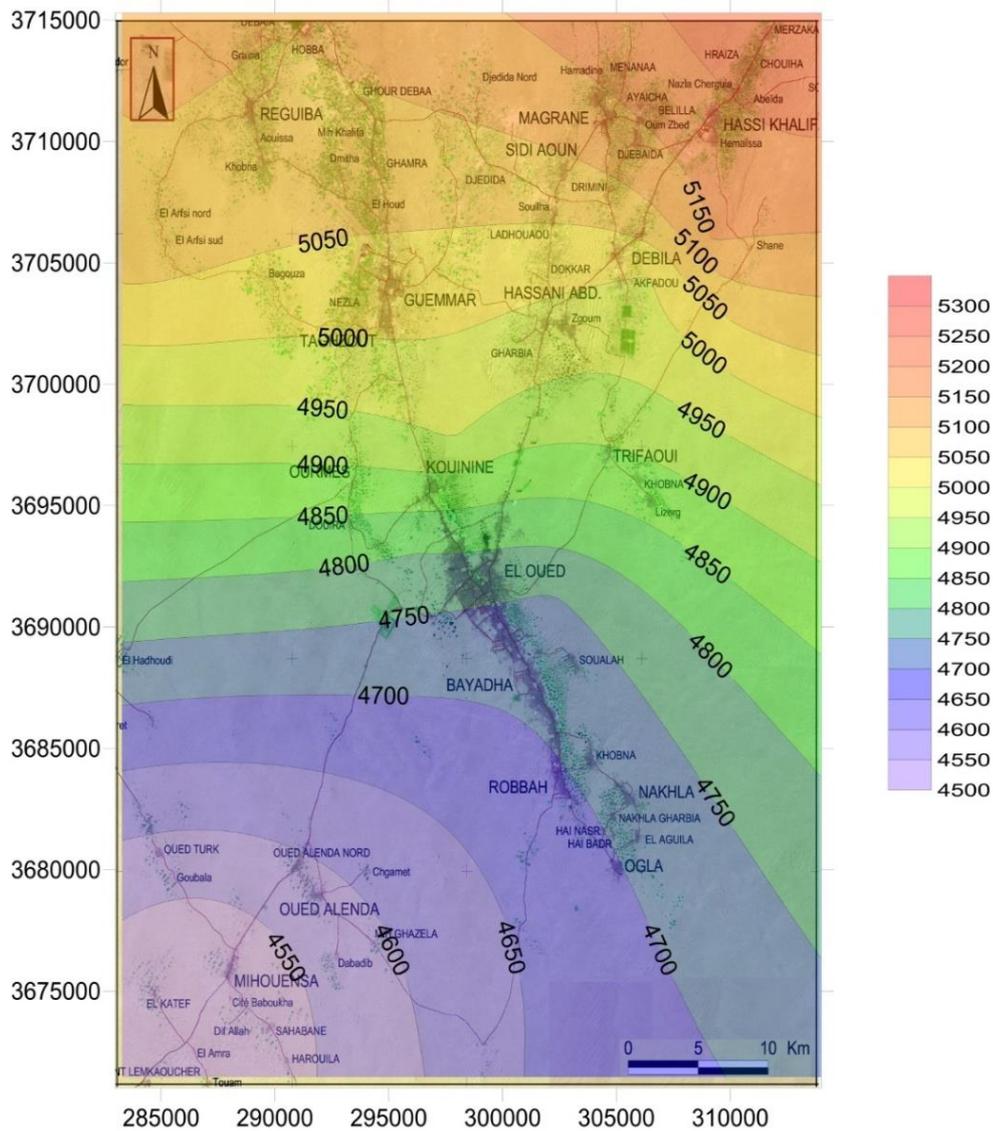


Fig.28. Carte de conductivité (en $\mu\text{S.Cm}^{-1}$) de la nappe CT de vallée Souf (2017)

2.1.4. Le Calcium (Ca^{2+}): Sa présence résulte principalement par la dissolution des formations gypsifères ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) et les formations carbonatées. L'historique du calcium (Fig.29) montre que la valeur maximale est d'ordre de 185,5 mg/l enregistrée dans la région de Kouinine, alors que les faibles teneurs sont mesurées dans les régions d'Oued Alenda et Robbah (152 et 155 mg/l). Les valeurs mesurées ne dépassant pas la norme algérienne de l'eau potable (200mg/l)

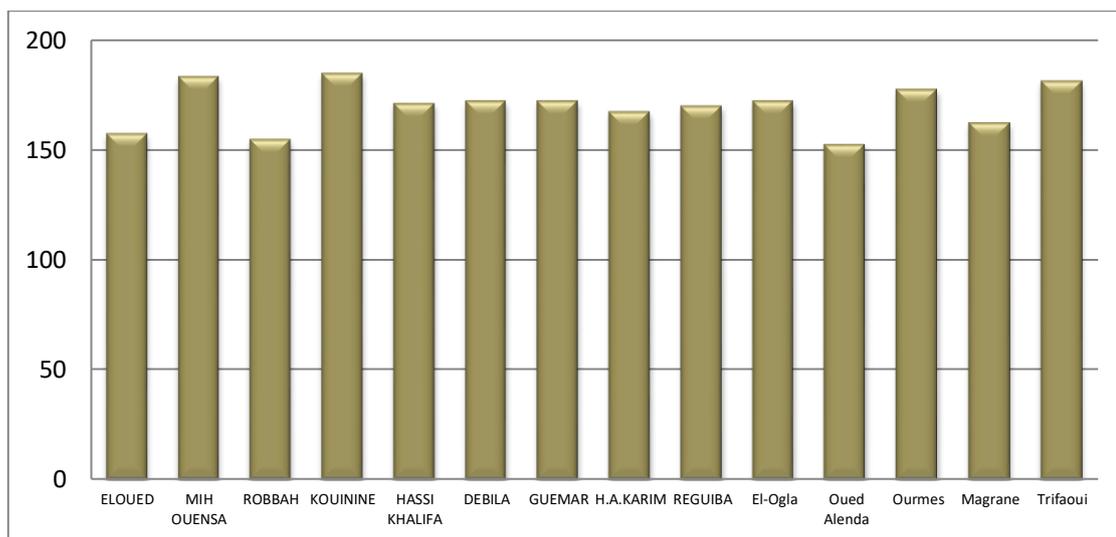


Fig.29. Histogramme des teneurs de calcium dans les eaux de CT.

2.1.5. Le Magnésium (Mg^{2+}) : Second élément intervenant dans la dureté totale des eaux, le magnésium est moins abondant que le calcium et le sodium. Le magnésium a deux origines ; la dissolution des calcaires dolomitiques qui libèrent le magnésium en présence du gaz carbonique et la dissolution du $Mg SO_4$ des terrains gypseux.

L'histogramme de la répartition du magnésium (Fig.30) montre que la teneur de magnésium la plus élevée est mesurée à Oued Alenda (258 mg/l), alors que la teneur la plus faible est mesurée à Magrane (159 mg/l). En effet, la totalité des forages de CT d'El Oued présentent des teneurs en magnésium supérieures à la norme algérienne et à la norme de l'OMS, fixées à 150 mg/l.

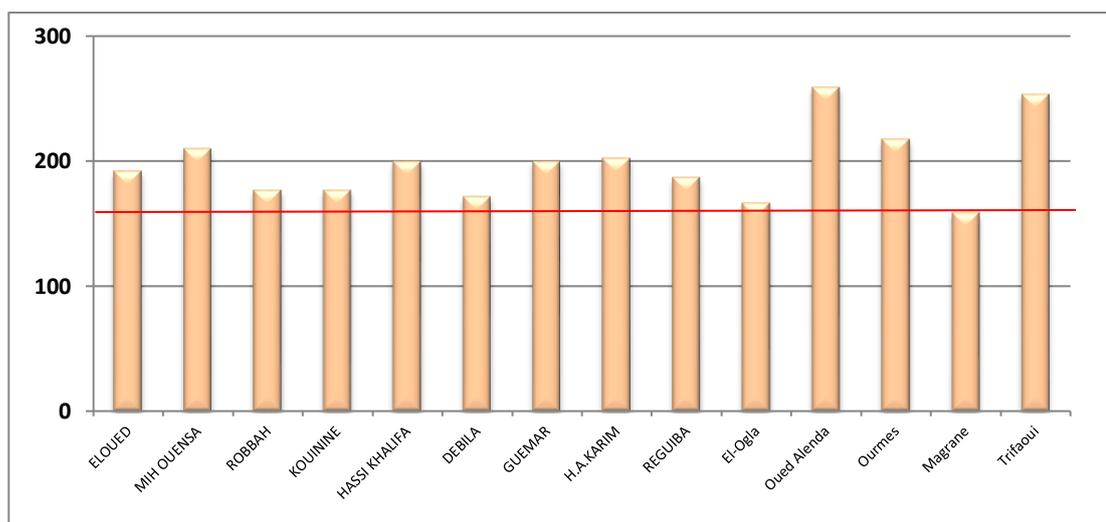


Fig.30. Histogramme des teneurs de magnésium dans les eaux de CT.

2.1.6. Le Sodium (Na^+) : Le sodium provient essentiellement de la dissolution de l'Halite, les eaux trop chargées en sodium deviennent saumâtres et prennent un goût désagréable (Rodier1984). Pour des considérations liées à des critères gustatifs, l'OMS recommande une valeur limite de 200 mg/l. Les eaux de l'aquifère complexe terminal renferment des

concentrations de sodium très élevées dépassant la norme de l'OMS et la norme algérienne de l'eau potable (200mg/l) ; la teneur maximale est de l'ordre de 580 mg/l mesurée à Mih Ouensa alors que la valeur minimale est de 437 mg/l mesurée à Robbah.

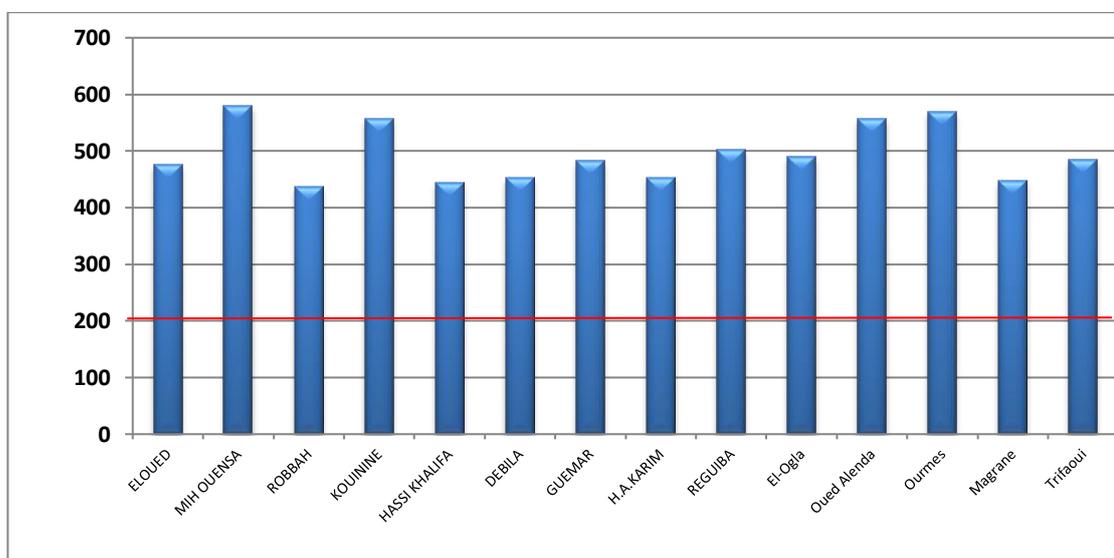


Fig.31. Histogramme des teneurs de sodium dans les eaux de CT.

2.1.7. Les Chlorures (Cl⁻) : L'examen de l'histogramme de chlorures montre que les teneurs de chlorures varient entre 680 mg/l à Magrane et 900 mg/l à Mih Ouensa. Ses valeurs mesurées dépassant largement les valeurs guides de la norme algérienne (500 mg/l) et de la norme de l'OMS (250 mg/l).

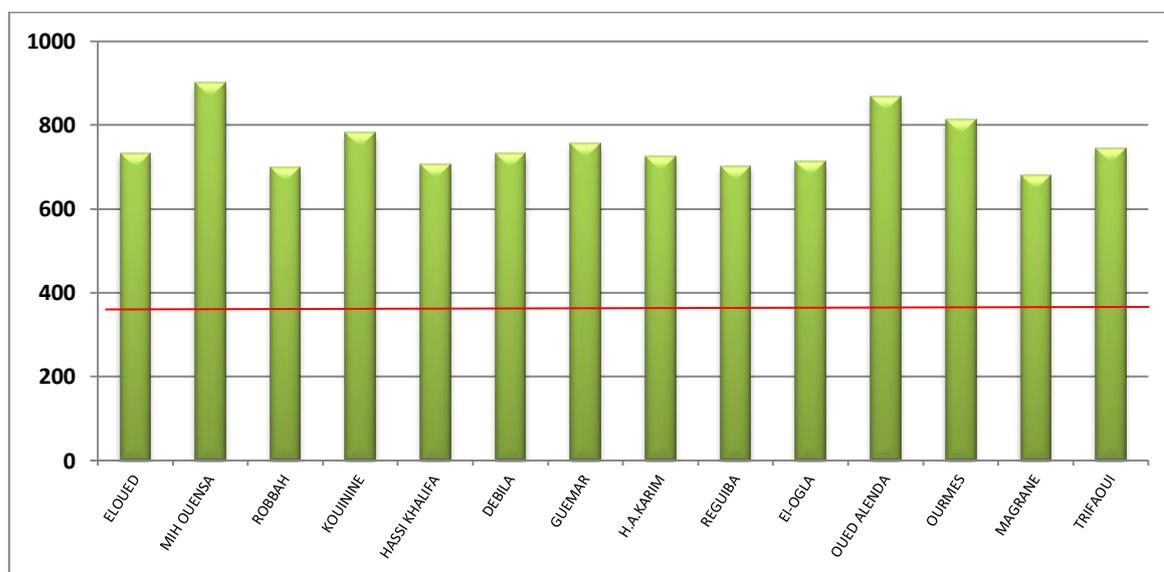


Fig.32. Histogramme des teneurs de chlorures dans les eaux de CT.

2.1.8. Les Sulfates (SO₄²⁻) : L'histogramme (Fig.33) du sulfate montre que les échantillons prélevés ont des teneurs en sulfate comprises entre 888 mg/l et 1238 mg/l. Ses valeurs mesurées dépassant largement les valeurs guides de la norme algérienne (400 mg/l)

et de la norme de l'OMS (250 mg/l). Les valeurs les plus élevées se situent à Trifaoui, par contre les valeurs faibles sont localisées au Robbah.

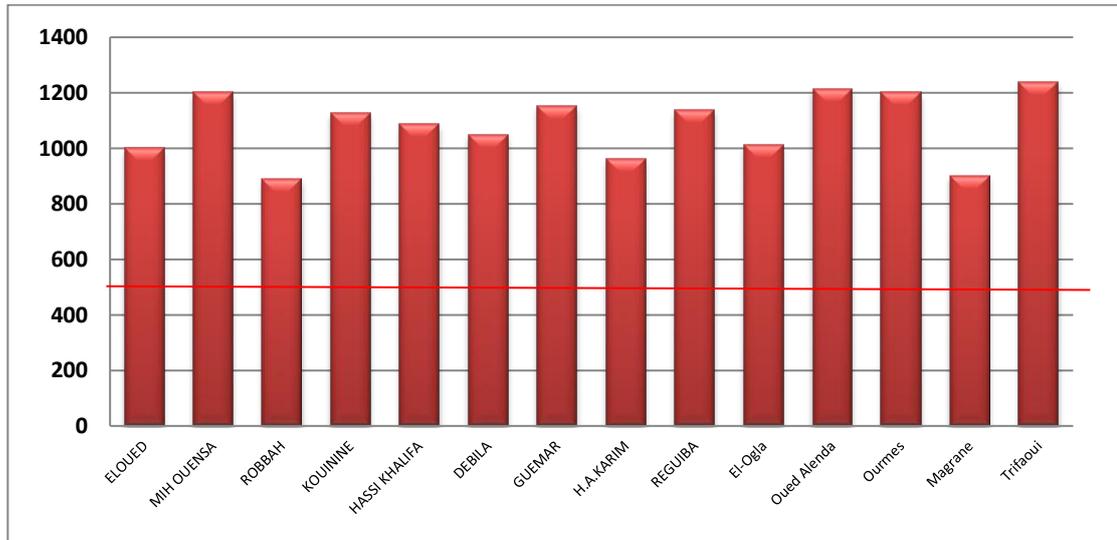


Fig.33. Histogramme des teneurs de sulfates dans les eaux de CT.

2.1.9. Les Bicarbonates (HCO_3^-) : Les bicarbonates sont le résultat de l'équilibre physicochimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique. La concentration des bicarbonates dans l'eau est en fonction des paramètres suivants :

- Température de l'eau.
- Tension du CO_2 dissous.
- Concentration de l'eau en sels et nature lithologique des terrains traversés.

D'après l'histogramme du bicarbonate (Fig. 34) on observe que les valeurs fortes sont d'ordre de 247 mg/l enregistrées dans la région de Mih Ouensa, alors que les valeurs faibles sont d'ordre de 183 et 187 mg/l mesurées au niveau de Kouinine et Ourmes. Ses valeurs mesurées ne dépassant pas les valeurs guides de la norme algérienne (300 mg/l) et de la norme de l'OMS (300 mg/l).

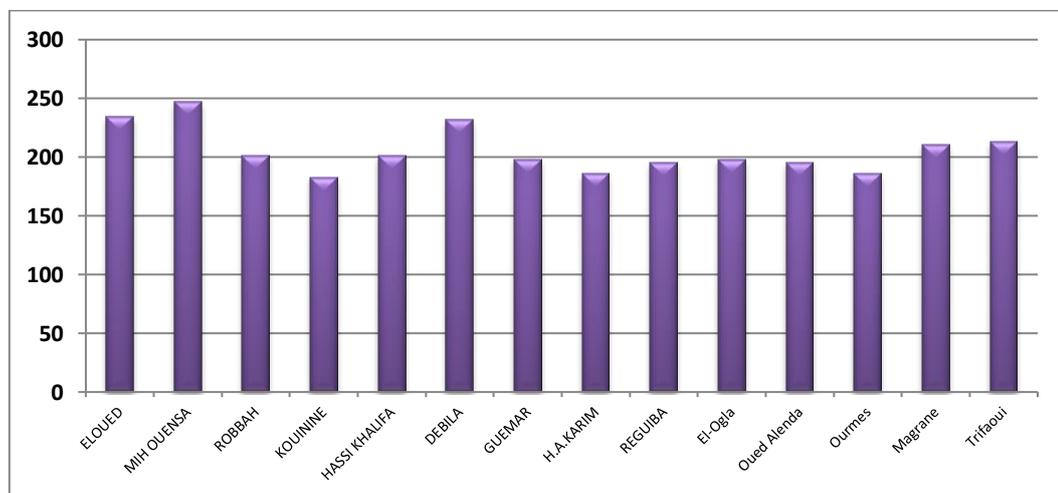


Fig.34. Histogramme des teneurs de bicarbonates dans les eaux de CT.

2.1.10. Les Nitrates (NO_3^-) : D'après carte de répartition des nitrates dans les eaux de CT d'El Oued (Fig. 35) on remarque que les concentrations de nitrate varie entre 25 et 40 mg/l. Ses teneurs mesurées ne dépassant pas les valeurs guides de la norme algérienne (50 mg/l) et de la norme de l'OMS (50 mg/l).

Les valeurs faibles sont enregistrées au nord-Ouest de la région d'étude (Debila, Hassi Khalifa), par contre augmentent vers le centre et le Sud-Est. La valeur maximum est enregistrée au niveau Mih Ouensa (40 mg/l).

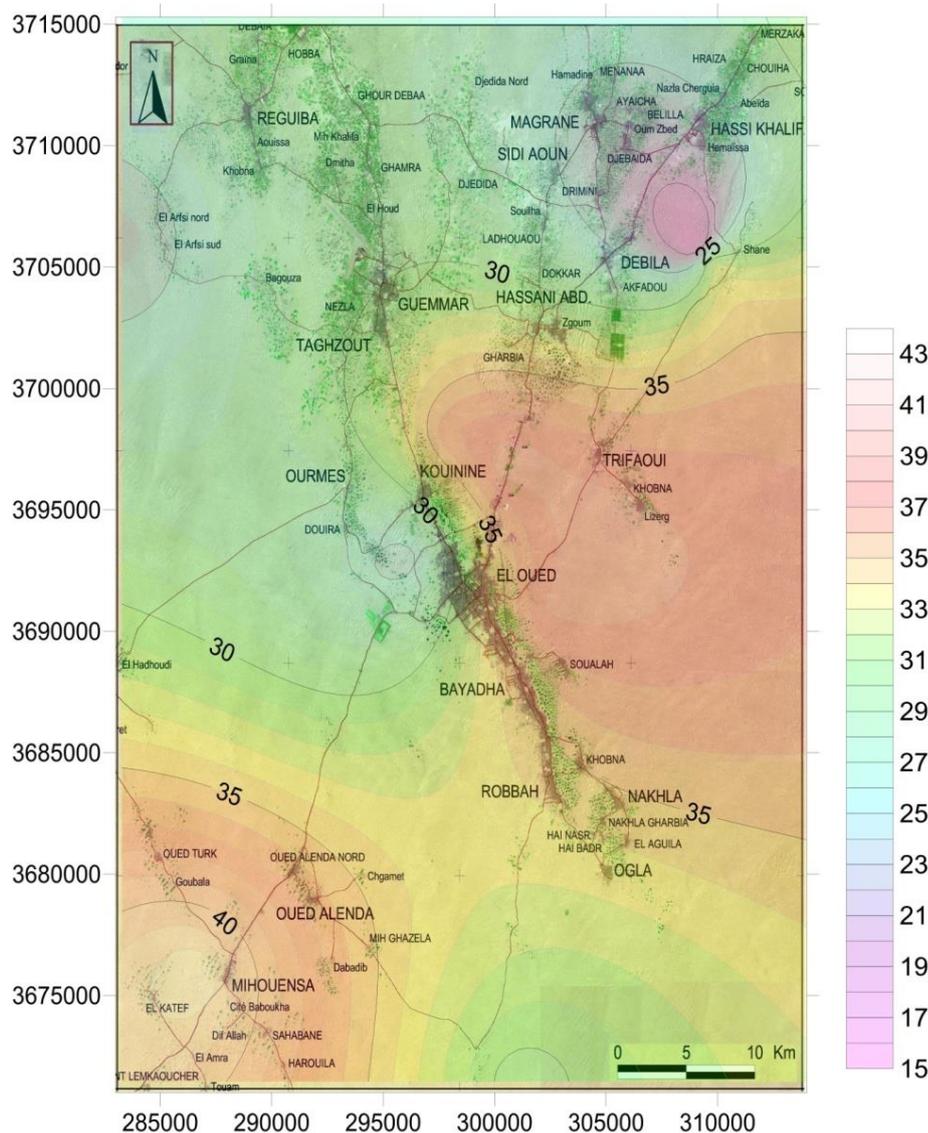


Fig.35. Carte de répartition des nitrates (en mg/l) dans les eaux de CT d'El Oued.

2.1.11. Etude de la potabilité des eaux de complexe terminal

L'étude de la qualité chimique de ces eaux montre qu'elles sont non potables, elles sont très minéralisées et présentent des teneurs en éléments majeurs (sodium, magnésium, sulfate, chlorure et calcium) dépassant les normes recommandées par l'OMS et les normes algériennes pour l'eau potable.

2.3. Aptitudes des eaux de Complexe Terminal à l'irrigation

L'abondance de sodium dans l'eau d'irrigation peut provoquer la dispersion et la destruction de la structure du sol, si la teneur en sodium est au moins trois fois supérieure à celle du calcium, dans de telles conditions, il peut devenir extrêmement difficile à satisfaire les besoins en eau de la culture. Le risque est déterminé à partir de la valeur du sodium absorbable « Sodium Absorption Ratio » (S.A.R) pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé.

Le SAR (Sodium Adsorption Ratio) : est un indice qui évalue le danger que présente l'existence d'une teneur donnée en sodium; il est calculé par l'équation :

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

La méthode de Richards (1954) est basée sur la combinaison des deux méthodes : du SAR et la conductivité électrique (Fig. 36). Le résultat de la classification de la qualité chimique des eaux de la nappe de complexe terminale d'après le diagramme de Richards, montre que les échantillons s'arrangent selon deux classes :

a. eaux médiocres (C_4S_2) : les eaux faisant partie de cette classe sont fortement chargées en sels. Elles sont susceptibles de convenir à l'irrigation des plantes tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.

b. eaux mauvaises (C_4S_3) : les eaux qui font partie de cette classe ne conviennent pas à l'irrigation, Leur utilisation pour l'irrigation doit être soumise certaines conditions: sols très perméables, bon lessivage, plantes très tolérantes au sel.

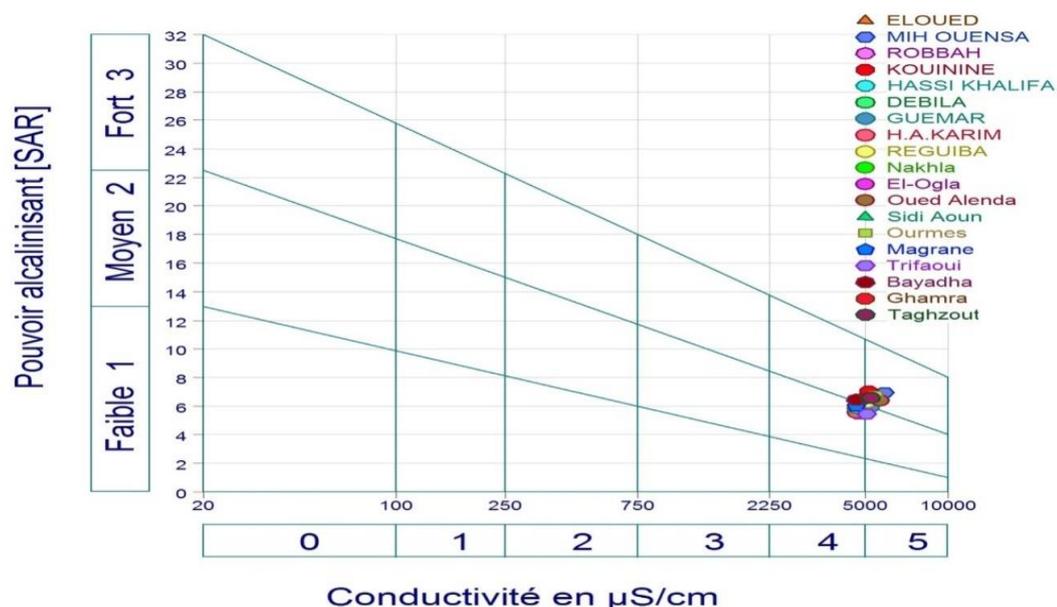


Fig.35. Diagramme de Richards des eaux du complexe terminal d'El Oued (mars 2017)

3. Etude de facies chimique des eaux de Complexe Terminal

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

Le diagramme Piper (1944) a été utilisé dans le but de caractériser l'eau de l'aquifère complexe terminal.

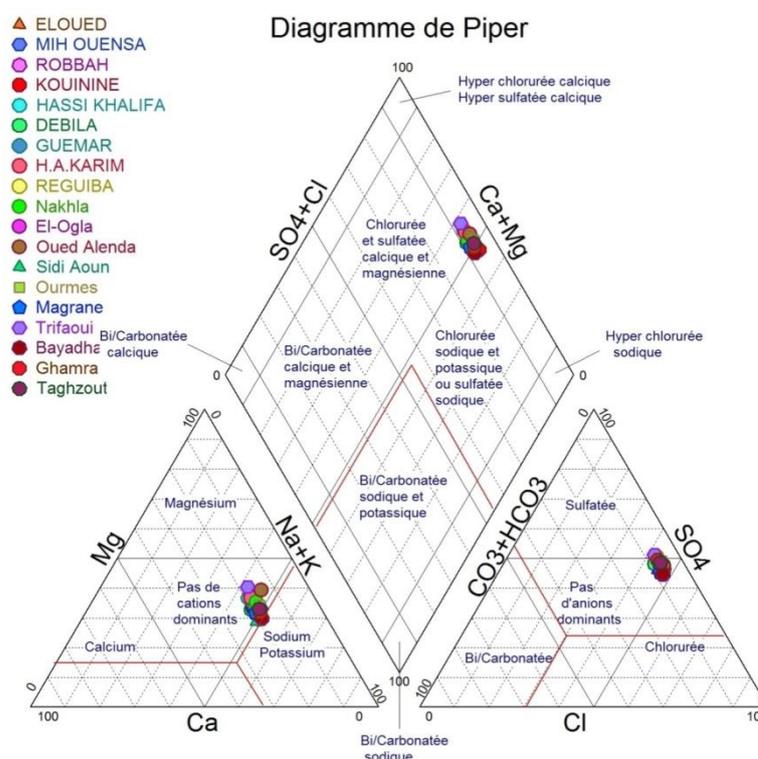


Fig.36. Diagramme de Piper

La représentation des résultats d'analyses des eaux échantillonnées montrent généralement trois facies chimiques suivants :

- sulfatée sodique représente 36.84 %
- chlorure sodique représente 26.31 %
- chlorurée calcique représente 21.05 %
- sulfatée calcique représente 15.80 %

4. L'origine de minéralisation des eaux de complexe terminal

4.1. Le couple Na⁺-Cl⁻

Le graphe (Fig. 38) montre un alignement des points, ce qui indique la même origine des deux éléments chimiques qu'est probablement la dissolution d'Halite. Cependant, quelques

points présentent un excès de sodium, d'autres un excès des chlorures. Cette relation se confirme par l'existence du faciès chloruré sodique.

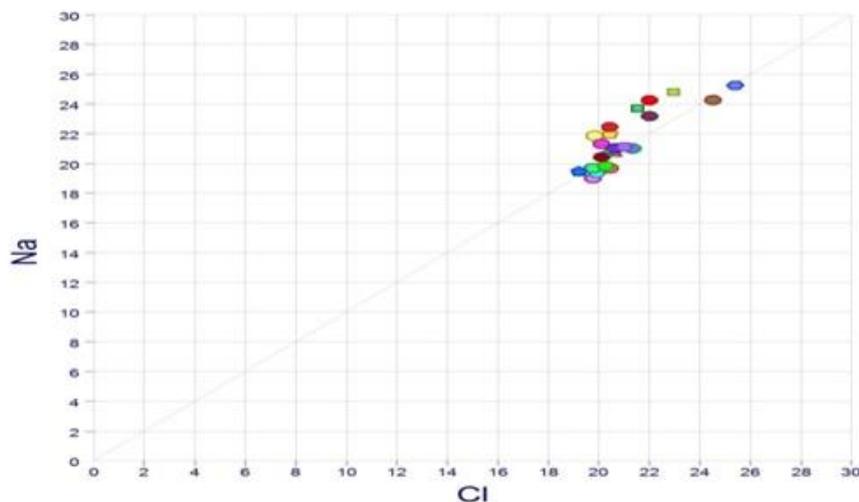


Fig.38. Le couple Na^+ et Cl^-

4.2. La relation Na^+ - SO_4^{2-}

Le graphe (Fig.39).montre une évolution proportionnelle des sulfates et du sodium, cependant le sulfate est en excès par rapport au sodium, indiquant une origine de sulfate autre que le gypse et l'anhydrite. Cette relation confirme également l'existence du faciès sulfaté sodique de 36,84% des points d'eaux analysées.

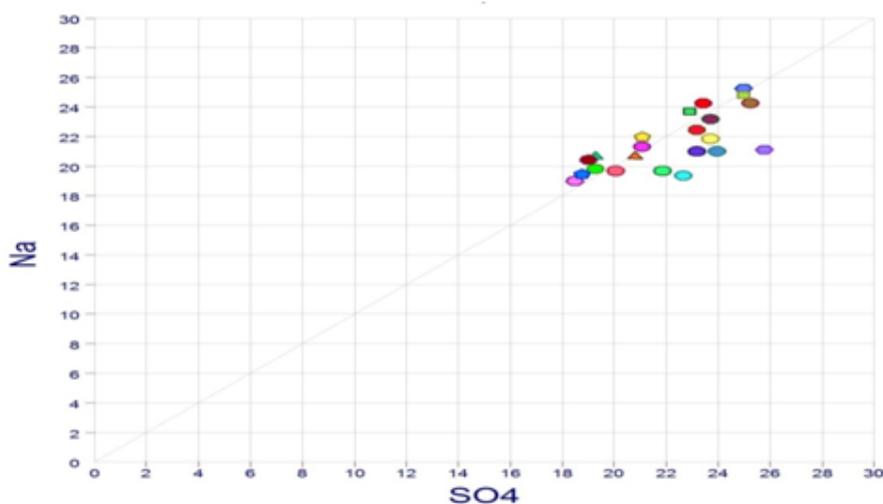


Fig.39. La relation Na^+ et SO_4^{2-}

4.3. La relation Ca^{2+} - SO_4^{2-}

L'examen de la relation entre Ca^{2+} et SO_4^{2-} montre une évolution de sulfate indépendamment de calcium (Fig. 40). Cette relation traduit un excès de sulfate (provient

d'une origine autre que le gypse et l'anhydrite). La relation ($R= 52\%$) entre ces deux éléments est confirmée par l'existence du faciès sulfaté calcique (15.80 %).

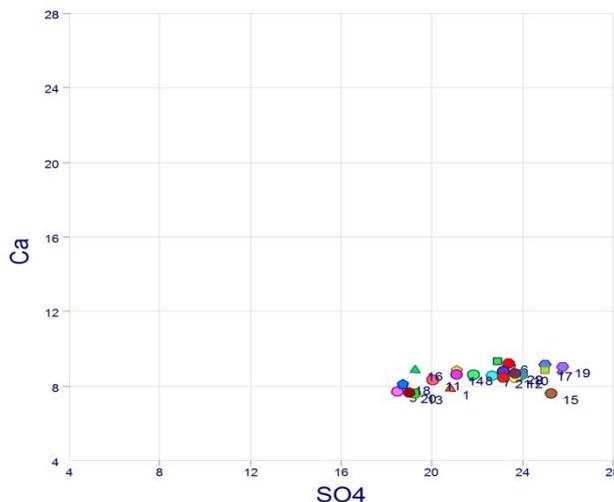


Fig.40.La relation Ca^{2+} et SO_4^{2-}

4.3. Indice d'échange de base

La projection des différents points sur le diagramme $Ca^{+2} / (HCO_3^- + SO_4^{2-})$, Na^+ / Cl^- (fig.41) montre que majorités des points d'eau subissent un échange de base et d'autres points présentent l'état naturel. D'après l'interprétation des graphiques illustrants les relations ($Na^+ - Cl^-$, $Ca^{+2} - (HCO_3^- + SO_4^{2-})$), on constate que cette augmentation des teneurs en Na^+ est due au phénomène d'échange de base. Les argiles du substratum peuvent libérer des ions Na^+ après avoir fixe le Ca^{+2} . Les fortes teneurs en sodium et en Cl^- sont attribuées à la dissolution de l'halite contenue dans les évaporites.

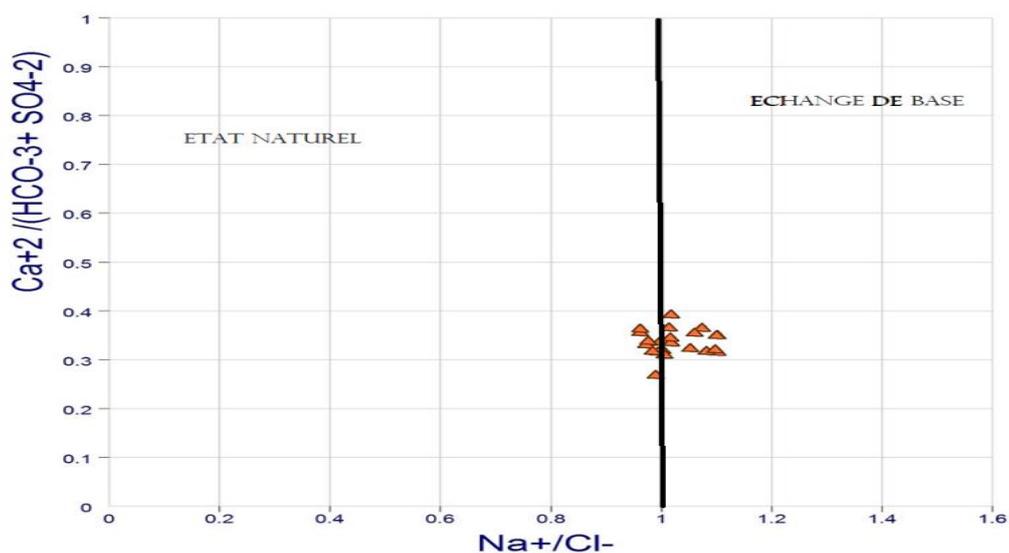


Fig.41. Indice échange de base

4.4. Indice de saturation des eaux de complexe terminal

Pour déterminer l'influence des éléments chimiques, nous avons utilisé l'outil thermodynamique par le calcul de l'indice de saturation. D'après la loi d'action de masse, pour une solution aqueuse en équilibre avec un minéral, le produit d'activité ionique (PAI) du minéral est égal à la constante d'équilibre (K_{SP}) thermodynamique. Le degré de saturation d'une eau peut être représenté par :

$$IS = \text{Log} (PAI/K_{SP})$$

Cette constante K caractérise l'équilibre établi dans un système réversible qui cesse d'évoluer (pour une température donnée). Notons que IS sera respectivement nul, positif et négatif pour une solution en équilibre avec la phase solide minérale considérée, pour une sur-saturation et pour une sous-saturation vis-à-vis des éléments ioniques concernés.

Les résultats obtenus après calcul (Tab.17) montrent que les indices de saturation sont ;positifs, indiquant une sursaturation vis-à-vis des minéraux de la calcite, la dolomite et l'aragonite, et négatifs, indiquant une sous saturation vis-à-vis des minéraux de l'anhydrite et le gypse (et même pour l'halite et le sylvite). Le graphe (Fig.40), confirme cette tendance. En effet, une éventuelle dissolution de l'anhydrite, le gypse et l'halite contribuent à l'acquisition de la minéralisation des eaux souterraines.

Tab.19. Evolution des indices de saturation des minéraux

Commune	Minéraux Carbonates			Minéraux évaporitiques	
	Calcite	Dolomite	Aragonite	Anhydrite	Gypse
ELOUED	0.77	1.55	0.61	-0.69	-0.44
ELOUED	0.85	1.52	0.68	-0.58	-0.34
ELOUED	0.77	1.4	0.61	-0.63	-0.38
MIH OUENSA	0.9	1.77	0.73	-0.58	-0.33
ROBBAH	0.57	1.12	0.41	-0.74	-0.49
KOUININE	0.73	1.29	0.56	-0.58	-0.33
HASSI	0.52	1.04	0.36	-0.63	-0.37
DEBILA	0.6	1.12	0.44	-0.63	-0.38
DEBILA	0.67	1.27	0.51	-0.6	-0.35
GUEMAR	0.44	0.86	0.27	-0.6	-0.36
H.A.KARIM	0.55	1.11	0.39	-0.68	-0.43
REGUIBA	0.5	0.91	0.33	-0.61	-0.36
NAKHLA	0.27	0.55	0.11	-0.73	-0.48
EL-OGLA	0.61	1.08	0.44	-0.64	-0.39
OUED	0.37	0.88	0.2	-0.65	-0.4
SIDI AOUN	0.55	0.92	0.38	-0.66	-0.41
OURMES	0.8	1.57	0.64	-0.58	-0.34
MAGRANE	0.41	0.72	0.25	-0.71	-0.46
TRIFAOUI	0.62	1.3	0.45	-0.57	-0.32
BAYADHA	0.27	0.44	0.11	-0.72	-0.48
GHAMRA	0.6	1.09	0.44	-0.61	-0.37
TAGHZOUT	0.68	1.3	0.52	-0.6	-0.36

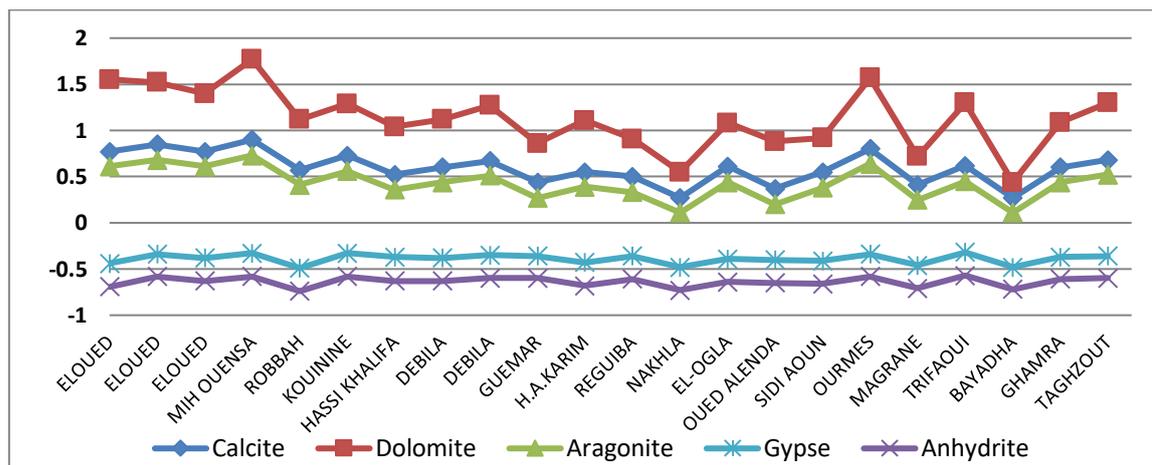


Fig.40. Variation de l'indice de saturation des minéraux dans les eaux de CT d'El Oued.

5. Conclusion

L'interprétation des analyses chimiques des eaux de l'aquifère complexe terminal montre la dominance des faciès évaporitiques (sulfaté sodique, chloruré sodique, chloruré calcique et sulfaté calcique). L'étude de la qualité chimique de ces eaux montre qu'elles sont non potables, elles sont très minéralisées et présentent des teneurs en éléments majeurs (sodium, magnésium, sulfate, chlorure et calcium) dépassant les normes recommandées par l'OMS et les normes algériennes pour l'eau potable.

Les eaux de l'aquifère de complexe terminal sont de mauvaise qualité pour l'irrigation, car leurs représentation sur le diagramme de Richards, montre qu'elles s'arrangent selon deux classes ; C_4S_2 et C_4S_3 .

L'étude des rapports caractéristiques entre les éléments majeurs ont permis de montrer que la minéralisation des eaux de l'aquifère est liée à la dissolution des évaporites (gypse et halite en particulier) et au phénomène d'échange de base.

Conclusion Générale

CONCLUSION GÉNÉRALE

La vallée d'El Oued Souf située au Sud-Est algérien, occupe une superficie de 11738 km², représente 18 communes administratives et englobe un nombre de population de 523 656 habitants. Le relief d'El-oued est caractérisé par trois principales formes : une région sableuse, une forme de plateau rocheux, et une zone de dépression. Le climat de la région est de type saharien, caractérisé par un été chaud, sec et un hiver doux, la température moyenne interannuelle est de l'ordre de 27,4°C. Les précipitations moyennes interannuelles sont de l'ordre de 71.16 mm. Le bilan hydrique est déficitaire à cause des faibles précipitations et une forte évapotranspiration.

La géologie d'El-Oued est masquée par une épaisse couche de terrains quaternaires. La description a été effectuée grâce à l'interprétation des logs stratigraphiques des forages d'eau. La stratigraphie de la région est caractérisée par des séries sédimentaires allant de Crétacé inférieur jusqu'aux Quaternaire. Le système aquifère d'El-Oued est constitué de trois nappes de haut en bas, on distingue : nappe libre (phréatique), la nappe de complexe terminal et la nappe de continentale intercalaire.

La nappe de complexe terminal englobe des assises perméables du Sénonien carbonaté au Mio-Pliocène. En effet on distingue trois aquifères, séparés localement par des horizons semi-perméables ou imperméables. D'une manière générale la profondeur moyenne de cette nappe du CT varie entre 200 et 600 mètres. Quant à l'épaisseur utile elle est de 50 mètres environ, avec une réserve estimée à $200 \times 10^9 \text{ m}^3$.

L'examen des cartes piézométriques montrent que le sens d'écoulement des eaux est de sud vers le nord. Les essais de pompage montrent que, le débit des forages oscille entre 10 l/s et 50 l/s, transmissivité moyenne est $5.26 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et la porosité efficace est 5%.

L'interprétation des analyses chimiques des eaux montre la dominance des faciès évaporitiques (sulfaté sodique, chloruré sodique, chloruré calcique et sulfaté calcique). Ces eaux sont non potables, car elles sont très minéralisées et présentent des teneurs en éléments majeurs (sodium, magnésium, sulfate, chlorure et calcium) dépassant les normes recommandées par l'OMS et les normes algériennes pour l'eau potable. Elles sont aussi de qualité médiocre à mauvaise pour l'irrigation.

L'étude des rapports caractéristiques entre les éléments majeurs ont permis de montrer que la minéralisation des eaux de l'aquifère de complexe terminal est liée à la dissolution des évaporites (gypse et halite en particulier) et au phénomène d'échange de base.

Bibliographie

Bibliographie

ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques). 1993. Etude hydrogéologique de la région d'El-Oued : contribution au problème de la remontée des eaux de la nappe phréatique. RepTech. ANRH, Ouargla, 47 pp.

ANRH .1999. Inventaire de forages et enquête sur les débits extraits de la wilaya d'El Oued. Agence nationale des ressources hydrauliques, Direction régionale Sud-est, Ouargla.

BENAOUDA Anissa, MERABET Ibtissam .2015. Rentabilité de réseau de drainage vertical : causes et solutions proposées (Cas de la ville d'El-Oued). Mémoire de Master en hydraulique. Option : Conception et Diagnostic des systèmes d'AEP et d'assainissement. Université d'El-Oued .82 p

BG (Bureau d'étude Bonard et Gardel). 2002. Vallée du Souf : Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation, Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission II. (2002). 111p.

Boubir, H. M. N. et Abdallah, F. 2009. Le rôle des services et des investissements dans l'hypertrophie de la ville d'El Oued au bas Sahara algérien. Environnement Urbain/Urban Environment, vol. 3, p. c-1-c-18.

Bouchahm. N., Achour.S. 2008. Hydrochimie des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional algérien – Identification d'un risque de fluorose endémique. La houille blanche, N° 02, pp76-82.

Bouselsal, B. et Kherici, N. 2014. Effets de la remontée des eaux de la nappe phréatique sur l'homme et l'environnement : cas de la région d'El-Oued (Sud-Est Algérie). Afrique Science, Vol.10, N°3, 1 septembre 2014.

BUSSON, G. 1967. Le Mésozoïque saharien. 1ère partie : L'Extrême Sud-tunisien. Edit., Paris, « Centre Rech. Zones Arides », Géol., 8, 194 p. Ed. C.N.R.S.

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

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

CASTANY, G. 1982. Principes et méthodes de l'Hydrogéologie. Dunod Edit. Paris, 334p.

Cornet, A. 1964. Introduction à l'hydrogéologie saharienne. Géographie Physique et Géologie Dynamique. Vol.VI. 1964. Fascl ,pp.5-72.

Cote, M. 1993. Une région saharienne malade de trop d'eau. Le Souf. Rapport, 17p.

Cote, M. 2001. Souf 2001 : l'Agriculture peut-elle résoudre le problème de la remontée de la nappe ; BG. Lausanne

Emberger, L. 1955. Une classification biogéographique des climats. Trav. Inst. Bot.

Etude hydrogéologique et hydrochimique de l'aquifère de Complexe Terminale (CT) de El-Oued

Montpellier, 7, 3-43.

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

Guendouz A, Moulla A.S, Remini, B, Michelot J.L. 2006. Hydro chemical and isotopic behavior of a Saharan phreatic aquifer suffering severe natural and anthropic constraints (case of Oued- Souf region, Algeria). Hydrogeol J 14:955–968.

Khechana, S. 2014. Perspective et méthode de la gestion intégrée des ressources en eau dans une zone hyperaride. Application sur la vallée d'Oued-Souf (Sud-Est algérien). Th. Doctorat, Univ.de Annaba, 148 p.

MESSEKHER, I .2009. Etude hydrogéologique de la vallée de Souf soumise à la remontée des eaux et perspective de solutions palliatives, Mémoire de Magister en géologie. Option : géologie du génie civil et des milieux aquifère. Université de Batna, 114 p.

Meziani, A. et al. 2011. The Aquifer System of the Souf Valley Algerian Northern Sahara. European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.65 No.3, pp. 416-423.

OMS. 2002. "Fluoride in drinking water." Environmental health information section, WHO Headquarters Office in Geneva, 20 Avenue Appia, 12 1 1 Geneva 27, Switzerland.

OSS (Observatoire Sahara et Sahel). 2003. Système aquifère du Sahara septentrional : gestion commune d'un bassin transfrontière. Rapport de synthèse. OSS, Tunisie.

Piper, A.M. 1994. Graphical interpretation of water analysis, Transactions of the American Geophysical Union. 25:914 -928.

B. REMINI, B. 2006. La disparition des ghouts dans la région D'EL OUED (Algérie). Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 05, Juin 2006, pp.49-62.

Rodier J. 1996. L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8^{ème} édition Dunod, Paris.

Saibi, H. 2003. Analyse qualitative des ressources en eau de la vallée de l'oued Souf et impact sur l'environnement, région aride à semi-aride d'El-Oued (Qualitative évaluation of Oued-Souf valley water ressources and their impact on the environment). Thesis, Houari Boumedienne University, Algiers, Algeria, 200 pp

Schoeller, H. 1962. Les eaux souterraines. Hydrologie dynamique et chimique. Recherche, exploitation et évaluation des ressources Masson et Cie. Editions, 642 pages.

Senoussi, M. et Aouat, M.A. 1992. Etude géophysique par sondages électriques de la région de Souf. Rapport ENAGEO. 40P.

UNESCO. 1972. Etude des Ressources en Eau de Sahara Septentrional. (7 vols. et annexes). UNESCO, Paris, France.

ZAIZ Issam. 2015. Etude qualitative des eaux de la nappe Complexe Terminal dans la vallée d'Oued-Souf (Sud-Est Algérien) .Mémoire de Magister en Hydraulique. Université

Etude hydrogéologique et hydrochimique de l'aquifère de Complexe Terminale (CT) de El-Oued

Ouargla.183p

ZINE, Brahim. 2009. La remontée des eaux souterraines en surface : mécanisme et l'impact sur l'environnement (Cas de Oued Souf). Mémoire magistère en hydraulique. Univ Batna.

145p.

Etude hydrogéologique et hydrochimique de l'aquifère de Complexe Terminale (CT) de El-Oued

ملخص:

منطقة وادي سوف (جنوب شرق الجزائر)، تتميز بتراكب من ثلاث طبقات مياه جوفية، حيث من الأعلى إلى الأسفل، المياه الجوفية السطحية وطبقة المركب النهائي (CT) وطبقة المتداخل القاري (CI). طبقة المركب النهائي تشمل نفاذية الرسوبية من السينونيانيا الكربوناتا البليوسيني الحديث، في الواقع هناك ثلاثة طبقات مياه منفصلة من خلال طبقات شبه نفوذة أو غير نفوذة. عمق (CT) يتراوح بين 200 و600 متر. كما سمكه يتراوح حوالي 50 مترا. دراسة خزانات البيزو مترية تبين أن اتجاه المياه (CT) عموما من الجنوب إلى الشمال. دراسة نوعية وجودة المياه الجوفية لطبقة المركب النهائي من أجل استعمال مياه الصالحة للشرب (AEP) يدل على أنها غير صالحة للشرب، في إشارة إلى معايير منظمة الصحة العالمية (OMS) والمعايير الجزائرية لمياه الشرب، أنها تتميز بدرجة تمعدن قوية. فيما يتعلق بنوعية الري، استنادا إلى معايير ريفرسايد، حيث نصفها في قسم المياه المتوسطة إلى السيئة.

المياه الجوفية للمركب النهائي يسيطر عليها السحنات التبخرية (كبريتات الصوديوم، كلوريد الصوديوم، كلوريد الكالسيوم وكبريتات الكالسيوم). دراسة مشتركة من النسب الأيونية وحساب مؤشرات التشبع التي أجريت على العينات تبين أن أصول تمعدن هي تحلل المتبخرات (الجبس والهاليت) وقاعدة الصرف.

الكلمات الرئيسية: طبقة المركب النهائي، الوادي، منظمة الصحة العالمية، التمدن، الري

Résumé :

La région d'Oued-Souf (SE Algérie), est caractérisée par la superposition de trois couches aquifères, il s'agit de haut en bas, de l'aquifère superficiel, l'aquifère de complexe terminal (CT) et l'aquifère de continental intercalaire (CI). L'aquifère de complexe terminal englobe des assises perméables du Sénonien carbonaté au Mio-Pliocène. En effet on distingue trois aquifères séparés localement par des horizons semi-perméables ou imperméables. La profondeur du CT varie entre 200 et 600 mètres. Quant à son épaisseur utile est d'environ 50 mètres. L'examen des cartes piézométriques montrent que le sens d'écoulement de CT est en général Sud vers le Nord. L'étude de la qualité des eaux de l'aquifère complexe terminal pour l'alimentation en eau potable (AEP) montre qu'elles sont non potables, en référence aux normes de l'organisation mondiale de la santé (OMS) et aux normes algériennes des eaux potables, elles sont caractérisées fortement minéralisées. Quant à sa qualité pour l'irrigation, basée sur les normes de Riverside, elles s'arrangent dans la classe des eaux médiocres à mauvaises. Les eaux de l'aquifère de complexe terminal sont dominées par les faciès évaporitiques (sulfaté sodique, chloruré sodique, chloruré calcique et sulfaté calcique). L'étude combinée des rapports ioniques et le calcul des indices de saturation, effectuée sur les échantillons, montrent que les origines de la minéralisation sont la dissolution des évaporites (gypse et halite) et l'échange de base.

Mots clés : Complexe Terminal, El Oued, OMS, Minéralisation, Irrigation.

Abstract:

The region of Oued-Souf (SE Algeria), is characterized by the superposition of three aquifer layers, it is from top to bottom, the superficial aquifer, the aquifer of terminal complex (CT) and the aquifer of intercalary continental (CI). The terminal complex aquifer encompasses permeable sedimentary Senonian carbonate at Mio-Pliocene. There are three aquifers separated locally by semi-permeable or impermeable horizons. The depth of the CT varies between 200 and 600 meters. As for its useful thickness is about 50 meters. Examination of the piezometric maps shows that the direction of CT flow is generally south to the north. The water quality study of the aquifer complex terminal for drinking water supply (AEP) shows that they are non-potable, in reference to the standards of the World Health Organization (WHO) and standards Algerian drinking water, they are highly mineralized. As for its quality for irrigation, based on Riverside standards, they manage in the class of mediocre water to bad. The waters of the terminal complex aquifer are dominated by evaporitic facies (sodium sulphate, sodium chloride, calcium chloride and calcium sulphate). The combined study of the ionic ratios and the calculation of saturation indices, carried out on the samples, show that the origins of the mineralization are the dissolution of the evaporates (gypsum and halite) and the base exchange.

Keywords: Terminal Complex, El-Oued, WHO, Mineralization, Irrigation.