

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued



Faculté de Technologie

Département : Hydraulique et Génie Civil

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme du Master en Hydraulique

Option : Ouvrage hydraulique

THEME

Caractéristiques hydrogéologiques d'un aquifère
dans un climat aride, cas de la vallée d'El-Oued

(Sud-est Algérien)

Dirigé par :

- Mme : ZAIR Nadjet

présenté par :

- BARIKI Lotfi
- HASSANI Nadhir
- LAKHOUES Larbi

Promotion: 2021/2022

REMERCIEMENTS

*. Nous remercions en premier lieu Dieu tout puissant pour nous avoir donné la force et la volonté
d'accomplir ce modeste travail.*

Nous voudrions tout d'abord exprimer toute notre reconnaissance à notre encadreur

***Dr. ZAIR Nadjat**, Pour son soutien, ses conseils et sa grande bienveillance lors du développement
de ce projet.*

*Nombreuses sont les personnes qui nous ont aidé durant l'acquisition des données et la préparation
de ce travail, mais nous voudrions adresser nos remerciements plus particulièrement à :*

Pr. BACHIR SAHRAOUI ; Mr : Sghiri Mohamed El Amine

*Et pour tous ceux qui ont apporté leur aide de près ou de loin à la réalisation de ce document, nous
disons MERCI*

DEDICACE

En cet honorable lieu, d'un simple geste tracé par écrit, mais qui jaillie du profond sentiment de reconnaissance, permettez-nous de citer les noms comme un mémorandum

pour ceux qui ont une place particulière :

A nos très chers pères -A nos très chères mères -A nos frères et sœurs

-A tous nos cousins sans exception - A toute notre famille. -A tous nos ami(e)s sans exception

A tous ; nous dédions cet ouvrage, qui est le sens de mes études supérieures, commun

Don du Cœur, en priant ALLAH tout puissant à le mettre au service de notre nation et

du bien de l'humanité, et qu'il sera une lumière sur notre parcours professionnel.

Sommaire

Remerciements	I
Dedicace	II
Sommaire	III
Liste des figures	VI
Liste des tableaux	VIII
Introduction générale :	1
Chapitre I Présentation général de la zone d'étude	
1. Présentation de la zone d'étude	3
1.1 Situation géographique d'El-Oued.....	3
1.2 La topographie de la région d'étude.....	3
1.3 Géomorphologie de la région d'étude.....	5
1.3.1 Tercha	5
1.3.2 Louss	5
1.3.3 Salsala ou Smida.....	5
1.3.4 Tefza	5
1.4 Contexte socio-économique	5
1.4.1 L'artisanat :	5
1.4.2 Le commerce.....	6
1.4.3 L'industrie.....	6
1.5 Activités de la région	6
1.6 Les ressources en eau de la wilaya d'El-Oued	6
1.6.1 Ressources en eau	7
1.6.2 Les différents usages de l'eau	7
1.6.3 Ressemblance des données ressources / besoins	9
2. Contexte Climatologique.....	10
2.1. Température	10
2.2. La précipitation	10
2.3. L'Humidité.....	11
2.4. L'Evaporation	12
2.5. Le Vent.....	12

2.6. La courbe pluviaux-thermique	13
2.7. Le bilan hydrique	14
3. Contexte géologique	15
3.1 Cadre géologique régional	15
3.1.1 Secondaire.....	16
3.1.2 Le Tertiaire	17
3.1.3 Quaternaire.....	18
3.2 Cadre géologique locale.....	19

Chapitre II Hydrogéologie

1. Introduction	22
2. Cadre hydrogéologique général.....	22
2.1. Présentation des aquifères dans la zone d'étude	23
2.2. Nappe phréatique	23
2.3. Nappe Complexe Terminal	24
2.3.1 L'exutoire du CT	26
2.3.2 L'exploitation de CT dans la région d'Oued Souf	26
2.4. Nappe du Continental Intercalaire	29
2.4.1. L'exutoire du CI	30
3. Estimation des réserves	31
4. Piézométrie	33
4.1. Interprétation	34
4.2. Interpolation des valeurs des niveaux piézométriques (m).....	34
4.2.2. Caractéristique statistiques	35
4.2.3. Variogramme de niveau piézométrique (m)	36
4.2.4. Carte interpolée par krigeage :.....	36
5. Hydrodynamique	37
5.2. Introduction	37
5.3. Déterminations des caractéristiques hydrodynamiques	37
5.3.2. Essaie du Chott	38
5.3.3. Essaie d'El-Oued centre.....	39
5.3.4. Essaie de 300 Logs	40
5.3.5. Essaie de Tiksebt	41
5.3.6. Essaie de Mih-Bahi	42

5.3.7. Le débit spécifique.....	43
6. Conclusion.....	45

Chapitre III Hydrochimie

1. Introduction	47
2. Paramètres physico-chimiques	48
2.1. Paramètres physiques	48
2.1.1. Température	48
2.1.2. Potentiel d'hydrogène (PH)	48
2.2. Paramètres chimiques.....	49
2.2.1. Le Calcium (Ca).....	49
2.2.2. Le Magnésium (Mg)	50
2.2.3 Sodium (Na^+)	51
2.2.4. Les Chlorures (Cl^-).....	51
2.2.5. Potassium (K^+).....	52
2.2.6. Sulfate (SO_4^{-2})	52
2.2.7. Bicarbonate (HCO_3^-).....	53
2.2.8. Nitrate (NO_3^-).....	54
2.3. Caractéristiques chimiques des eaux.....	55
2.3.1. Représentation graphique des faciès hydro-chimiques.....	55
2.3.2. Diagramme de Piper	56
2.3.3 Diagramme de SCHOELLER – BERKALOFF	56
3. Origine des éléments chimiques	57
3.1. Les éléments Ca^{+2} , HCO_3^- et SO_4^{-2}	57
3.2. Les éléments Na^+ , Cl^-	58
3.3. Les éléments HCO_3^- , Cl^- et SO_4^{-2}	59
3.4. Les éléments Cl^- et SO_4^{-2}	59
3.5. Aptitude des eaux à l'irrigation.....	60
3.5.1. Classification des eaux par la méthode de Richards.....	60
3.6. Indice de saturation des eaux de complexe terminal.....	61
4. Conclusion.....	64
Conclusion générale	66
Références bibliographiques	70

Liste des figures

Figure 1: Situation géographique d'El-Oued 2022	3
Figure 2 : Carte topographique d'Oued Souf (topographic-map.com 2022).	4
Figure 3: Les besoins / ressources en eau mobilisable pour l'AEP (DRH, El-Oued, 2013).....	7
Figure 4 : Besoins en eau-ressources mobilisable à utilisation agricole (DSA El-Oued, 2013)	8
Figure 5 : Les besoins en eau-ressources mobilisable d'AEI (1999-2012).	9
Figure 6: Histogramme des températures moyennes mensuelles (ONM 1989-2017).	10
Figure 7: Histogramme précipitations moyennes mensuelles (mm) (ONM 1989-2017).....	11
Figure 8: Variation mensuelles de l'humidité relative moyenne (ONM 1989-2017).....	12
Figure 9: Variation mensuelle de l'Evaporation moyenne (mm) (ONM 1989-2017).....	12
Figure 10: Histogramme des vitesses du vent moyennes mensuelles (m/s) (ONM 1989-2017).	13
Figure 11: Diagramme Ombro-thermique d'El-Oued (ONM 1989-2017)	14
Figure 12: Carte géologique régionale (d'après la carte géologique 1/200 000 Busson 1970)	15
Figure 13 : Log de forage F3Albien, cité 19 Mars El-Oued (coupe d'après DRH 2011).....	19
Figure 14 : Carte géologique du Grand Erg Oriental, (Baba Sy.M, 2005).	20
Figure 15 : Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO 1972).	23
Figure 16 : Zone d'alimentation de la nappe phréatique et le sens d'écoulement de la nappe .	24
Figure 17: Piézométrie du Complexe Terminal (OSS, 2003).	25
Figure 18: Coupe hydrogéologique d'El-Oued (A.N.R.H, 1989)	27
Figure 19: Coupe hydrogéologique de la zone d'étude en 2010	27
Figure 20 : Le sens d'écoulement des aquifères CT et CI (UNESCO, 1972).	29
Figure 21 : Situation géographique des deux nappes aquifères le Continental Intercalaire et le Complexe Terminal (UNESCO, 1972)	31
Figure 22 : Carte piézométrique de zone d'étude (janvier 2010).....	34
Figure 23 : Variogramme du niveau piézométrique de la zone d'étude en 2010,	35
Figure 24 : Carte du niveau piézométrique interpolé par Krigeage de la zone d'etude en 2010.	36
Figure 25 : Courbe de décente de puit de Chott (Cooper & Jacob) en 2010.	38
Figure 26 : Courbe de décente de puit de Chott (Thies) en 2010.....	38
Figure 27: Courbe de décente de puit d'El-Oued centre (Cooper & Jacob) en 2010.	39
Figure 28: Courbe de décente de puit d'El-Oued centre (Thies) en 2010.....	40
Figure 29: Courbe de décente de puit de 300 Logs (Cooper & Jacob) en 2010.	40
Figure 30 : Courbe de décente de puit de 300 Logs (Thies) en 2010.	41
Figure 31: Courbe de décente de puit de Tiksebt (Cooper & Jacob) en 2010.	41
Figure 32 : Courbe de décente de puit de Tiksebt (Thies) en 2010.	42
Figure 33 : Courbe de décente de puit de Mih-Bahi (Cooper & Jacob) en 2010.....	42
Figure 34 : Courbe de décente de puit de Mih-Bahi (Thies) en 2010.....	43
Figure 35: Courbe débit / Rabattement a 19 mars en 2010.....	44
Figure 36 : Courbe débit / Rabattement d'El-Oued centre en 2010.....	45
Figure 37: Histogramme des valeurs de PH dans la nappe de CT dans certains puits à El-Oued (DRH d'El-Oued, 2010).....	48
Figure 38: Histogramme des valeurs de CE dans la nappe de CT dans certains puits à El- Oued. (DRH d'El-Oued, 2010)	49
Figure 39 : Histogramme des variations des teneurs de Ca ²⁺ (mg/l) (DRH d'El-Oued, 2010).	50
Figure 40 : Histogramme des variations des teneurs de Mg ⁺² (mg/l). (DRH d'El-Oued, 2010).	50

Figure 41 : Histogramme des variations des teneurs du Sodium Na^+ (mg/l). (DRH d'El-Oued, 2010).....	51
Figure 42 : Histogramme des variations des teneurs de Cl^- (mg/l). (DRH d'El-Oued, 2010) .	52
Figure 43 : Histogramme des variations des teneurs de K^+ (mg/l). (DRH d'El-Oued, 2010) .	52
Figure 44 : Histogramme des variations des teneurs de Sulfate SO_4^{2-} (mg/l) (DRH d'El-Oued, 2010).....	53
Figure 45: Histogramme des variations des teneurs de Bicarbonate HCO_3^- (mg/l) (DRH d'El-Oued, 2010).....	54
Figure 46 : Histogramme des variations des teneurs de Nitrate NO_3^- (mg/l). (DRH d'El-Oued, 2010).....	55
Figure 47 : Diagramme de Piper (DRH d'El-Oued, 2010)	56
Figure 48 : Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF d'El-Oued (DRH d'El-Oued, 2010).	57
Figure 49 (A et B) : Détermination de l'origine du calcium (DRH d'El-Oued, 2010).....	58
Figure 50 : Détermination de l'origine du sodium (DRH d'El-Oued, 2010).....	58
Figure 51 : Evolution des anions en fonction de la conductivité électrique (DRH d'El-Oued, 2010).....	59
Figure 52: Evolution des chlorures et des sulfates en fonction de la conductivité. (DRH d'El-Oued, 2010).....	60
Figure 53 : Diagramme de Richards pour l'année 2010 (DRH d'El-Oued, 2010).	61
Figure 54 : Variation de l'indice de saturation des minéraux dans les eaux de CT de la zone d'étude. (DRH d'El-Oued, 2010).....	63
Figure 55 : Indicateur géologique pour l'indice GWQI en (DRH d'El-Oued, 2010).....	64

Liste des tableaux

Tableau 1: Altitude moyenne des différentes communes du Souf (DRH d'El-Oued, 2016).....	4
Tableau 2: statistique de L'élevage et ses dérivés (DSA 2016).....	6
Tableau 3 : répartition du potentiel hydrique (DRH 2013).....	7
Tableau 4 : Récapitulation sur les ressources et les besoins en eaux de différents secteurs (ADE2012).....	9
Tableau 5: Les températures moyennes mensuelles (ONM 1989-2017).....	10
Tableau 6 : Les précipitations moyennes mensuelles (ONM 1989-2017).....	11
Tableau 7 : Humidité relative moyenne mensuelle (ONM 1989-2017).....	11
Tableau 8 : Evaporation moyenne mensuelle (mm) (ONM 1989-2017).	12
Tableau 9 : Vitesses du vent moyennes mensuelles (ONM 1989-2017).	13
Tableau 10 : données des précipitations et des températures moyennes mensuelles (ONM 1989-2017).....	13
Tableau 11 : Bilan hydrique d'après Thorntwaite (ONM 1989-2017).....	14
Tableau 12: Épaisseur moyenne des différents aquifères et estimation de la réserve (UNESCO 1972).....	31
Tableau 13: Récapitulatif des systèmes aquifères d'El-Oued (D'après DRH 2005).....	32
Tableau 14: Les coordonnées des puits dans la zone d'étude*.....	33
Tableau 15 : Caractéristique statistique des valeurs mesurées de NP (m) en 2010 (SURFER).....	35
Tableau 16 : Paramètres statistiques globaux des valeurs Krieger des niveaux piézométriques (m).....	37
Tableau 17: résultats des essais de puit de Chott en 2010.	39
Tableau 18: résultats des essais de puit d'El-Oued centre en 2010.	40
Tableau 19 : résultats des essais de puit de 300 Logs en 2010.	41
Tableau 20 : résultats des essais de puit de Tiksebt en 2010.	42
Tableau 21 : résultats des essais de puit de Mih-Bahi en 2010.....	43
Tableau 22 : Calcul de débit spécifique : Valeurs débits /rabattements de 19 mars en 2010. .	44
Tableau 23 : Calcul de débit spécifique : Valeurs débits /rabattements d'El-Oued centre en 2010.....	44
Tableau 24 : Variations des paramètres physico-chimiques des eaux de complexe terminal et les normes de potabilité des eaux.....	47
Tableau 25 : Analyses Physico-chimiques des eaux souterraines de la zone d'étude (DRH d'El-Oued, 2010).....	55
Tableau 26 : Evolution des indices de saturation des minéraux 2010.....	62

Résumé :

La région d'Oued-Souf est une unité de ressource en eau située au sud-est algérien. Elle possède un réservoir très important présentant sous forme de deux nappes : la nappe du complexe Terminal (Pontien), la nappe du Continental Intercalaire (Albien).

Dont la quasi-totalité des eaux destinées à l'alimentation de la population sont des eaux du complexe Terminal.

La qualité chimique de ces eaux (Pontien) pose un grand problème, tel que la salinité, la minéralisation forte et la concentration de certains éléments qui dépassent les normes recommandées par l'OMS.

L'objectif de cette étude est de déterminer les paramètres hydrogéologiques de cette région.

Les résultats obtenus et traités par différentes méthodes, diagramme et outil statistique permettent de conclure que la minéralisation des eaux est d'origine géologique. Le problème essentiel des eaux du complexe Terminal de la vallée d'Oued-Souf est un problème de qualité, pour cela il faut exiger des critères rigoureux pour améliorer la qualité chimique des eaux et garantir sa potabilité selon les normes internationales, avant de la mobiliser aux consommateurs.

Mots clés : Complexe Terminal, Continental Intercalaire, hydrogéologique, Minéralisation, Qualité chimique.

ملخص :

تقع منطقة وادي سوف في الجنوب الشرقي الجزائري حيث انها تزخر بمخزون جوفي كبير يتمثل في : طبقة المتداخل القاري (CT) وطبقة المركب النهائي (CI).

أكثر المياه المخصصة لتغذية السكان تستخرج من طبقة المتداخل القاري الأولى (CT). تمثل الطبيعة الكيميائية لهذه الطبقة مشاكل عديدة منها التركيز المعدني الكبير بالإضافة الى التركيز المرتفع لعدة عناصر كيميائية والذي تجاوز الحد المسموح به من طرف المنظمة العالمية للصحة (OMS).

ان الهدف من هذا العمل هو تحديد العناصر الهيدروجيولوجية لمياه هذه الطبقة ومن خلال النتائج المحصل عليها وبعد تطرقنا لعدة خطوات للمعالجة (رسم بياني وأداة إحصائية) نستنتج ان التراكيز المعدنية مرتفعة سببها الرئيسي جيولوجي، أي انها متعلقة بتركيب الطبقات. يبقى في الأخير ان المشكل الأساسي لمياه طبقة المتداخل القاري الأولى (CT) لمدينة وادي سوف يتمثل في نوعية المياه الخاصة بهته الطبقة، وهذا ما يستلزم وضع قوانين لتحسين استغلاله وتحسين تركيبته النوعية بحيث تضمن هذه القوانين الامتثال لمعايير مياه الشرب العالمية قبل توجيهها للاستهلاك.

الكلمات المفتاحية : المتداخل القاري، المركب النهائي، الهيدروجيولوجيا.

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.

Introduction générale

Introduction générale :

L'Algérie dispose d'importantes ressources souterraines qui sont stockées en deux couches, exactement dans les déserts du sud et du nord, ils sont appelés complexe terminal et continentale intercalaire, où l'infiltration des eaux de pluie dans le sol contribue à fournir ses réserves bien que la majeure partie s'évapore avant de l'atteindre.

Notre étude vise à déterminer les caractéristiques hydrogéologiques et hydrochimiques de la nappe du complexe terminal d'El-Oued. Pour atteindre ces objectifs, nous avons préparé les chapitres suivants :

Le premier chapitre : Informations générales sur la zone d'étude se compose de trois parties, la première partie donne une description de la situation géographique, La deuxième partie est consacrée à l'étude climatique de la région et La troisième partie est consacrée à l'étude du contexte géologique de la région.

Le Deuxième Chapitre : Etude Hydrogéologique Contient quatre parties, la première partie traite Cadre hydrogéologique général de système aquifère de Sahara septentrional, La deuxième partie est consacrée à l'étude Estimation des réserves, le troisième partie étude détermination de la piézométrie et la quatrième partie contient l'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.

A la fin de ce travail, nous présentons une conclusion générale mettant en évidence les résultats de l'étude.

Chapitre I
Présentation général de la zone
d'étude

1. Présentation de la zone d'étude :

1.1 Situation géographique d'El-Oued :

Est une wilaya algérienne, ayant pour chef-lieu la ville éponyme d'El-Oued, située au Sud-Est de l'Algérie. La wilaya existe depuis 1984, elle compte douze daïras et trente communes jusqu'en 2019, puis, respectivement, onze et vingt-deux depuis cette date à la suite de la création de la wilaya d'El M'Ghair³. Ses limites sont les suivantes :

- Au nord, par les wilayas de Tébessa, Khenchela et Biskra
- A l'ouest par les wilayas d'El M'Ghair et de Touggourt ;
- Au sud et par la wilaya de Ouargla ;
- Et à l'est par la Tunisie.

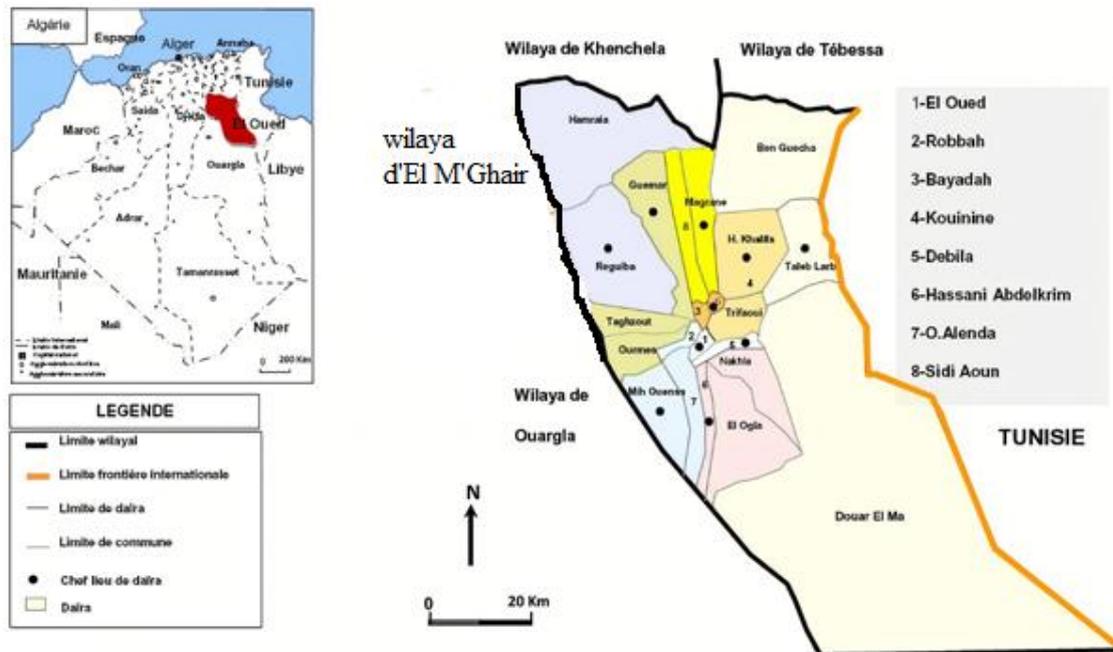


Figure 1: Situation géographique d'El-Oued 2022

(Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme d'El-Oued, 1997 Modifier Par Hassani Nadir)

1.2 La topographie de la région d'étude :

La région d'Oued Souf, également connue sous le nom de Bas Sahara, est caractérisée par les basses altitudes de la partie sud-est du pays. Les points les plus hauts et les plus bas au-dessus du niveau de la mer sont situés à : Essoualeh commune de Bayadha (125 m) et la Folia commune de Réguiba (-3 m) (ANRH 2016).

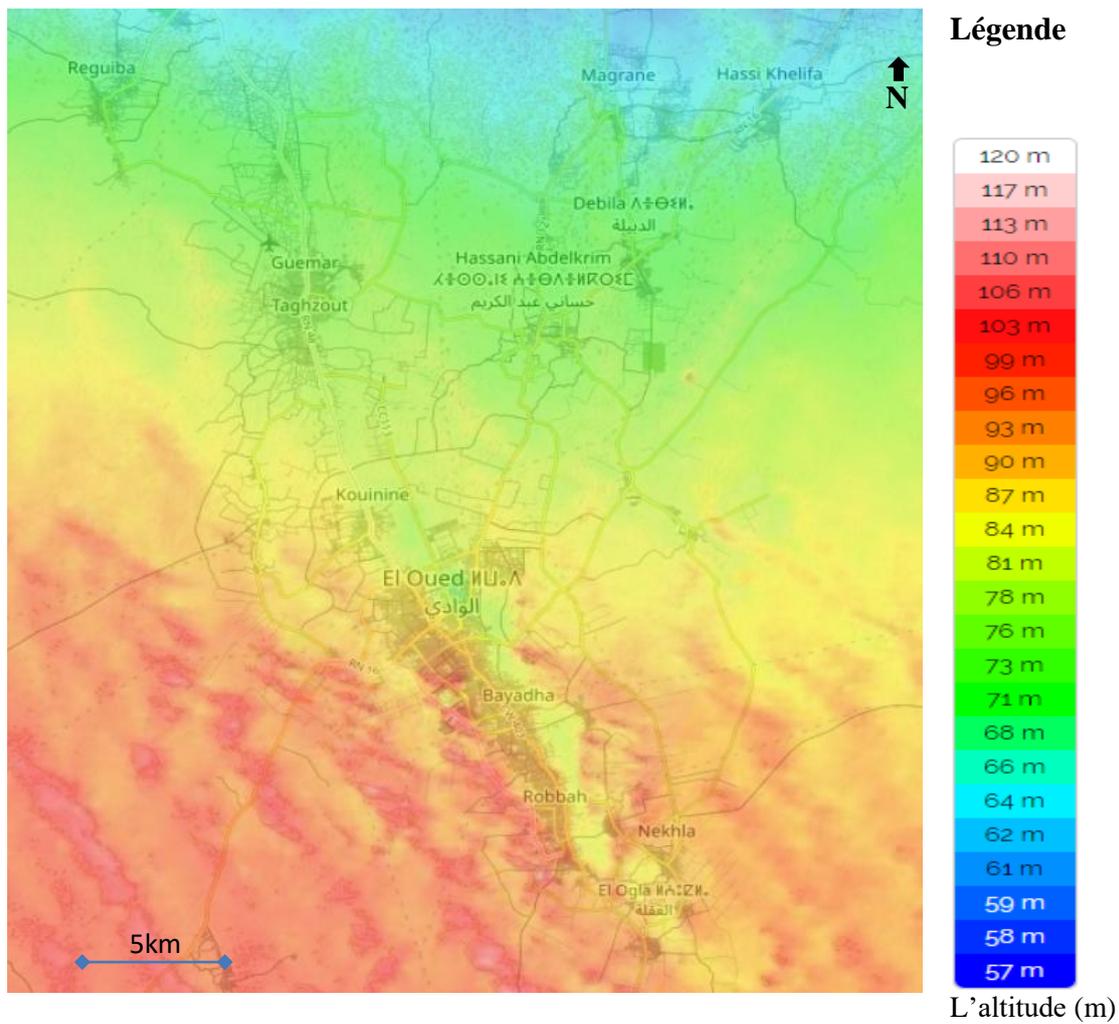


Figure 2 : Carte topographique d'Oued Souf (topographic-map.com 2022).

L'altitude moyenne de la zone est de 61 m, descendant du sud vers le nord jusqu'à 25 m sous le niveau de la mer dans les zones des Chotts.

Tableau 1: Altitude moyenne des différentes communes du Souf (DRH d'El-Oued, 2016)

N°	Commune	Altitude (m)	N°	Commune	Altitude (m)
01	Hassi khalifa	77	10	SidiAoun	54
02	El-Ogla	91	11	Trifaoui	81
03	Mouiha Ounsa	91	12	Magrane	60
04	El-Oued	77	13	Ourmes	85
05	Robbah	93	14	Kouinine	75
06	OuedAlenda	83	15	Reguiba	57
07	Bayadha	90	16	Taghzout	78.5
08	Nakhla	85	17	Debila	62
09	Guemar	64	18	Hassani Abdelkrim	66

1.3 Géomorphologie de la région d'étude :

Le sous-sol représente de grands contrastes, car si l'on va vers le sud, à 6 kilomètres d'El-Oued à Elogla à 24 kilomètres, on remarquera l'absence totale de "Tefza" (pierre à plâtre calcaire), alors que cette dernière se retrouve dans tout le terrain d'El-Oued jusqu'à Ghamra (en passant par Tiksebt, Kouinine et Guemar).

Sur les principaux axes du Souf, la qualité de la nappe aquifère dépend de la dissemblance des roches renfermant et différentes conformations des deux bandes de terrains sédimentaires. Une coupe dans le sol, nous permet de distinguer :

1.3.1 Tercha :

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

1.3.2 Louss:

Est constitué de cristaux de gypse en fer à lame imbriqués, qui apparaissent comme un réseau continu et très dur de couches mélangées à du sable, des bancs ou des piliers isolés qui semblent s'être formés autour d'anciennes racines de gypse.

1.3.3 Salsala ou Smida :

Présente en dalles continues ou bancs extrêmement durs, constitués de cristaux de fer comme le Louss, mais plus fins et plus serrés.

1.3.4 Tefza :

C'est un grès blanc assez dur qui constitue la pierre à chauffer, produisant du gypse. (Tercha, Louss, Salsala, Smida et Tefza sont des noms locaux pour différentes couches géologiques).

1.4 Contexte socio-économique :

Les manifestations de la vie quotidienne reflètent un système d'organisation qui tient compte du potentiel économique, de la vocation agricole, commerciale et artisanale. Les activités principales, elles nous donnent un aperçu de l'économie d'El-Oued comme l'artisanat, le commerce et l'industrie.

1.4.1 L'artisanat :

L'agriculture a grandement contribué au développement de l'artisanat, car les habitants du Souf étaient réputés depuis l'Antiquité pour les paniers et les parapluies en feuilles de palmier et la fabrication de bijoux, ce qui a fait d'El-Oued un centre d'artisanat dans la région des oasis.

1.4.2 Le commerce :

En raison de la nature des habitants de Souf et leurs mentalités bédouines, ils sont marchands par nature, la position stratégique de la région en a fait un corridor et un centre d'échange de marchandises grâce au réseau routier national qui permettait aux commerçants de faciliter le transport des marchandises à destination et en provenance de la wilaya.

1.4.3 L'industrie :

L'industrie a prospéré à El-Oued grâce aux investissements d'hommes d'affaires, où l'on trouve une variété d'idées et de domaines industriels, notamment: les parfums et les cosmétiques, la fabrication de plastiques, les carreaux et marbre, l'aluminium, la farine et la semoule, entre autres.

1.5 Activités de la région :

La région de Souf se caractérise par une économie agricole étroitement liée à la culture de la palme, à l'agriculture irriguée saisonnière et à la dépendance aux serres, faisant de la région l'un des wilayas les plus producteurs de légumes. L'élevage était une autre activité sur laquelle les citoyens comptaient, comme les moutons, les chameaux, les chèvres, les vaches, ainsi que la volaille, ce qui permettait Oued Souf de produire en masse de la viande et des produits laitiers.

Tableau 2: statistique de L'élevage et ses dérivés (DSA 2016)

Type d'élevage				Dérivés d'élevage			
Ovin (têtes)	Camelin (têtes)	Caprin (têtes)	Bovin (têtes)	Laitière (l/an)	Œufs (Œufs/an)	Viande blanche (tonnes/an)	Viande rouge (tonnes/an)
500000	27300	153000	4700	44000000	27561270	2240	4700

1.6 Les ressources en eau de la wilaya d'El-Oued :

Les eaux souterraines sont la seule source d'eau pour la nature de la région désertique aride, de sorte que son extraction, son transport et sa distribution sont une nécessité absolue pour répondre aux besoins des populations.

1.6.1 Ressources en eau :

Selon le Département des Eaux d'El-Oued, la répartition du potentiel hydrique est la suivante :

Tableau 3 : répartition du potentiel hydrique (DRH 2013)

Type de la nappe	Répartition
Nappe phréatique	0.13 hm ³
Nappes profondes (CT et CI)	4.9 Mhm ³
Total	5 Mhm ³

1.6.2 Les différents usages de l'eau :

1.6.2.1 L'alimentation en eau potable (AEP) : 150 puits c'est le total alloué par la Direction des Ressources en Eau de la wilaya d'El-Oued pour l'alimentation en eau potable, 148 puits dans la nappe du complexe terminale (CT), et 02 puits exploitent la nappe du Continental Intercalaire (CI).

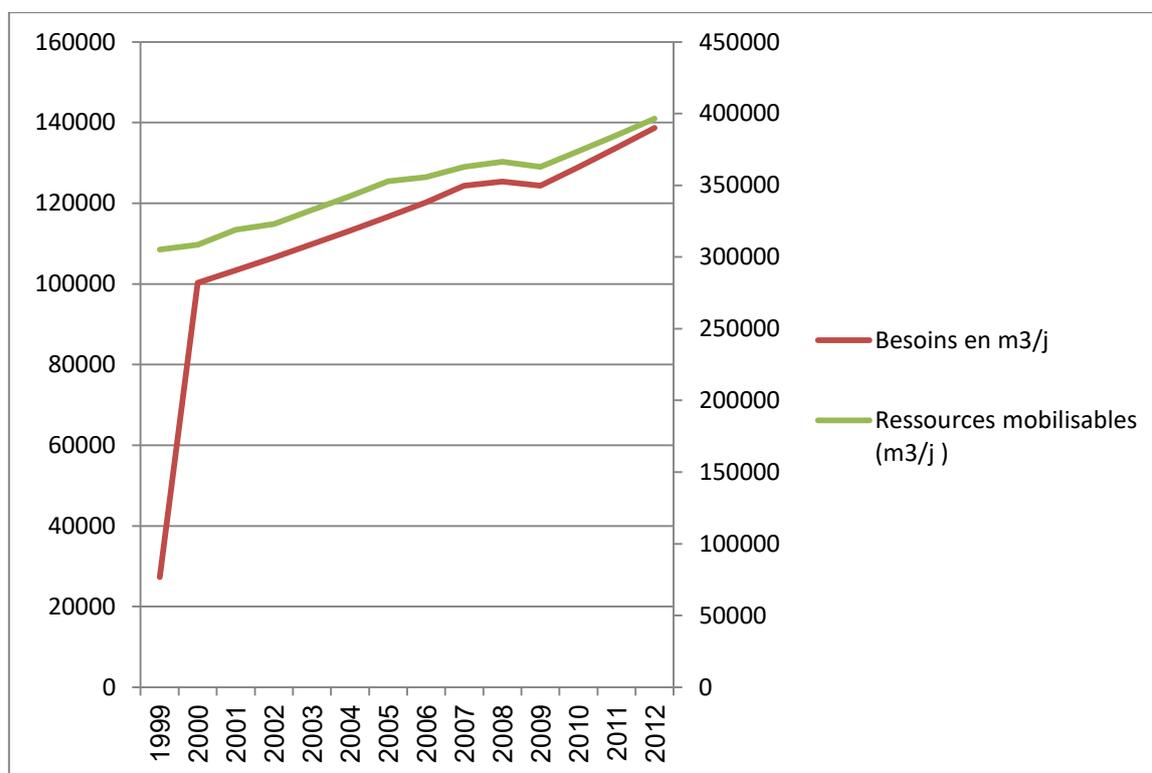


Figure 3: Les besoins / ressources en eau mobilisable pour l'AEP (DRH, El-Oued, 2013)

1.6.2.2 Utilisation agricole de l'eau (AEA) :

La wilaya d'El-Oued a connu un saut qualitatif dans l'agriculture irriguée, similaire à la culture de la pomme de terre, qui est connue pour ses besoins en eau élevés (16430 m³/hectare par an), et les surfaces cultivées ont atteint 60 mille hectares en 2010. Ainsi, on peut dire que l'agriculture consomme plus de 88% de l'eau totale transportée annuellement.

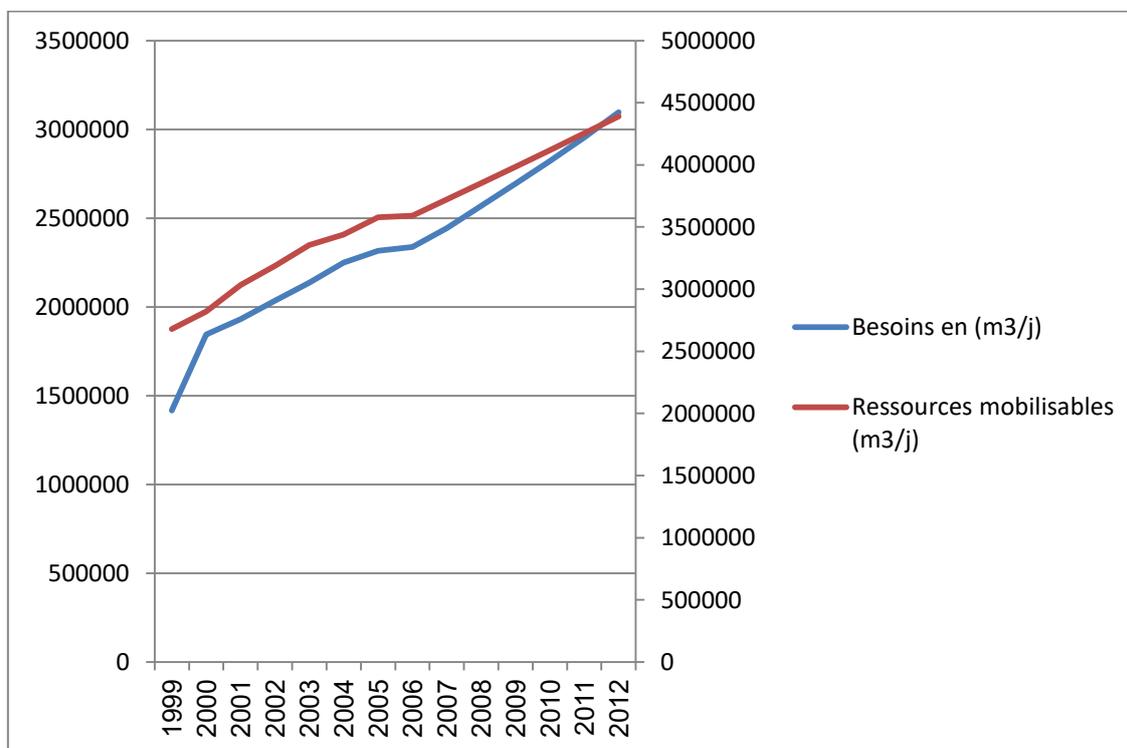


Figure 4 : Besoins en eau-ressources mobilisable à utilisation agricole (DSA El-Oued, 2013)

1.6.2.3 Utilisation industrielle de l'eau (AEI) :

En raison de l'absence d'industries lourdes dans la wilaya d'El-Oued, la consommation d'eau à des fins industrielles est faible par rapport à l'agriculture et est estimée à 3,34% du total des ressources mobilisables.

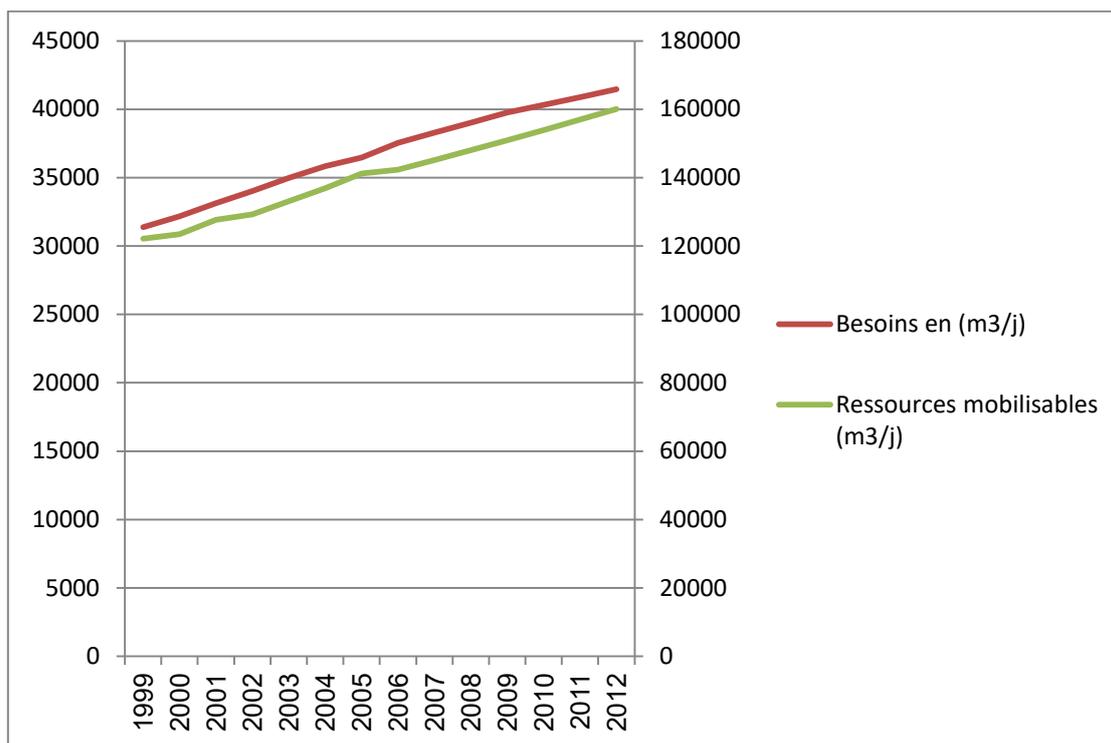


Figure 5 : Les besoins en eau-ressources mobilisable d'AEI (1999-2012).

1.6.3 Ressemblance des données ressources / besoins : Nous les résumons dans le tableau suivant :

Tableau 4 : Récapitulation sur les ressources et les besoins en eaux de différents secteurs (ADE2012).

Année	Ressources mobilisables (m³/j)			Total des ressources mobilisables (m³/j)	Besoins en (m³/j)			Total des besoins (m³/j)
	AEP	AEI	AEA		AEP	AEI	AEA	
1999	305279,29	122111,71	2679696	3107087	78439,29	31375,71	1417661,4	1527476,4
2000	308632,86	123453,14	2819404,8	3251490,8	80424,29	32169,71	1845561,6	1958155,6
2001	319099,29	127639,71	3033590,4	3480329,4	82837,86	33135,14	1931222,7	2047195,7
2002	323084,29	129233,71	3186950,4	3639268,4	85022,14	34008,86	2035159,3	2154190,3
2003	332682,86	133073,14	3354307,2	3820063,2	87460	34984	2136665,2	2259109,2
2004	342261,43	136904,57	3440448	3919614	89597,14	35838,86	2249874,7	2375310,7
2005	352916,43	141166,57	3578256	4072339	91192,86	36477,14	2316224,9	2443894,9
2006	355710,71	142284,29	3592080	4090075	93855	37542	2337651,4	2469048,4
2007	362824,92	145164,29	3722418	4230407,21	124351,76	38280,04	2443918,7	2606550,5
2008	366453,17	148049,5	3852718	4367220,67	125374,08	39019,12	2570239,3	2734632,5
2009	373782,24	150931	3983038	4507751,24	126404,2	39757,49	2693211,8	2859373,49
2010	371685,29	152327,88	4042906,8	4566919,97	128606,2	40634,36	2756372,6	2925613,16
2011	371887,09	153189,31	4115622,7	4640699,1	130834,2	41256,71	2823654,2	2995745,11
2012	374115,38	154227,8	4189976,6	4718319,78	133077,52	42371,62	2896587,4	3072036,54

2. Contexte Climatologique :

Dans cette étude, nous sommes appuyés sur les données de l'Office national de météorologie (1989-2017) enregistrées par la station météorologique de l'aéroport de Guemar, El-Oued.

2.1. Température :

Le climat désertique sec est connu pour des changements de température extrêmes entre la nuit et le jour, atteignant parfois 21°C à l'ombre. En hiver, la température descend à 3°C et monte à midi à 25°C à l'ombre. En été, la région connaît des températures élevées atteignant parfois 49°C à l'ombre. Le tableau suivant présente la température moyenne dans la région du Souf au cours de la période (1989-2017).

Tableau 5: Les températures moyennes mensuelles (ONM 1989-2017)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Tmoy
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

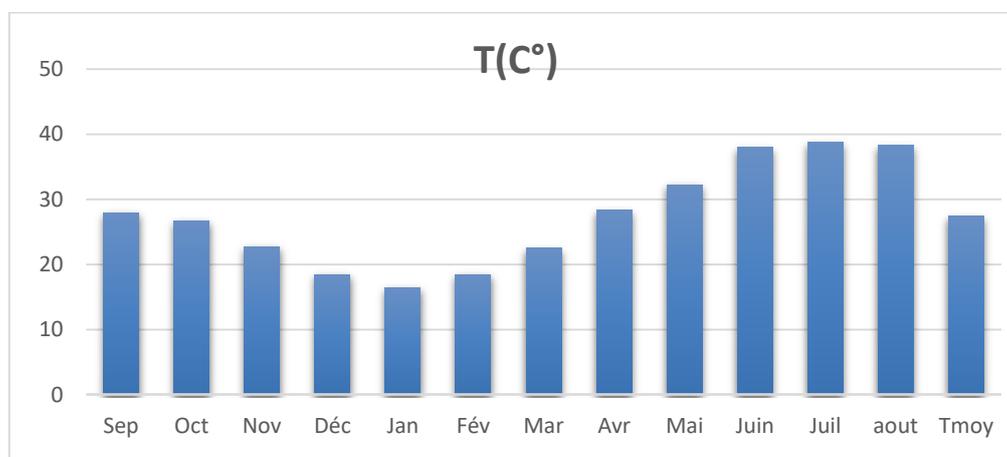


Figure 6: Histogramme des températures moyennes mensuelles (ONM 1989-2017).

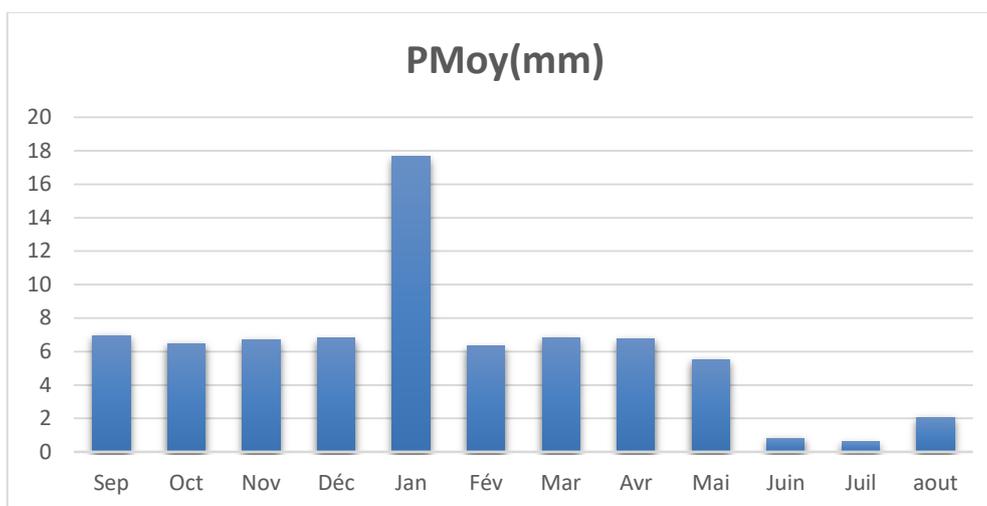
2.2. La précipitation :

Les dépressions de mousson en été, les eaux dépressions accompagnant la migration vers le sud des fronts polaires en hiver, et les bas niveaux du désert soudanais qui traversent notre désert du sud au nord pendant la période intermédiaire, sont les principales origines des précipitations dans les régions sahariennes. (Dubief 1963)

Tableau 6 : Les précipitations moyennes mensuelles (ONM 1989-2017)

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
P moy cum	73.22 mm											

On note que la pluviométrie est très faible, puisque le maximum a été en janvier (17,64 mm) et le plus bas en juillet (0,36 mm), ce qui explique la dépendance totale de la population aux eaux souterraines.

**Figure 7**: Histogramme précipitations moyennes mensuelles (mm) (ONM 1989-2017)

2.3. L'Humidité :

L'Histogramme (Figure 8) nous permet de distinguer les mois secs des mois humides. On note que les mois humides (HR > 49%) sont : octobre, novembre, décembre, janvier et février. Tandis que les mois secs sont les mois restants de l'année.

Tableau 7 : Humidité relative moyenne mensuelle (ONM 1989-2017)

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

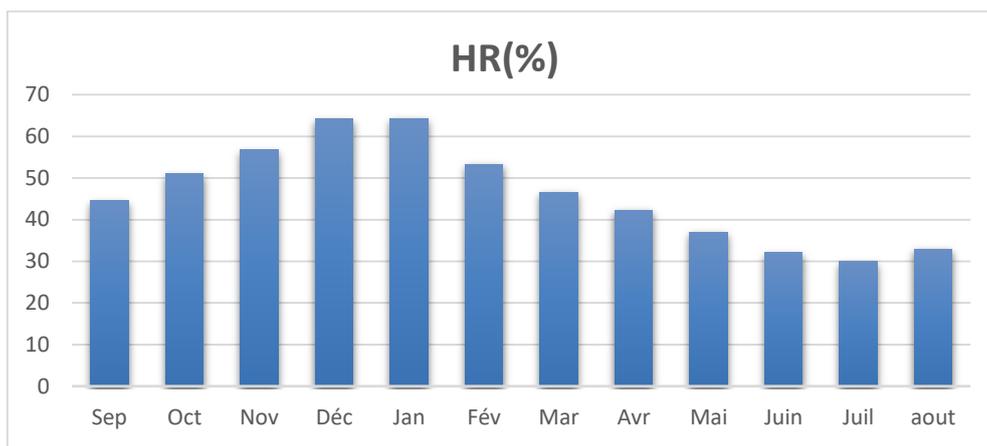


Figure 8: Variation mensuelles de l'humidité relative moyenne (ONM 1989-2017).

2.4. L'Evaporation :

On note que l'évaporation atteint sa valeur maximale en été, atteignant 28,56 mm en juillet, tandis que sa valeur la plus basse est de 6,97 mm en janvier, en raison de la nature de la région, caractérisée par des étés chauds et secs et des hivers froids.

Tableau 8 : Evaporation moyenne mensuelle (mm) (ONM 1989-2017).

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
Evap cum	193.8 mm											

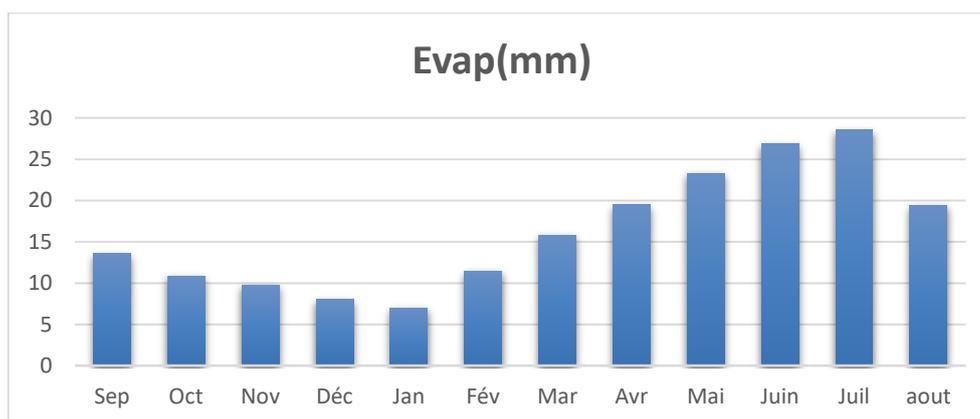


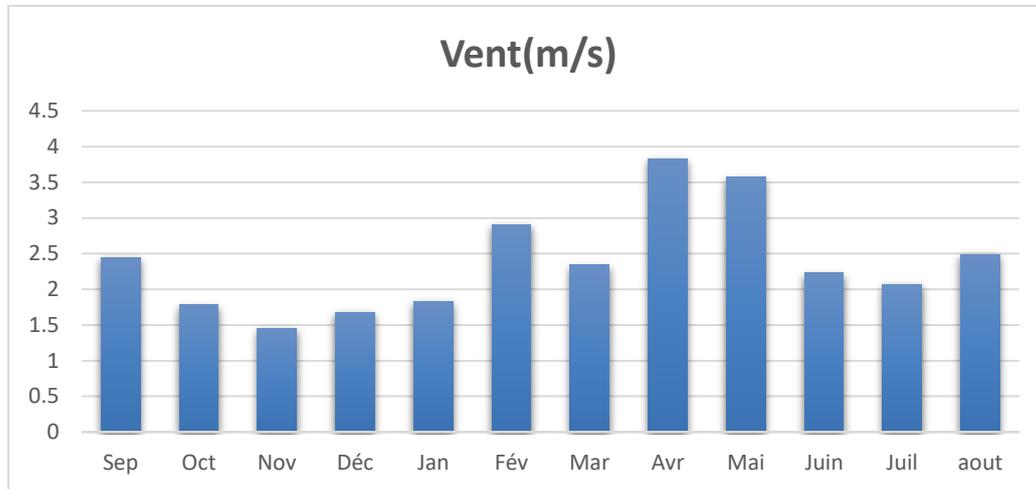
Figure 9: Variation mensuelle de l'Evaporation moyenne (mm) (ONM 1989-2017).

2.5. Le Vent :

On peut dire que la vitesse moyenne mensuelle du vent varie entre 1,68 et 3,83 m/s pour les mois de décembre et avril respectivement, avec une vitesse moyenne annuelle de 2,39m/s.

Tableau 9 : Vitesses du vent moyennes mensuelles (ONM 1989-2017).

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

**Figure 10**: Histogramme des vitesses du vent moyennes mensuelles (m/s) (ONM 1989-2017).

2.6. La courbe pluviaux-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 (Figure 11). On en déduit que la période sèche est étendue pendant toute les deuze mois.

Tableau 10 : données des précipitations et des températures moyennes mensuelles (ONM 1989-2017)

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

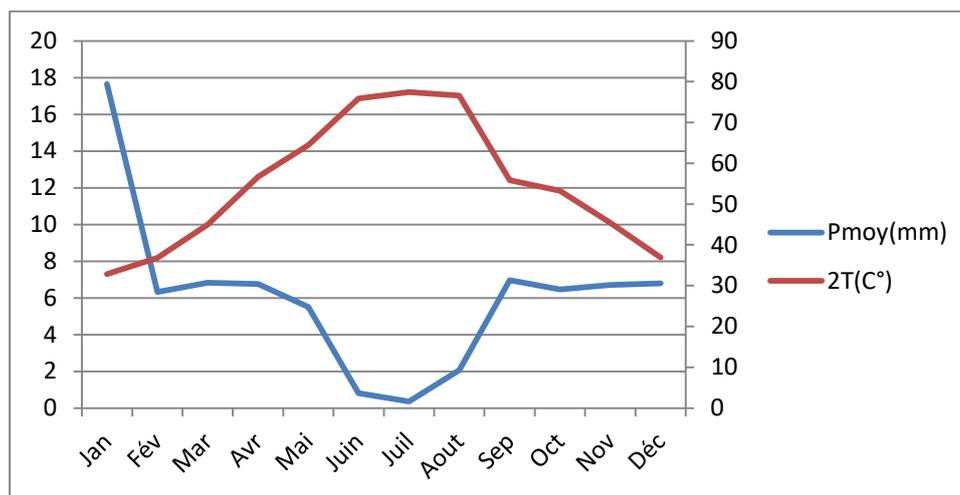


Figure 11: Diagramme Ombro-thermique d'El-Oued (ONM 1989-2017)

2.7. Le bilan hydrique :

$P = ETR + EX$ est la formule générale du bilan hydrique. Dans lequel :

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

EX : Excédent ; $EX = R \times I$; R ruissellement ; I : infiltration.

Le Tableau suivant résume le calcul du bilan hydrique par la méthode de Thorntwaite.

Tableau 11 : Bilan hydrique d'après Thorntwaite (ONM 1989-2017)

Mois	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	27,94	13,53	1,03	88,55	6,96	-81,59	-0,92	0,00	0,00	6,96	81,59	0
O	26,65	12,60	0,97	72,03	6,46	-65,57	-0,91	0,00	0,00	6,46	65,57	0
N	22,70	9,88	0,86	38,85	6,70	-32,15	-0,83	0,00	0,00	6,70	32,15	0
D	18,45	7,22	0,81	19,25	6,80	-12,45	-0,65	0,00	0,00	6,80	12,45	0
J	16,42	6,05	0,87	14,41	17,64	3,23	0,22	3,23	3,23	14,41	0,00	0
F	18,43	7,21	0,85	20,14	6,32	-13,82	-0,69	-3,23	0,00	9,55	10,59	0
M	22,50	9,75	1,03	45,28	6,83	-38,45	-0,85	0,00	0,00	6,83	38,45	0
A	28,35	13,83	1,10	98,94	6,76	-92,18	-0,93	0,00	0,00	6,76	92,18	0
M	32,23	16,80	1,21	161,93	5,51	-156,42	-0,97	0,00	0,00	5,51	156,42	0
J	37,95	21,51	1,22	270,83	0,81	-270,02	-1,00	0,00	0,00	0,81	270,02	0
J	38,74	22,19	1,24	293,42	0,60	-292,82	-1,00	0,00	0,00	0,60	292,82	0
A	38,28	21,80	1,16	264,51	2,07	-262,44	-0,99	0,00	0,00	2,07	262,44	0
Annuel	27,39	162,37		1388,15	73,46	-1314,69				73,46	1314,69	0

3. Contexte géologique :

3.1 Cadre géologique régional :

Le nom de la partie nord de la zone du Souf (Oued Souf) vient du fait qu'une dépression d'orientation nord-sud est de forme très nette, caractérisée par un remplissage sédimentaire, s'étendant sur près de 100 kilomètres. Sol désertique, parfois même en dessous de zéro altitude. Dans toute la chaîne de la région du Souf, la structure géologique est simple et sa couche inférieure a été formée par la période du Crétacé. Outre les différentes couches de recouvrement, après le Crétacé, les différents étages du Crétacé (l'Arthien est le dernier) et l'étage Sénonien supérieur sous les Chotts, se sont successivement succédé du sud au nord. Cette structure du socle crétacé est le résultat du stade érosif précédant la transgression miocène. A partir du Miocène, des lagunes et des systèmes continentaux s'installent partout, produisant des dépôts clastiques sableux et argilo-argileux. Sonder le long de la zone a montré que le substratum rocheux n'affleure nulle part. Sauf dans la partie nord de la région d'El-Oued ou près de Bayada, on peut voir émerger des sables du Pliocène, une vaste étendue de terre recouverte de sédiments sableux du Quaternaire. Et au centre d'El-Oued, les dépôts du Quaternaire sont représentés par les dunes qui forment l'extrémité occidentale du Grand Erg Oriental au nord. Ce sont des formations de chotts qui s'effacent sous les dunes.

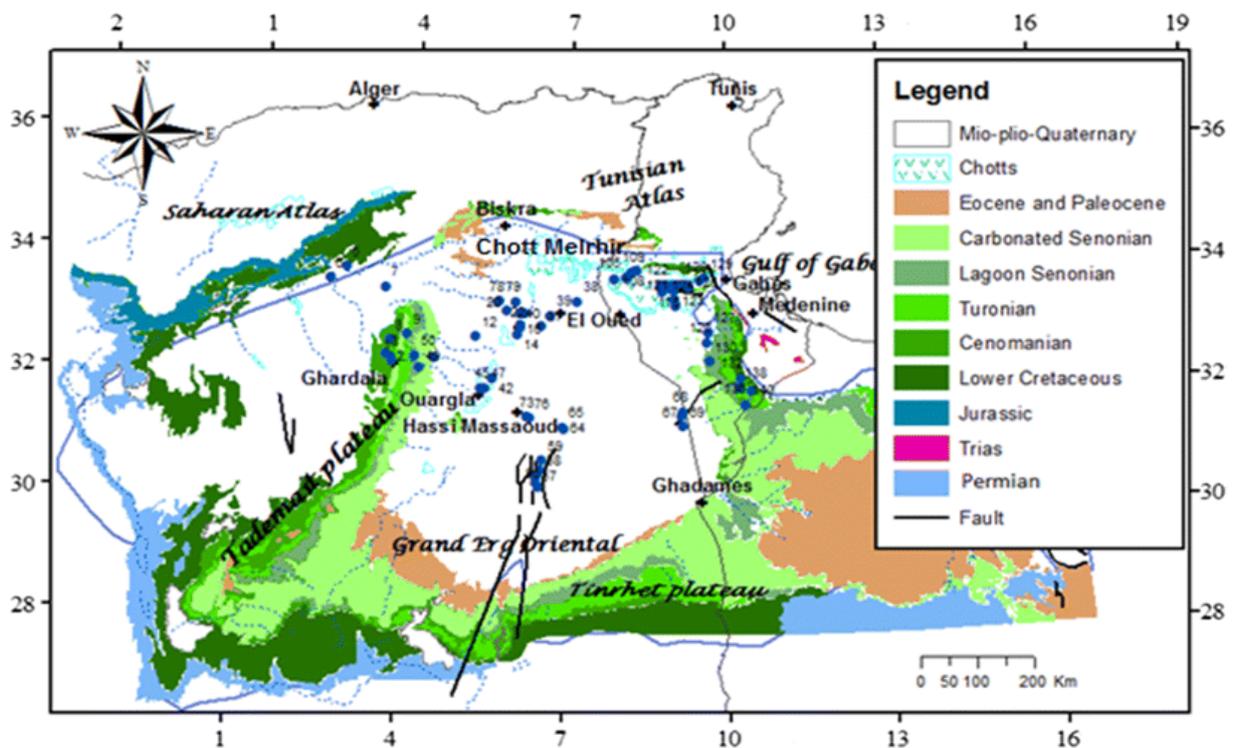


Figure 12: Carte géologique régionale (d'après la carte géologique 1/200 000 Busson 1970)

La définition litho stratigraphique d'El-Oued dans la région est définie par les études diagraphiques des forages hydrauliques et des forages d'exploration pétrolière réalisés dans la région

3.1.1 Secondaire :

a. Barrémien :

Cet étage est capté par tous les forages intercontinentaux de la zone ; il présente une lithologie avec une alternance de chenaux gréseux et argileux, parfois avec des intercalaires de calcaire, de dolomite, on a également trouvé du sable contenant du silex. L'épaisseur moyenne de cet étage est d'environ 200 à 230 m

b. Aptien :

Comme le Barrémien, ce dernier est constitué principalement de formations de dolomie, de marne et de marne. L'Aptien est le seul étage d'une épaisseur d'à peine plus de 30 mètres, selon le profil géologique des forages réalisés dans la zone.

c. Albien :

Cette couche est composée d'une alternance de marne, de dusa, surtout de calcaire et de silex et d'argile. La borne inférieure est formée par le sommet de la bande Aptienne, tandis que sa borne supérieure est constituée par l'apparition de la phase carbure. Selon le profil de forage de l'Albien, l'épaisseur de cette phase varie de 100 à 150 m ; ailleurs elle peut atteindre 200 m

d. Vraconien :

C'est en fait une zone de transition entre l'Albien sableux et le Cénomaniens carbonisé argileux. Cette couche est principalement composée d'alternances irrégulières de couches d'argile dolomitique. Il y a aussi des marches argilo-sableuses et rares en ciment calcaire passé. Le plus important de ce sol est que, du fait de l'importance de sa couche d'argile, il constitue un revêtement important pour Albi. L'épaisseur de ce plancher varie entre 250 et 300 mètres sur l'ensemble de la zone d'étude

e. Cénomaniens :

Tous les forages du secteur indiquent que cet étage est composé d'une alternance de dolomie, dolomie, dolomie, argile et anhydrite. Ce plancher agit comme un écran

impermeable. Quant aux limites de cette couche, on peut dire que la limite inférieure, caractérisée par l'apparition de vaporisateurs et de dolomie, la distingue nettement, et la limite supérieure, caractérisée par l'apparition de vaporisateurs et de calcaire, correspond à la limite inférieure de l'Etape Turoniennes.

f. Turonien :

Cet étage représente la base du complexe terminal. Il est généralement carbonisé et constitué de calcaires dolomitiques et de dolomite microcristalline dense, entrecoupés de calcaires de Toulon et parfois de marnes. Les forages de la zone montrent clairement que son épaisseur varie d'un endroit à l'autre, elle dépasse parfois 650 mètres.

g. Sénonien :

La plupart des études géologiques menées dans le Sahara algérien montrent que, d'un point de vue faciès, le Sénonien est constitué de deux groupes bien distincts : l'un correspondant au Sénonien lagunaire situé en bas, et l'autre au Sénonien carbonaté (haut).

h. Sénonien lagunaire :

Les limites sous cette forêt sont très nettes. Les lagunes du Sénonien sont caractérisées par une phase d'évaporation avec des argiles, ces dernières se distinguant aisément de celles du Turonien. Il est également composé d'anhydrite, de calcaire dolomitique, d'argile et surtout de salines massives surtout l'immense salar d'environ 150 mètres d'épaisseur. La limite supérieure de cette formation coïncide avec le sommet de la dernière intercalation d'anhydrite

i. Carbonisé :

Le deuxième sous-étage est constitué de dolomie, de calcaire dolomitique intercalé, de marnes argileuses, principalement de calcaire fracturé et de dolomite vacuolaire. Son épaisseur dépasse parfois 300 mètres. Il convient également de mentionner qu'il existe une continuité lithologique entre le Sénonien carbonaté et l'Eocène, où existent tous deux des calcaires et des nummulites aux mêmes propriétés.

3.1.2 Le Tertiaire :

a. L'Eocène :

Ce sol est formé de sable et d'argile, on rencontre parfois du gypse et des graviers. La partie inférieure de l'Eocène dans cette zone est carbonatée et la partie supérieure est une argile de type lagune, avec une épaisseur de couche de 150 à 200 mètres.

b. Le Miopliocène :

La limite supérieure de cette formation coïncide avec la coiffe du dernier intercalaire d'anhydride. Les collections sont souvent appelées complexes terminaux (CT). La plupart des parties détectées de cet horizon suggèrent que le Pliocène moyen consistait en un empilement de couches de sable alternées, avec du sable argileux intercalé avec du gypse et au-delà des degrés. Sur toute la chaîne du Sahara oriental, BEL et DEMARGNE séparent cet horizon en 4 niveaux :

- **Niveau argileux** : Son épaisseur est si faible que sa présence n'affecte que la partie centrale du Sahara Oriental
- **Niveau grés-sableux** : Comparé aux autres, c'est le plus puissant, et son épaisseur reste presque uniforme sur tout le désert du Sahara. En fait, le principal horizon aquifère se trouve dans cette couche - également connue sous le nom de complexe terminal (CT).
- **Niveau argilo-sableux** : Cela n'a pas beaucoup de sens d'un point de vue hydrogéologique ; ses limites sont toujours déroutantes
- **Niveau sableux** : Cette couche constitue le deuxième niveau aquifère du complexe terminal. Les deux couches de sable (b et d) sont donc très intéressantes d'un point de vue hydrogéologique. Ils correspondent aux aquifères sableux du complexe terminal.

3.1.3 Quaternaire :

Au Quaternaire, les dunes de sable étaient formées par des sédiments sableux de type vent, et les dunes formaient l'extrémité ouest du grand Erg oriental, et la partie nord était les dunes qui disparaissaient progressivement sous les dunes. C'est à ce niveau d'horizon que l'on rencontre la nappe phréatique.

Les colonnes stratigraphiques de certains forages montrent que l'aquifère a une épaisseur moyenne d'environ 60 m.

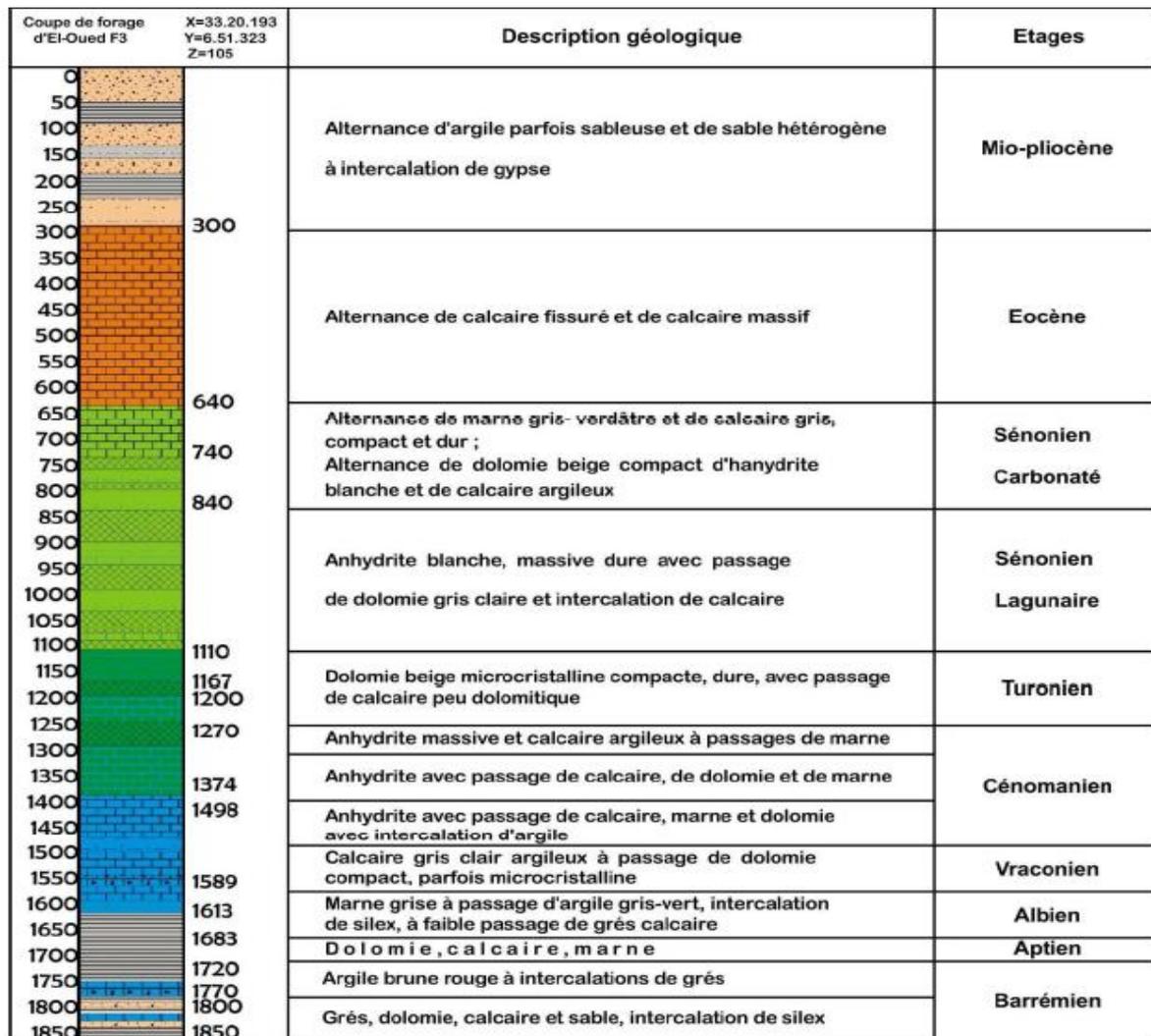


Figure 13 : Log de forage F3Albien, cité 19 Mars El-Oued (coupe d'après DRH 2011)

3.2 Cadre géologique locale :

Nous proposons de définir le comportement hydrogéologique de la nappe phréatique dans le cadre de cette étude. En précisant les descriptions lithologiques dans notre zone d'étude, nous étudierons plus précisément les strates du Miocène à Barrémien. Seuls les terrains Mio-pliocène sont des affleurements visibles. Ils sont recouverts d'épais sédiments quaternaires (dunes et cordons d'erg). La continuité du terrain et sa description lithologique est possible grâce à la diagraphie des forages.

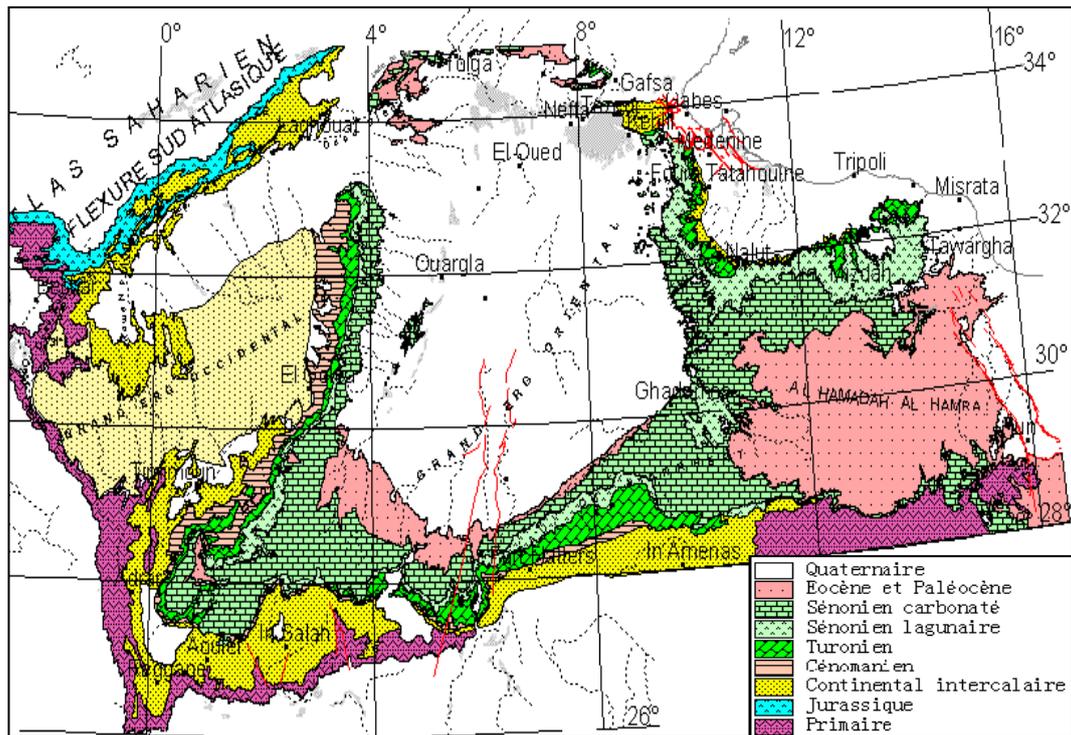


Figure 14 : Carte géologique du Grand Erg Oriental, (Baba Sy.M, 2005).

4. Conclusion :

Située au sud-est algérien, Oued Souf couvre une superficie de 11738 kilomètres carrés et représente 18 communes administratives avec une population de 486170 habitants. La topographie d'El-Oued est caractérisée par trois formes principales : les zones sableuses, les formes de plateaux rocheux et les dépressions. La région a un climat saharien, avec des étés chauds et secs et des hivers doux, avec une température moyenne annuelle d'environ 27,4°C.

Les précipitations annuelles moyennes sont d'environ 71,16mm. Le bilan hydrique est insuffisant en raison des faibles précipitations et de la forte évapotranspiration.

Les strates de cette zone sont caractérisées par une série sédimentaire allant des dépôts du Crétacé inférieur au Quaternaire. La géologie d'El-Oued est masquée par une épaisse couche de terres quaternaires. La description a été faite en raison de l'interprétation des enregistrements stratigraphiques des forages d'eau. Les strates de cette zone sont caractérisées par les séries sédimentaires du Crétacé inférieur au Quaternaire pour représenter.

Chapitre II
Hydrogéologie

1. Introduction :

Les études hydrogéologiques permettent d'identifier différents aquifères, leurs Géométrie, évolution des niveaux d'eau piézométriques, sens d'écoulement de l'eau. Cela nous fait prendre conscience :

- Carte du socle rocheux de l'aquifère.
- Profils hydrogéologiques généraux, régionaux et locaux.
- Diagramme manométrique du sens d'écoulement de l'eau.

Le système aquifère du nord du Sahara couvre plus d'un million Afrique du Nord-Ouest Km² : Algérie environ 700 000 Km², 80 000 Km² en Tunisie et 250 000 Km² en Libye. Ce sont des sédiments continentaux où l'on peut effectivement distinguer deux aquifères, on va De bas en haut, CI et CT.

2. Cadre hydrogéologique général :

La zone d'étude fait partie du bassin sédimentaire septentrional saharien qui s'étend Il couvre une superficie de 780 000 kilomètres carrés.

Ce bassin, vaste zone d'étalement, forme une importante dépression topographique, sous laquelle s'étend un bassin squelettique en forme de ligne synchrone asymétrique.

La chaîne sédimentaire, au centre du cratère, est caractérisée par des événements tectoniques destructeurs majeurs.

Les dépressions des berges sont généralement faibles, à l'exception de la zone frontalière située au nord-est du bassin.

Celle-ci comprend, à sa base, les formations marines anciennes qui sont surmontées dépareillées par les formations continentales secondaires et tertiaires d'une épaisseur de plusieurs milliers de mètres. Le Quaternaire est derrière lui.

Il se compose principalement de dunes de sable pouvant atteindre quelques centaines de mètres d'épaisseur.

Seule la série supérieure présente un intérêt hydrogéologique certain allant du Crétacé au Quaternaire, elle constitue une alternance de grès, sables, sables argileux et d'argiles, de calcaires, dolomies et de marnes, ainsi que d'évaporites. Cette série comporte trois grands ensembles perméables auxquels correspondent trois grands systèmes aquifères phréatiques.

2.1. Présentation des aquifères dans la zone d'étude :

D'un point de vue hydrogéologique, la zone d'El-Oued est représentée par deux systèmes aquifères : le Complexe Terminal et le Continental Intercalaire. Les deux systèmes ont un aquifère libre appelé la nappe phréatique au-dessus d'eux.

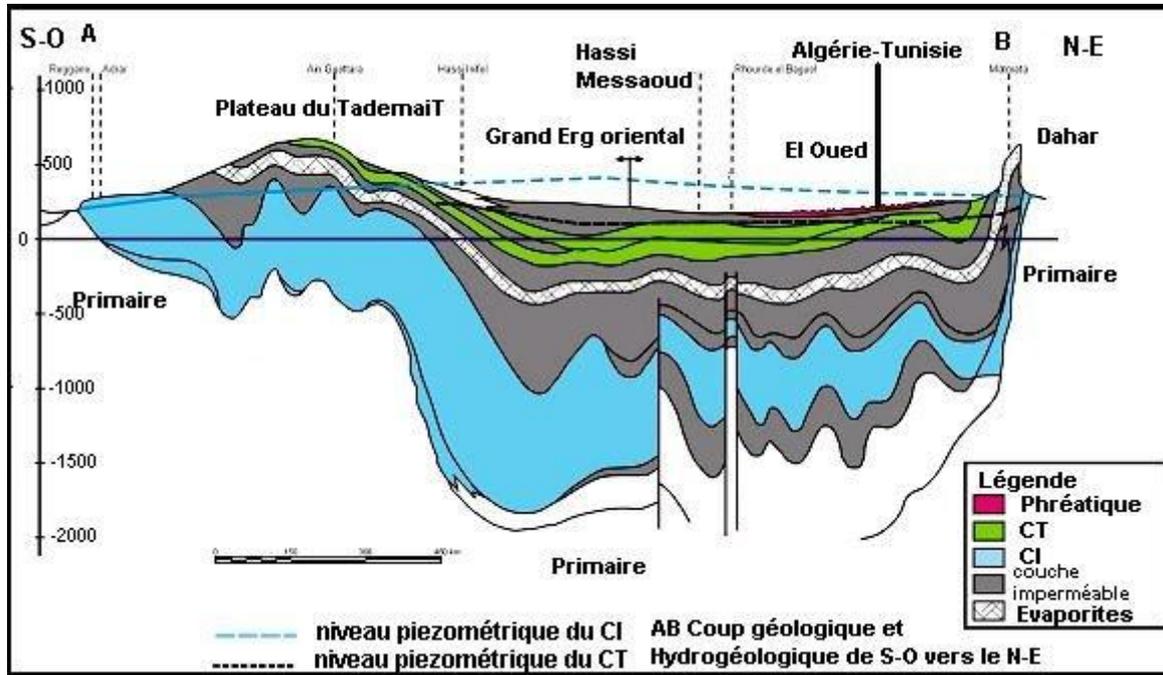


Figure 15 : Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO 1972).

2.2. Nappe phréatique :

PLINE dans son Histoire naturelle ancienne de 1855 notait ceci : à 12 jours de marche de la grande Syrte à l'ouest se trouvent des puits appartenant aux Ammaniens, un peuple qui trouve facilement des sources à une profondeur de 2 coudées.

Cette nappe abondante est de plus en plus profonde vers le sud. Elle est à 7 ou 8 m à Guemmar, à 14 ou 15 à El-Oued et peut se trouver à 20 m de profondeur dans les villages au sud d'El-Oued.

L'eau de la nappe phréatique est omniprésente à Oued Souf. Il est situé sur le plancher de gypse dans le Pontien supérieur. La zone d'aération séparant la surface de ces eaux et la surface de la terre ne doit pas dépasser une distance verticale moyenne de plus de 40 m de sable non aqueux.

Selon Dubief 1947, l'approvisionnement de cet aquifère, qui n'est assuré que par infiltration, est à exclure car les pluies typiques du désert, même parfois généreuses, ne

suffiraient jamais à elles seules à expliquer l'existence de telles eaux. Accumulation d'eau dans le sous-sol.

La nappe phréatique dans les sables des dunes du Quaternaire (zone saturée) a une épaisseur de quelques mètres (ex : 25 mètres à El-Oued).

Les études de leïèvre 1969, de Nesson 1978 et de Guendouz et al. 1992 montrent d'une manière générale, comme d'ailleurs dans tout le Bas-Sahara que le sens de l'écoulement des eaux de la nappe phréatique suit celui de la nappe du complexe Terminal, c'est-à-dire du sud vers le Nord.

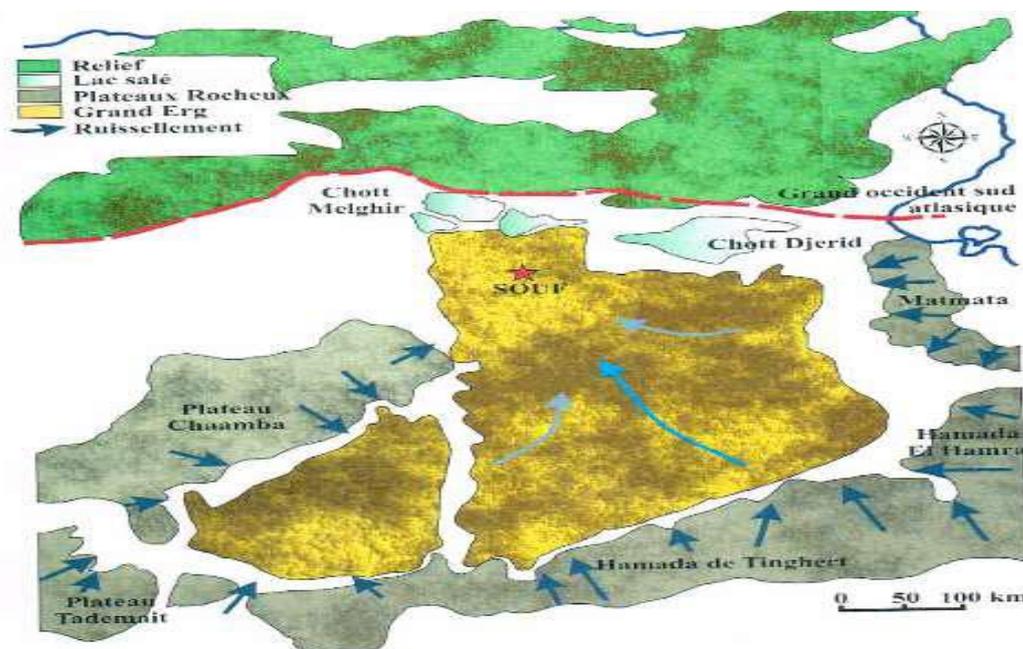


Figure 16 : Zone d'alimentation de la nappe phréatique et le sens d'écoulement de la nappe

(Cote Marc, 2006) Modifier par Hassani Nadhir.

2.3. Nappe Complexe Terminal :

Selon la définition de Kilian C 1931, le terme CT désigne la stratigraphie continentale, Sableuse et argileuse du Pliocène moyen. Mais selon BEL et DEMARGNE en 1966 : « La nappe du CT contenue dans les sables du Miopliocène est plus ou moins en relation avec les nappes de l'Eocène, du Sénonien et du Turonien, de sorte qu'à l'échelle de l'ensemble du Sahara, on peut considérer que ces différents niveaux forment une seule et même nappe, la nappe du CT, par opposition au CI ».

Avec le projet d'étude des ressources en eau du Nord du Sahara est apparu le concept de CT, un nom d'abord popularisé par BEL et CUCHE 1969 : Ce terme de nappe du CT qui regroupe sous le même nom de nombreux aquifères situés dans des formations géologiques différentes a été choisi parce que ces réservoirs font déjà partie du même système hydraulique. Les interconnexions entre Sénonien, Eocènes Miopliocène sont évidentes sur l'ensemble du bassin, à l'exception pour la région des Chotts où s'intercalent l'Éocène moyen et supérieur imperméable. L'aquifère Turonien est plus désigné en raison de la couverture étanche du Sénonien lagunaire. Cependant, ses niveaux sont en accord avec les niveaux de sénonien ou de Miopliocène au bord du bassin.

La zone qui compose le CT s'étend sur une superficie d'environ 350 000 kilomètres carrés en Algérie et en Tunisie, couvrant essentiellement la majeure partie du bassin oriental et tout le désert du nord, du Saoura à l'ouest jusqu'au flanc nord du plateau de Tademaït et Tinhert en Algérie, depuis Gargaf au nord du Fezzan, en Libye.

Ainsi son extension longitudinale est inférieure ou égale à celle de CI 1600 km, tandis que son élévation dans la direction nord-sud est inférieure à 600 km.

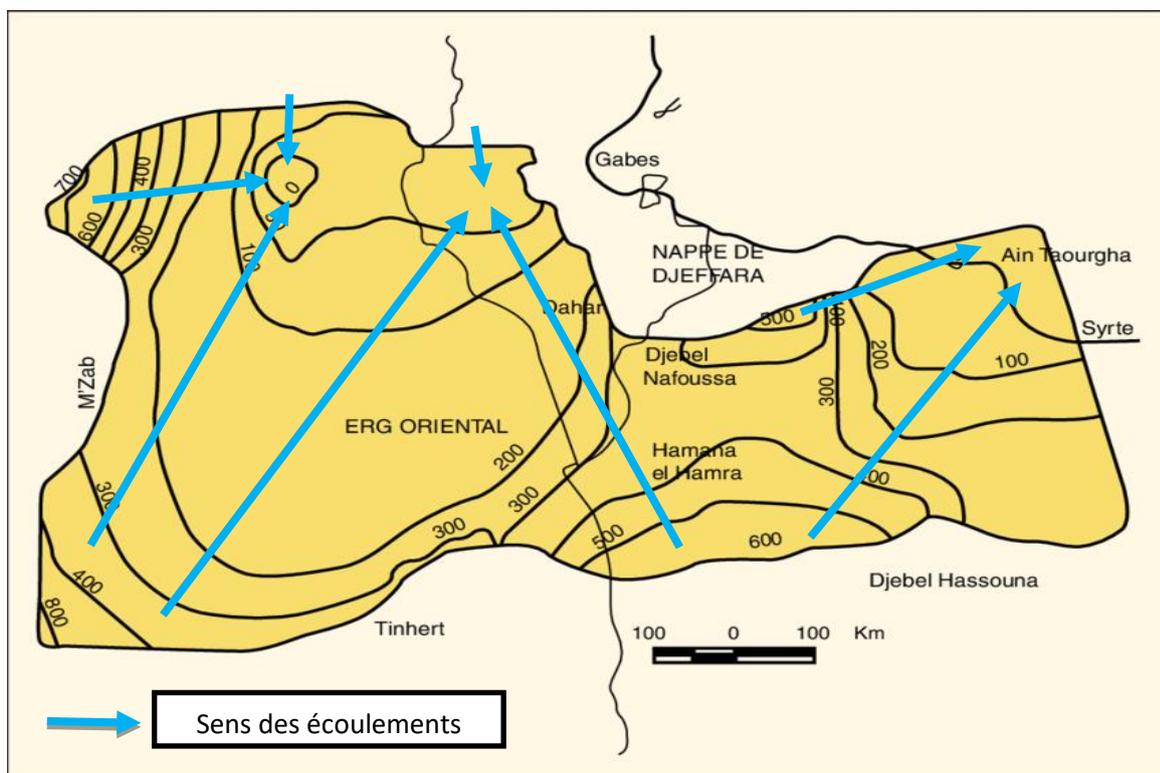


Figure 17: Piézométrie du Complexe Terminal (OSS, 2003).

2.3.1. L'exutoire du CT:

Dans le bassin occidental, l'écoulement se produit dans l'affleurement du piémont au sud (limite sud des zones d'affleurement du Grand Erg et du CI). A l'extrême ouest, une partie de ce ruisseau est coupée vers le fossé de la Saoura. Et à partir de la crête du M'Zab, tout le flux d'eau converge vers la ceinture des Chotts, c'est-à-dire Il change radicalement du sud au nord sous le Grand Erg Oriental. Dans le sud de la Tunisie et de la Libye, ce flux est dirigé vers le nord-ouest, puis vers Nord continue, la Libye a un fort gradient en raison de taux de transmission réduits réservoir.

2.3.2. L'exploitation de CT dans la région d'Oued Souf:

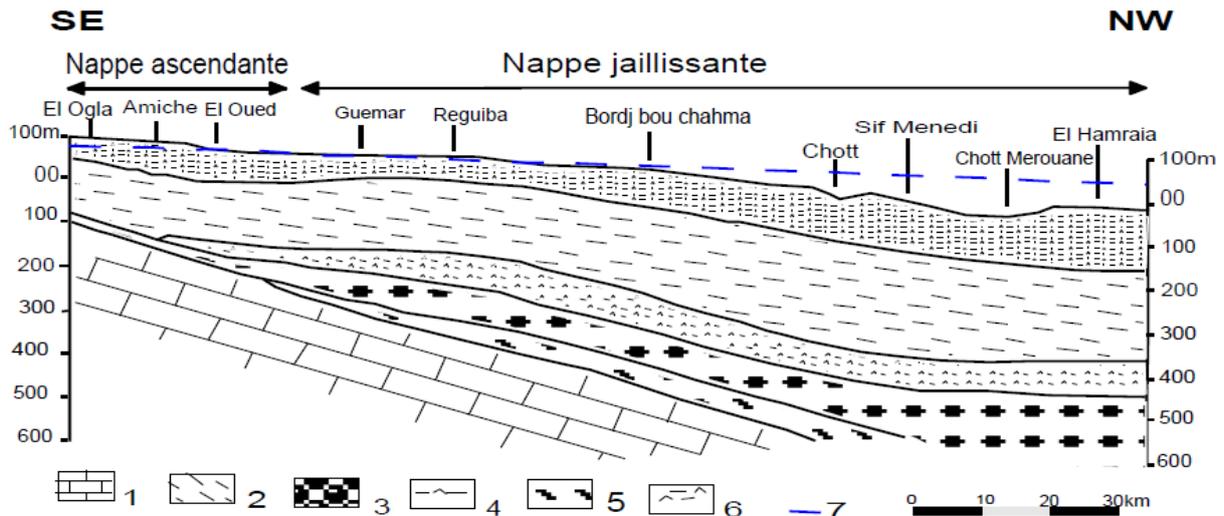
Le premier puits artésien semi-profond a été construit en 1953 à Seif El-Manadi (90 km au nord-ouest d'El-Oued), foré à une profondeur de 435 m, et a produit un débit estimé à environ 4 m³/m, permettant l'émergence de la première palmeraie irriguée.

Dans la région d'Oued Souf, l'eau coule depuis le printemps 1956 d'un puits foré a El-Oued, à une profondeur d'environ 300 mètres ; Le débit est très faible (3,3 l/s) et la pression au sol est très faible +2,4 m.

Selon l'inventaire des puits de la DRH El-Oued, il existe actuellement 153 puits « CT » dans la zone du Souf ; 124 de ces puits sont destinés à l'approvisionnement en eau potable.

Quant au secteur agricole, il y a des investissements importants dans la région du Souf, qui a besoin de grandes quantités d'eau pour l'irrigation; A cet effet, la Direction des Ressources Hydriques d'El-Oued a alloué 29 puits d'irrigation.

Selon la « DRH » d'El-Oued, le débit exploité dans la Wilaya d'El-Oued à partir les nappes du CT est d'environ 18 m³/s, mais pour les communes de notre zone d'étude le débit utilisé n'excédait pas 4,5 m³/s.



- 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.

Figure 18: Coupe hydrogéologique d'El-Oued (A.N.R.H, 1989)

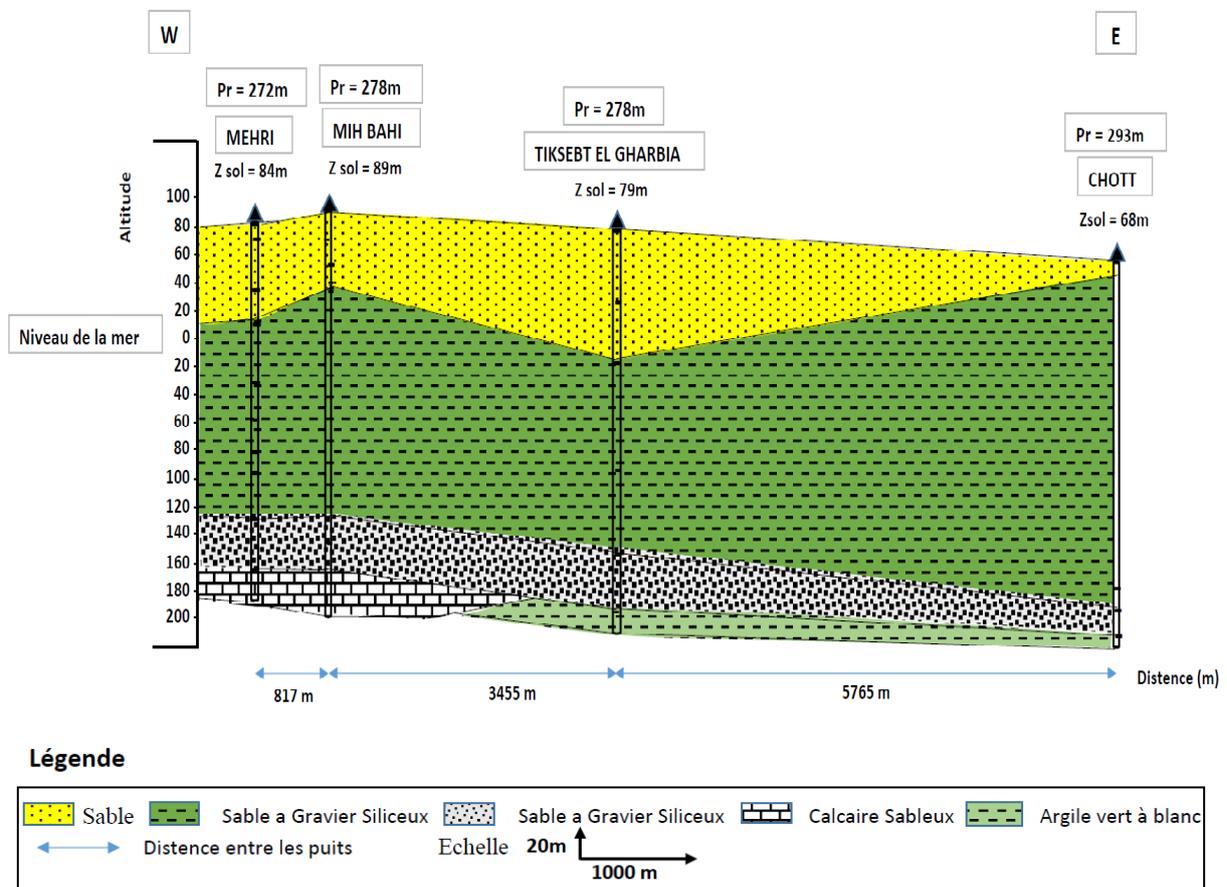


Figure 19: Coupe hydrogéologique de la zone d'étude en 2010

a. 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 aurésienne, dans la région d'étude elle se trouve à 280 mètres de profondeur.

Il convient également de noter qu'il existe une deuxième nappe de sable d'âge pontien au-dessus des bancs supérieurs de la nappe calcaire en contact avec les marnes de l'Éocène inférieur et les graviers siliceux, formant une deuxième nappe captive en continuité avec la nappe du Pontien du sud Tunisien, cette nappe est entre 400 et 450 mètres de profondeur. L'épaisseur utile de cette nappe est d'environ 50 mètres, les eaux de ces deux derniers s'écouleront du sud-ouest vers le nord-est, c'est-à-dire vers la région du chott (Malghir et Merouane).

Dans les zones fortement exploitées comme la ville d'El-Oued, l'eau est extraite par pompage. Par contre, dans les zones moins exploitées, Taleb El Arabi et Douar Elmaa par exemple, la nappe est actuellement exploitée de manière artisanale. C'est le cas de la nappe Pontienne.

b. Les nappes de calcaires :

Le complexe terminal a une litho-stratigraphie plus complexe ; Les puits qui captent cette nappe montrent la présence de deux niveaux qui servent de critère de classification des eaux souterraines ; Du sud au nord, On remarque que le premier niveau est calcaire, parfois c'est du calcaire pur, et d'autres fois il est constitué de calcaire gypseux, ce qui correspond au niveau inférieur. Le niveau supérieur, majoritairement représenté par du calcaire siliceux, sert de zone de transition entre la nappe calcaire et la nappe sableuse. En général, ces deux niveaux sont séparés par des formations tantôt marneuses, tantôt sableuses avec des couches d'argile rouge.

L'écoulement des eaux de la nappe du CT (Figure 20) 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.

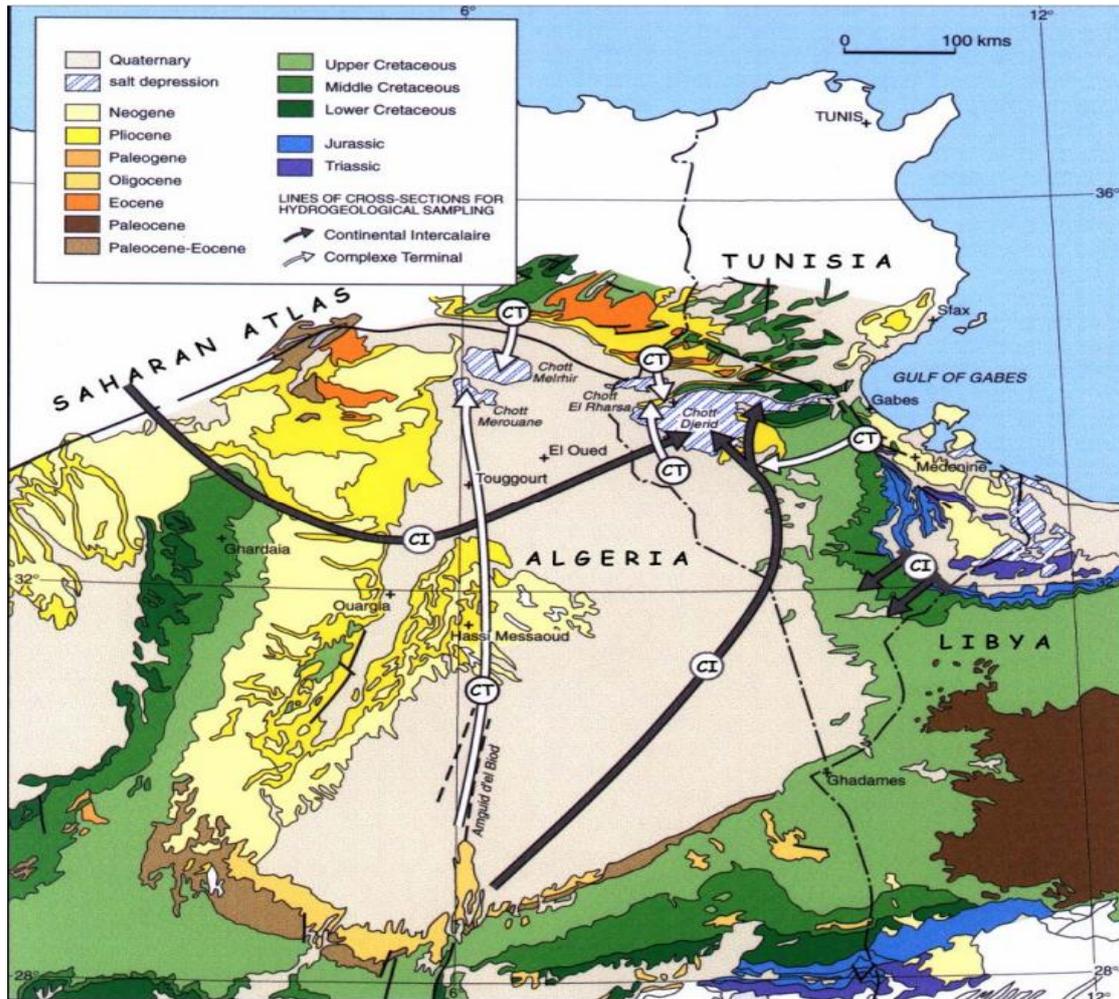


Figure 20 : Le sens d'écoulement des aquifères CT et CI (UNESCO, 1972).

2.4. Nappe du Continental Intercalaire :

La nappe du CI, recouvert d'argiles et de carbonates du Cénomaniens, s'étend sur tout le bassin sédimentaire du Sahara septentrional, couvrant une superficie de plus de 600 000 kilomètres carrés.

Cet aquifère se trouve dans les formations continentales des horizons sablo-gréseuses et argilo-sableuses du Crétacé inférieur (Barrémien et Albien).

Les formations du CI s'étendent jusqu'au bord de la plate-forme, dans une auréole continue depuis El Goléa (Algérie) jusqu'à la limite sud de Hamra (Libye).

Dans la partie nord-ouest du bassin, le CI longe l'Atlas saharien et les contreforts de l'affleurement nord-est Les falaises de Dahar et Jebel Nefusa.

Plus au sud, CI se situe directement sur les formations marines paléozoïque, formée en Affleure une ceinture continue depuis la frontière marocaine à la limite nord-ouest du bassin, jusqu'à la ville des Hun (sud-est de la Libye).

2.4.1. L'exutoire du CI :

Le principal exutoire naturel de l'aquifère est situé en Tunisie. Il est constitué d'élévations verticales dues aux failles de la région de chott Fadjaj et grâce à l'écoulement vers l'aquifère tunisien de Geffara à travers les failles de Hamma et Médenine.

Les bordures ouest et sud du Tademaït forment également une importante zone d'exutoire naturel, qui était peut-être auparavant caractérisée par des sources dominées par le Faggaras.

L'eau non absorbée s'évapore dans un chapelet de sabkhas qui occupent le fond des dépressions de Gourara, Touat et Tidkelt.

De plus, il peut y avoir des transferts verticaux du Continental Intercalaire vers le Complexe Terminal grâce aux fractures qui caractérisent l'Amguid-El Biod.

Dans le reste du terrain, hormis la zone de contact potentiel avec le Complexe Terminal au Grand Erg Occidental, le toit de la formation, composé d'une épaisse couche d'argile et d'anhydrite, est totalement imperméable et isole complètement les deux réservoirs. Le Continental Intercalaire a d'abord été exploité, pendant plusieurs siècles, avec des débouchés industriels, à travers le système traditionnel des foggaras, introduit le long du plateau du Tademaït à partir du X^{ème} siècle.

La formation du Continental Intercalaire est représentée par des dépôts continentaux sablo- gréseux et sablo-argileux du Crétacé Inférieur. C'est un système aquifère multicouche avec une profondeur locale de 2000 mètres et une force de 200 à 400 mètres. Aujourd'hui, dans toute la région du Souf, il existe quatre puits CI. Trois en production AEP et un nouveau puits au 19 mars avenue pour alimenter la station de dessalement.

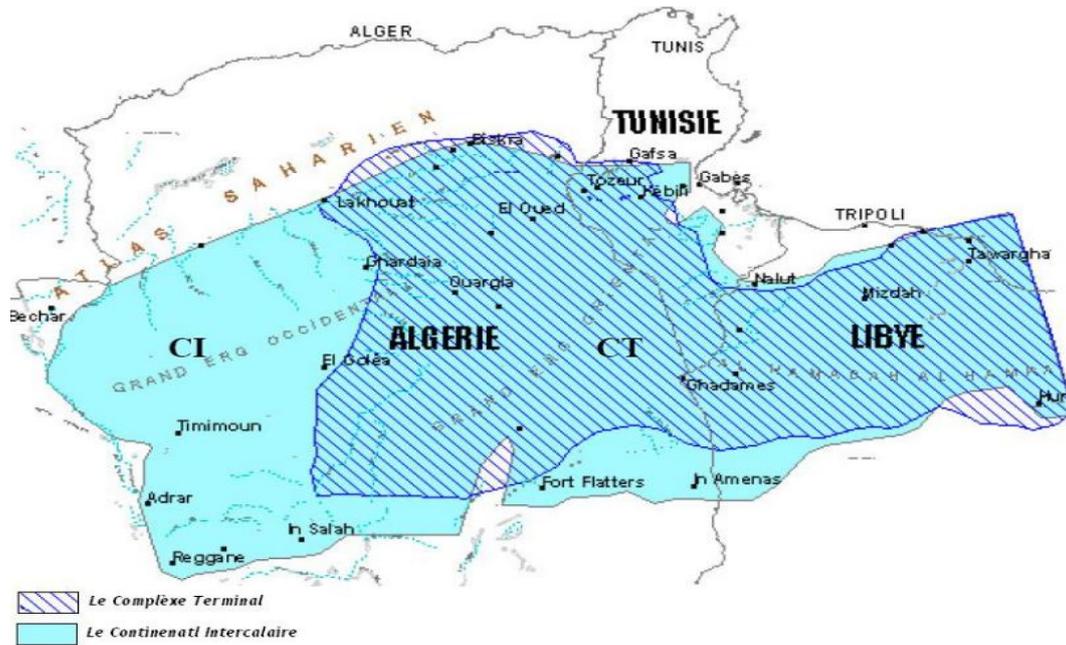


Figure 21 : Situation géographique des deux nappes aquifères le Continental Intercalaire et le Complexe Terminal (UNESCO, 1972)

3. Estimation des réserves :

Des études hydrogéologiques montrent que le Sahara Algérienne possède d'énormes réserves d'eau souterraine, constituées de grès d'une porosité de 25%, et la superficie du bassin est de 600 mille kilomètres carrés, une étude de l'UNESCO (1972) estime approximativement la réserve d'eau moyenne pour tous les aquifères CI et CT à $60000 \times 10^9 \text{ m}^3$. Margat (1992), sans détail exact de la méthode de calcul, indique $40\,000 \times 10^9 \text{ m}^3$ de la réserve aquifère du CI. Il évalue la réserve du CT (couvrant $350\,000 \text{ km}^2$) à $20000 \times 10^9 \text{ m}^3$, ici, nous essayons d'évaluer les ressources dans les aquifères du Sahara septentrional sous la région du Souf. Les réserves totales du réservoir représentent le volume total des formations aquifères auxquelles la porosité efficace est appliquée (OSS 2002).

Tableau 12: Épaisseur moyenne des différents aquifères et estimation de la réserve (UNESCO 1972)

Aquifère	Nappe phréatique	CT	CI
Epaisseur mouillée (m)	45	342	385
Superficies Mm^2	11738		
Porosité efficace n_e	12.49×10^{-2}	5×10^{-2}	5×10^{-2}
Reserve ($\times 10^9 \text{ m}^3$)	65.97	200	226

L'estimation des réserves, nappe phréatique, CT et CI est devenue possible après avoir connu l'épaisseur moyenne de chaque réservoir, le volume utile ou réserve est calculé par la formule:

$$V = e \times s \times ne$$

Où e : épaisseur moyenne ; s : surface ne : porosité effective.

Selon les études menées par l'ANRH pour mieux connaître les aquifères du Sahara septentrional, ces études ont permis d'obtenir une estimation de l'épaisseur moyenne de chaque aquifère.

Tableau 13: Récapitulatif des systèmes aquifères d'El-Oued (D'après DRH 2005).

Nature Hydrogéologique		Nature Lithologique	Etage		Ere
Nappe phréatique		Sables	Quaternaire		
Niveau imperméable		Argiles			
1 ^{er} nappe des Sables	Complexe Terminal	Sables	Pliocène		Tertiaire
Semi-perméable		Argile gypseuses			
2 ^{eme} nappe des Sables		Sables grossiers, Graviers	Pontien	Miocène	
Niveau Imperméable		Argiles lagunaires, Marnes	Moyen	Eocène	
Nappe des calcaires (perméable)		Calcaire fissuré	Inférieur		crétacé
Semi-perméable			Evaporites, argiles	Sénonien lagunaire	
Niveau imperméable		Argiles, marne	Cénomancien		
Nappe de CI	Sables et Grés	Albien			

4. Piézométrie :

L'analyse des cartes piézométriques permet de déterminer l'écoulement des eaux souterraines et d'identifier les zones d'approvisionnement et de sorties de la nappe de complexe terminal et celle de continental intercalaire. Le gradient hydraulique est un facteur important dans l'estimation des rapports latéraux.

Le niveau de la nappe phréatique est mesuré à l'aide d'une sonde électrique dont le capteur interagit avec la conduction de l'eau. Lorsque la sonde atteint l'interface air/eau, un contact électrique s'établit entre deux tiges métalliques, émettant un signal sonore et lumineux.

Tableau 14: Les coordonnées des puits dans la zone d'étude*

Sigle	Nom De Forage	X	Y	Z	NP	Profondeur	NS
P2	BOUHMD1	6°54'00"	33°22'11"	75	43	275 m	32 m
P3	BOUHMD2	6°53'33"	33°21'45"	79	24	284 m	55 m
P4	EL ASNAM 400 LGTS	6°51'42"	33°21'20"	92	46,95	345 m	45,05 m
P5	EL ASNAM 400 LGTS BIS	6°51'44"	33°21'22"	92	58,2	300 m	33,8 m
P6	CITE 19 MARS	6°50'49"	33°20'35"	92	22,5	280 m	69,5 m
P12	TIKSEBT EL GHARBIA	6°49'44"	33°22'39"	79	36,7	278 m	42,3 m
P13	MEHRI F1	6°48'08"	33°20'50"	84	38,53	272 m	45,47 m
P21	AEP CHOTT	6°53'09"	33°23'53"	68	30,5	293 m	37,5 m
P26	PZ 14 UNIVERSITE	6°51'34"	33°23'35"	72	42,9	250 m	29,1 m
P27	300 LOG	6°51'32"	33°21'24"	76	34	277 m	42 m
P28	MIH BAH1	6°48'14,4"	33°21'16,89"	89	36,61	278 m	52,39 m

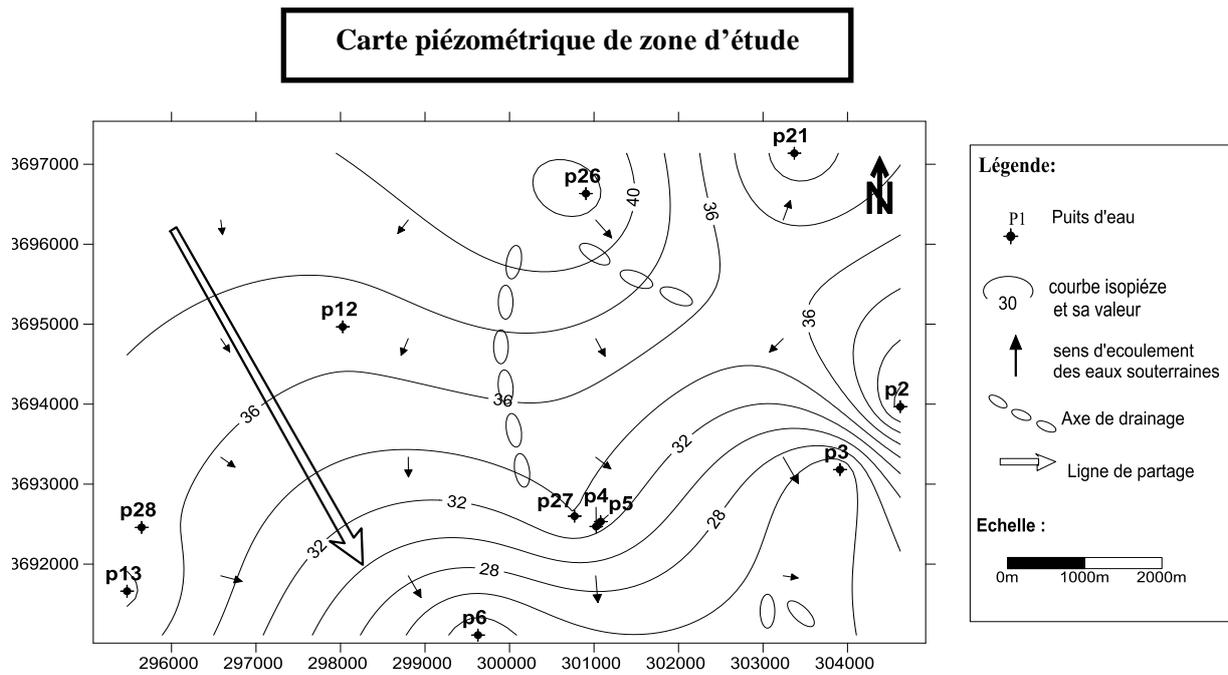


Figure 22 : Carte piézométrique de zone d'étude (janvier 2010)

4.1. Interprétation :

La carte piézométrique à l'échelle de la zone montre que les eaux souterraines s'écoulent dans une direction majeure du nord-ouest au sud-est, avec un espacement assez constant entre les courbes sur la majeure partie de la carte. Les courbes aussi entre les puits P2 (Bouhmid 1) et P3 (Bouhmid 2) sont étroites, avec une forte pente.

Une ligne de partage dans le même sens que l'écoulement principal "NW-SE", ce dernier passant par l'ouest de P12 (Tiksebt Elgharbia) et P6 (Cite 19 Mars).

D'autre part, il existe deux axes de drainage, un grand prenant une direction nord-ouest du P26 (PZ14 Université) vers le P27 (300 LOG), l'autre passant du P26 (PZ14 Université) et se dirigeant vers le P2 (Bouhmid1) selon le Direction NW vers E.

4.2. Interpolation des valeurs des niveaux piézométriques (m) :

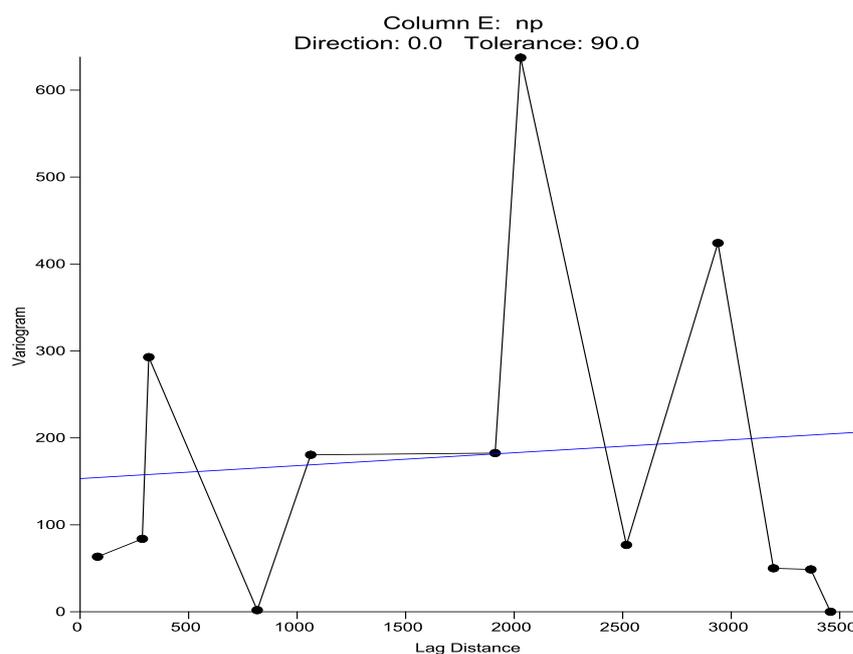
La théorie de base du Krigeage, et par extension de l'approche géostatistique, est que les données sont continuées dans l'espace, soit de manière uniforme, on parlera alors d'isotropie, ou de manière sélective (anisotropie), angulaire ou par distance d'influence. La variance intersites dépend ainsi de la distance entre les sites (Goovaerts 1999). Pour s'assurer que les données répondent à ce critère, il est nécessaire de générer un Vario gramme préalablement à l'estimation par Krigeage. Quand la forme du Vario gramme est connue, il devient possible d'estimer les valeurs pour les sites où l'on ne dispose pas de données en appliquant un modèle sur le Vario gramme pour interpoler les valeurs là où on ne dispose pas de mesure.

4.2.2. Caractéristique statistiques :

Tableau 15 : Caractéristique statistique des valeurs mesurées de NP (m) en 2010 (SURFER)

Données	Valeurs
Nombre de points de mesure	11
Min	22.5
Max	58.2
Moy	37.62
Médiane (2 ^{ème} quartile)	36.7
1 ^{er} quartile	31.3
3eme quartile	42.97
Erreur standard	3.08
Ecart-type	10.23
Variance	104.80
Intervalle de confiance 95%	6.87
Intervalle de confiance 99%	9.78
Coefficient de variation	0.27%

Pour 11 points de mesures nous n'avons pas une simulation entre la médiane (valeur centrée) (36,7 m) et la moyenne (37,62 m). Le coefficient de variance traduit une dépression relative de 0,27%, alors que l'écart-type une dispersion absolue de 10,23 m.

**Figure 23** : Variogramme du niveau piézométrique de la zone d'étude en 2010,

4.2.3. Variogramme de niveau piézométrique (m) :

La fonction calcule la différence attributive entre des données voisines séparées par une distance pour évaluer si ces observations présentent une information similaire.

L'étude variographique a été réalisée en combinaison les trois modèles mathématiques Gaussien, Sphérique et linéaire. L'allure de ce variogramme construit avec un pas de 93 m.

On observe que le variogramme ne tend pas vers 0 pour des petites distances. Nous montrons l'existence de l'effet de pépite. Ceci est dû au fait que le variogramme n'est pas capable de capturer l'ensemble de la structure spatiale dans la parcelle, et ce surtout à petite échelle (Figure 23). La courbe présente une allure irrégulière.

4.2.4. Carte interpolée par krigeage :

Nous avons observé que la carte des iso valeurs des niveaux piézométriques établis en utilisant le krigeage universel suit cette tendance. Nous pouvons remarquer (figure 24) que les niveaux piézométriques varient entre 22 m et 56 m. L'observation de la carte montre que les niveaux piézométriques sont faibles dans la partie sud-ouest de l'aquifère.

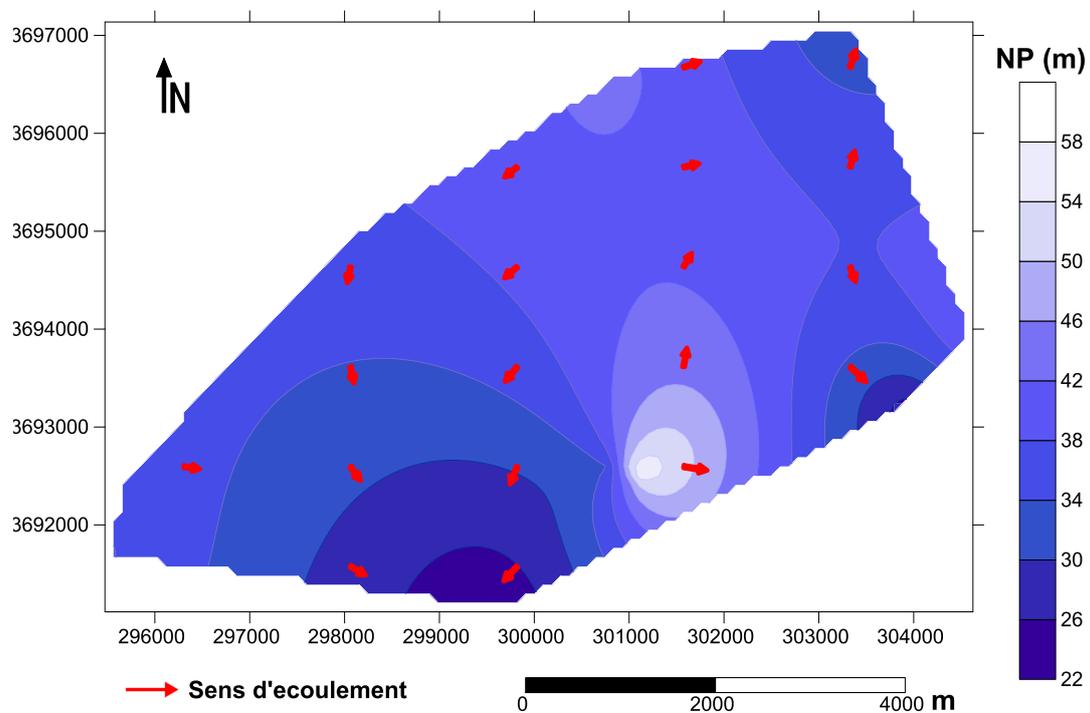


Figure 24 : Carte du niveau piézométrique interpolé par Krigeage de la zone d'étude en 2010.

Les caractéristiques statistiques du champ des valeurs krigées sont indiquées au tableau suivant :

Tableau 16 : Paramètres statistiques globaux des valeurs Krieger des niveaux piézométriques (m)

Nombre de point	Max (m)	Min (m)	Moy (m)	Ecart-type (m)	Coefficient de variation (%)
2830	56,28	23,06	36,67	5,09	0,13

Il ya eu 2830 valeurs estimées sur 3770 nœuds, l'estimation n'ayant pas été faite aux endroits où la densité de points était trop faible.

Si l'on compare ce tableau (N°19) au tableau N°18, on constate :

Que la valeur maximale krigée est trop proche à la valeur maximale observée ; 56,2 m krigée et 58,2 m observée, et les valeurs moyennées sont quant à elles à peu près identiques : 36,67 m krigée et 37,62 m mesurée.

5. Hydrodynamique :

5.2. Introduction :

L'essai est un processus qui est couramment effectué dans les études hydrogéologiques, il est nécessaire de collecter toutes les informations hydrogéologiques disponibles, afin d'adapter correctement le programme d'essai, ce sont :

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

5.3. Déterminations des caractéristiques hydrodynamiques :

La détermination des caractéristiques hydrodynamiques du système aquifère peut être examinée de deux points de vue :

- Le premier, appelé "essai de la nappe" ou " aquifère test", nécessite d'identifier :
La perméabilité, la transmissivité, le coefficient d'emmagasinement et l'effet des limites.

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

- Le deuxième s'appelle un "essai de puit" ou "well test". Les tests sont exécutés à débit constant avec mesure de rabattement croissant, ou palier de débit.

Cette étude est basée sur le programme "AQUIFER TEST" qui simule, mesure et représente graphiquement tous les paramètres de l'aquifère, et sur l'interprétation de celle méthode du **Cooper & Jacob** et **Thies**.

5.3.2. Essai du Chott :

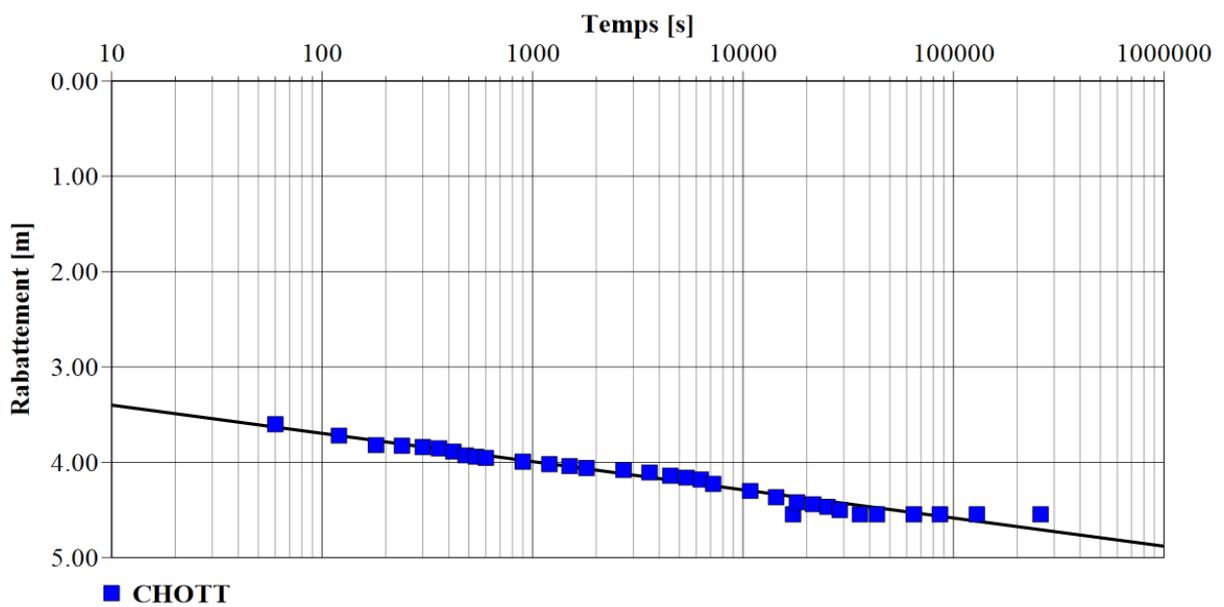


Figure 25 : Courbe de décente de puit de Chott (Cooper & Jacob) en 2010.

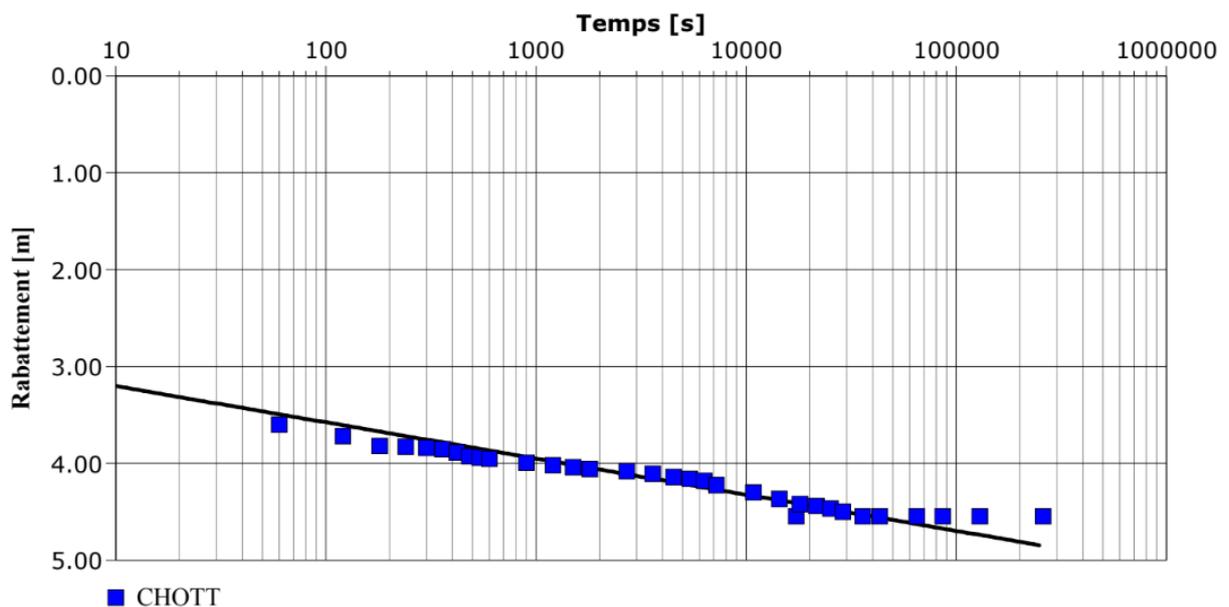


Figure 26 : Courbe de décente de puit de Chott (**Thies**) en 2010.

D'après le logiciel de « aquifer test » et selon la formule de **Cooper & Jacob** et **Thies** nous donne les valeurs suivantes :

Tableau 17: résultats des essais de puit de Chott en 2010.

	T m²/s	K m/s	S
Selon Cooper & Jacob	2.54×10^{-2}	7.24×10^{-4}	1.44×10^{-10}
Selon Thies	2.01×10^{-2}	5.75×10^{-4}	10^{-7}
Le moyen	2.275×10^{-2}	6.495×10^{-4}	5×10^{-8}

T : transmissivité ; **K** : Conductivité hydraulique ; **S** : Le coefficient d'emmagasinement

5.3.3. Essai d'El-Oued centre :

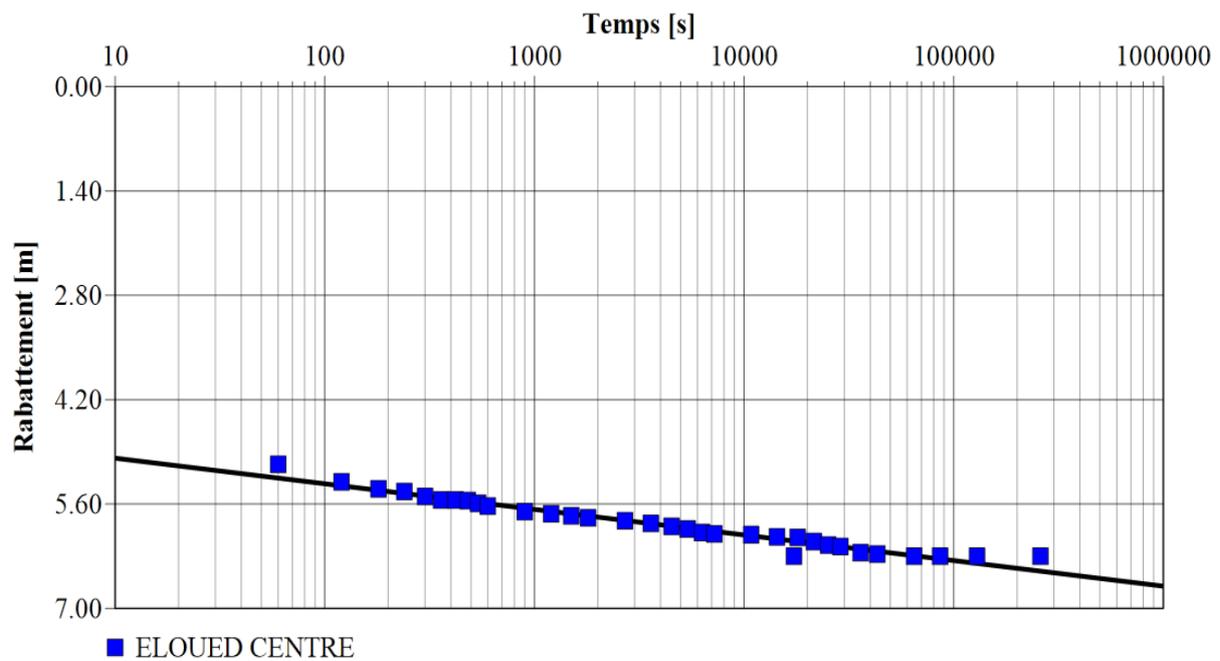


Figure 27: Courbe de décente de puit d'El-Oued centre (**Cooper & Jacob**) en 2010.

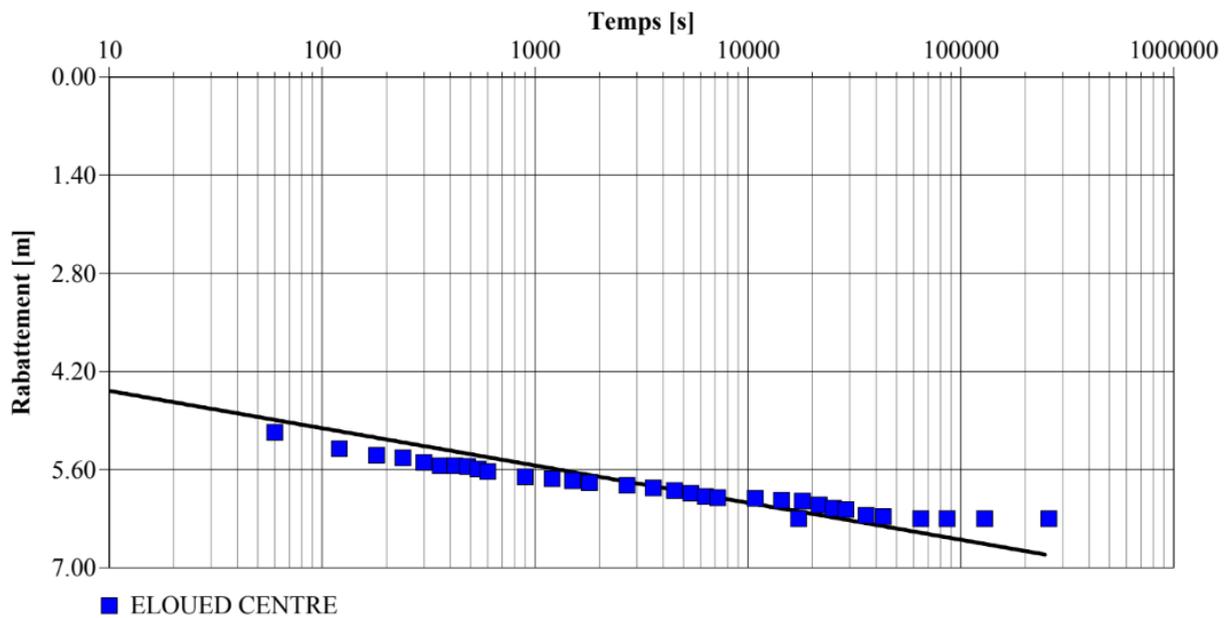


Figure 28: Courbe de décente de puit d’El-Oued centre (**Thies**) en 2010.

Tableau 18: résultats des essais de puit d’El-Oued centre en 2010.

	T m²/s	K m/s	S
Selon Cooper & Jacob	2.30×10^{-2}	7.94×10^{-4}	1.14×10^{-13}
Selon Thies	1.49×10^{-2}	5.12×10^{-4}	10^{-7}
Le moyen	1.895×10^{-2}	6.53×10^{-4}	5×10^{-8}

5.3.4. Essai de 300 Logs :

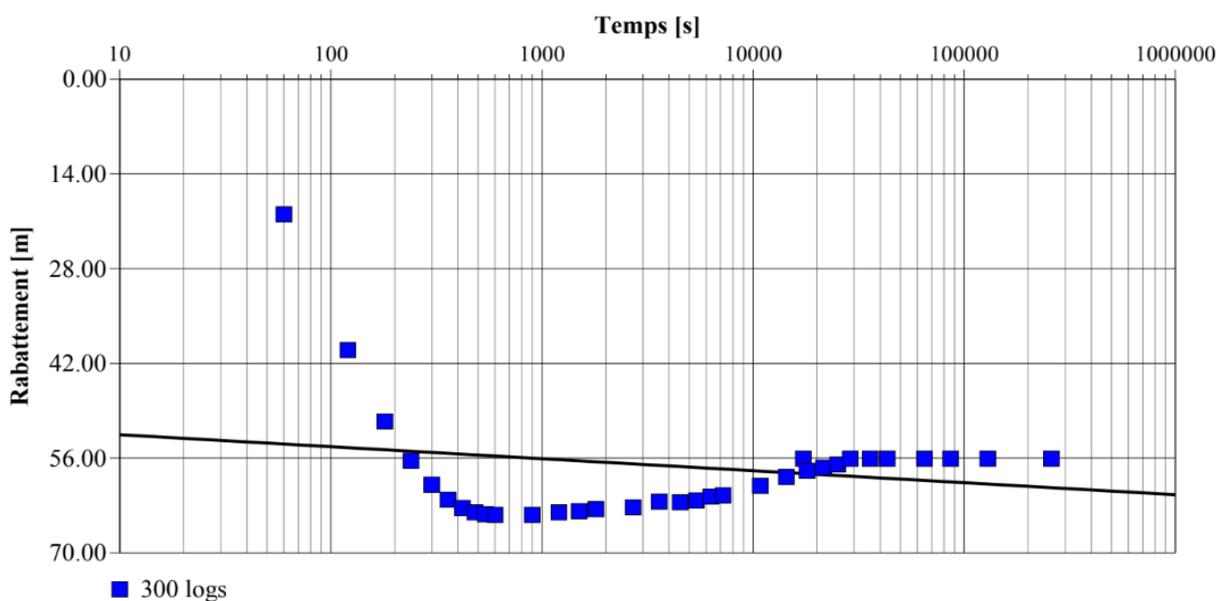


Figure 29: Courbe de décente de puit de 300 Logs (**Cooper & Jacob**) en 2010.

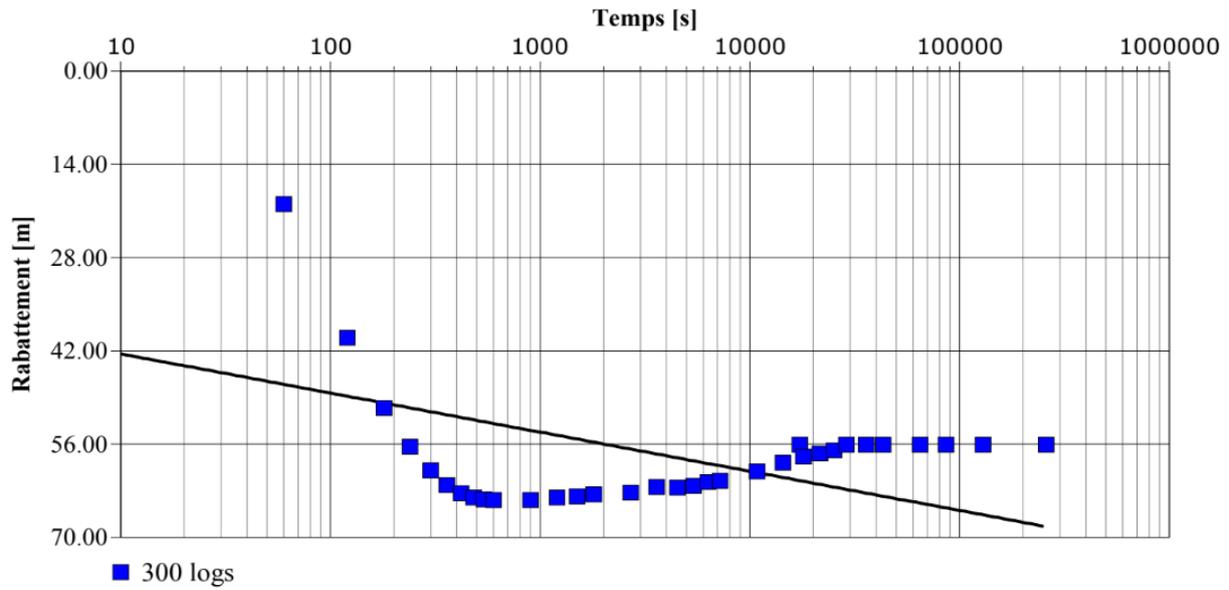


Figure 30 : Courbe de décente de puit de 300 Logs (Thies) en 2010.

Tableau 19 : résultats des essais de puit de 300 Logs en 2010.

	T m²/s	K m/s	S
Selon Cooper & Jacob	3×10^{-3}	1.11×10^{-4}	10^{-29}
Selon Thies	9.05×10^{-4}	3.35×10^{-5}	10^{-7}
Le moyen	1.95×10^{-3}	7.22×10^{-5}	5×10^{-8}

5.3.5. Essai de Tiksebt :

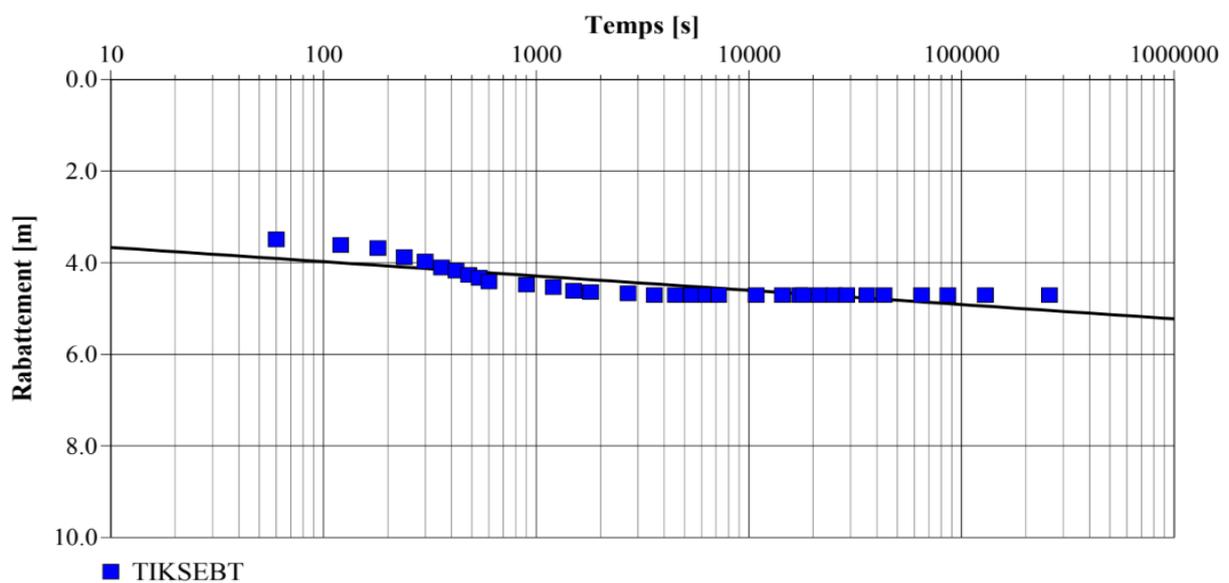


Figure 31: Courbe de décente de puit de Tiksebt (Cooper & Jacob) en 2010.

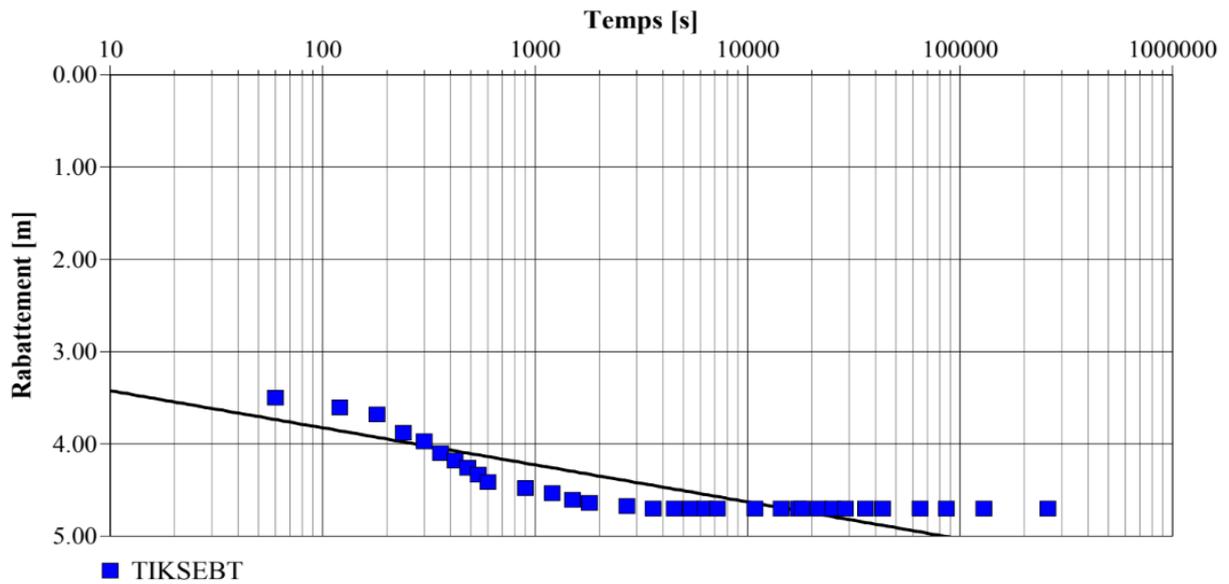


Figure 32 : Courbe de décente de puit de Tiksebt (Thies) en 2010.

Tableau 20 : résultats des essais de puit de Tiksebt en 2010.

	T m²/s	K m/s	S
Selon Cooper & Jacob	2.34×10^{-2}	6.01×10^{-4}	8.43×10^{-11}
Selon Thies	1.83×10^{-2}	4.68×10^{-4}	10^{-7}
Le moyen	2.085×10^{-2}	5.345×10^{-4}	5.004×10^{-8}

5.3.6. Essai de Mih-Bahi :

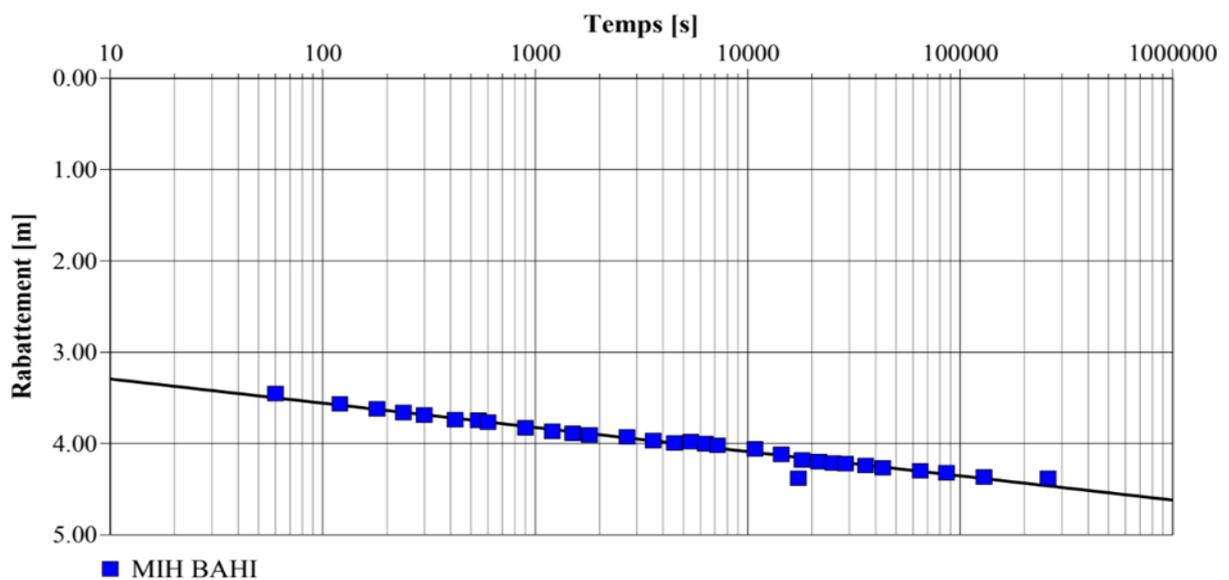


Figure 33 : Courbe de décente de puit de Mih-Bahi (Cooper & Jacob) en 2010.

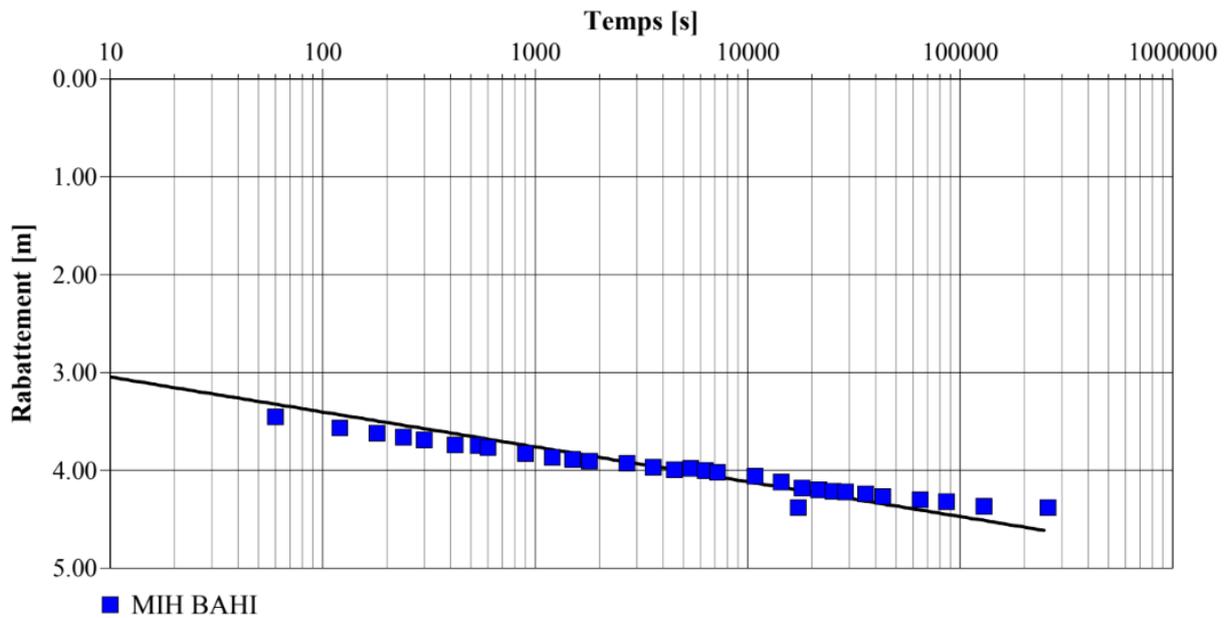


Figure 34 : Courbe de décente de puit de Mih-Bahi (Thies) en 2010.

Tableau 21 : résultats des essais de puit de Mih-Bahi en 2010.

	T m²/s	K m/s	S
Selon Cooper & Jacob	2.55×10^{-2}	1.06×10^{-3}	1.94×10^{-11}
Selon Thies	1.9×10^{-2}	7.93×10^{-4}	10^{-7}
Le moyen	2.225×10^{-2}	9.256×10^{-4}	5×10^{-8}

Après avoir étudié les résultats, on peut conclure que les valeurs de la transmissivité varient entre (1.95×10^{-3} et $2.275 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$) avec une moyenne de ($1,735 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$).

La conductivité hydraulique moyenne était dans les limites de ($5,669 \times 10^{-4} \text{ m/s}$) où nous avons enregistré une valeur maximale de ($9.256 \times 10^{-4} \text{ m/s}$) tandis que la valeur minimale était de ($7.22 \times 10^{-5} \text{ m/s}$).

Alors que le coefficient d'emmagasinement était presque constant dans toutes les expériences à (5×10^{-8}).

5.3.7. Le débit spécifique :

Le débit spécifique est défini comme le débit pompé par mètre de rabattement ;

$$Q_s = Q/r \text{ (m}^2/\text{s)}$$

5.3.7.1. Essai de 19 mars :

Tableau 22 : Calcul de débit spécifique : Valeurs débits /rabattements de 19 mars en 2010.

Paliers	Niveau dynamique (m)	Débit (l/s)	Rabattement (m)	Q/r ($\times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$)
N° 1	71.02	20	1.52	13.1578947
N° 2	72.54	30	3.04	9.86842105
N° 3	74.06	40	4.56	8.77192982
N° 4	75.6	45	6.1	7.37704918
Débit spécifique moyen				9.7938237

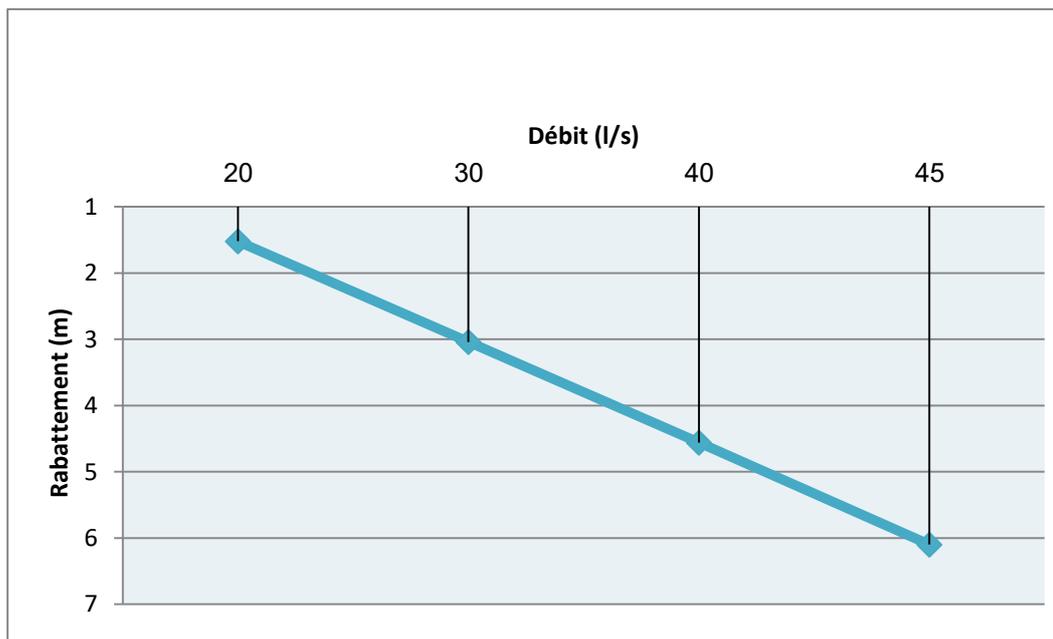


Figure 35: Courbe débit / Rabattement a 19 mars en 2010.

5.3.7.2. Essai d'El-Oued centre :

Tableau 23 : Calcul de débit spécifique : Valeurs débits /rabattements d'El-Oued centre en 2010.

Paliers	Niveau dynamique (m)	Débit (l/s)	Rabattement (m)	Q/r ($\times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$)
N° 1	35.9	16	2.1	7.61904762
N° 2	36.98	24	3.18	7.54716981
N° 3	38.2	33	4.4	7.5
N° 4	40.1	43	6.3	6.82539683
Débit spécifique moyen				7.37290356

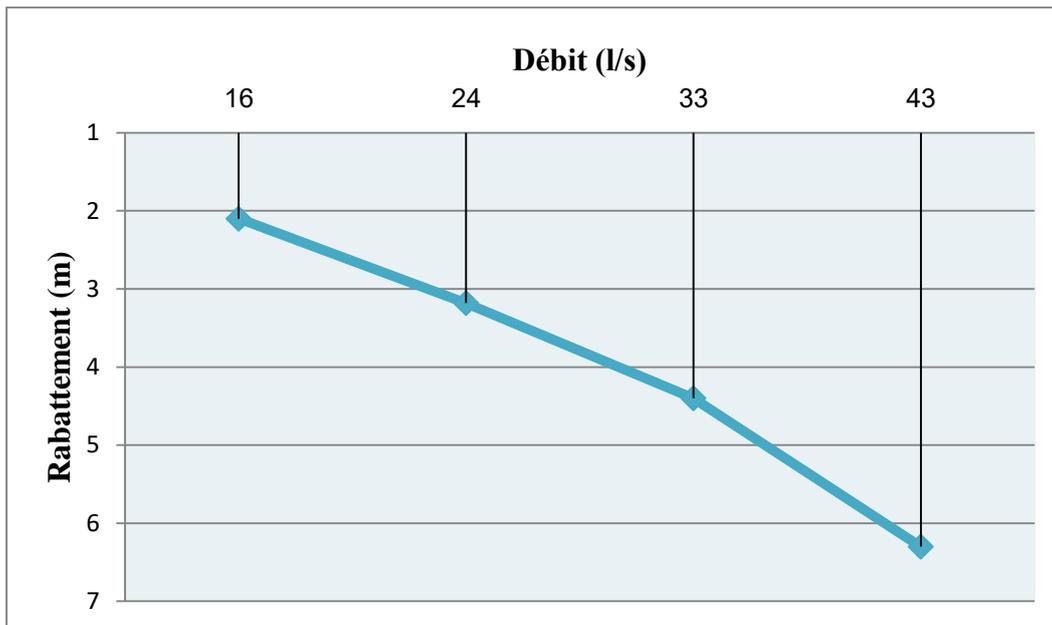


Figure 36 : Courbe débit / Rabattement d'El-Oued centre en 2010.

Alors on peut dire que le débit spécifique de notre zone d'étude est à l'environ de :

$$8.58 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

6. Conclusion :

L'aquifère de la région du Souf se caractérise par la présence de 3 nappes différentes, l'une libre (phréatique) et l'autres captives (CT et CI).

La nappe de complexe terminale est généralement constituée du Sénonien et du Mio-Pliocène, avec une profondeur moyenne de 200 à 600 m et une épaisseur d'environ 50 m, la réserve est estimée à $200 \times 10^9 \text{ m}^3$.

D'après l'étude de la carte piézométrique de la zone d'étude, un sens d'écoulement de nord-ouest vers le sud-est est observé. De point de vue hydrodynamique la nappe de la zone d'étude est exploitable car a les valeurs considérables obtenu d'après les essais des puits.

Ainsi l'interprétation des essais de pompage par la méthode graphique nous permet de définir les différents paramètres hydrodynamiques tels que le débit spécifique ($8.58 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$), la transmissivité ($1,735 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$), La conductivité hydraulique ($5,669 \times 10^{-4} \text{ m/s}$) et un coefficient d'emmagasinement de (5×10^{-8}).

Chapitre III
Hydrochimie

1. Introduction :

L'eau, au contact des roches, regorge d'éléments divers qui vont influencer sur sa composition chimique. De plus, certains de ces éléments sont naturellement présents dans le sol, et d'autres doivent leur existence aux flux qu'ils apportent d'autres régions.

L'étude de la composition chimique de l'eau est très importante pour déterminer sa qualité et par conséquent, la possibilité de son utilisation pour fournir de l'eau potable, dans l'agriculture et l'industrie. On peut également cartographier la distribution, l'évolution temporelle et la distribution géographique des concentrations d'éléments chimiques dissous.

Ce chapitre sera consacré à l'interprétation des analyses physico-chimiques des prélèvements d'eau (07 prélèvements) en fonction des résultats obtenus par ADE au niveau de l'aquifère complexe terminal (CT) de la commune d'El-Oued aux différentes années.

Le tableau au-dessous montre la variabilité et l'amplitude des différentes variables étudiées les propriétés physico-chimiques des eaux souterraines à travers le secteur, ainsi que les Normes d'Eau Potable de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS 2004) et les Normes Algériennes. La potabilité de l'eau est déterminée par comparaison avec les valeurs indicatives des normes applicables.

Tableau 24 : 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	180	343,88	261,94
Mg ⁺² (mg/l)	150	150	102,82	292,57	197,70
Na ⁺ (mg/l)	200	200	442	714,2	578.1
Cl ⁻ (mg/l)	500	250	514,068	999,77	756,919
SO ₄ ⁻² (mg/l)	400	250	912.8	1131	1021.9
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	300	300	3.8	225.7	114.75
T(°C)	18-25	18-25	23	29	26
PH	6,5-8,5	6,5-8,5	7,14	7,72	7,43
CE(μS/cm)	2800	1000	2830	4470	3650

2. Paramètres physico-chimiques :

2.1. Paramètres physiques :

2.1.1. Température :

La température joue un rôle important dans le mouvement des sels et des gaz et donc dans la conductivité électrique. Donner une idée de la profondeur de la circulation de l'eau. L'augmentation de la température est fonction de la profondeur (1°C pour 35 m).

Dans cette étude, la température des eaux souterraines observée variait de 23°C à 29°C. Cela semble donc indiquer l'existence d'un cycle des eaux peu profondes.

2.1.2. Potentiel d'hydrogène (PH) :

Le pH est une mesure de la concentration de protons H^+ dans une solution. Les valeurs de pH mesurées in situ montrent que l'eau de la zone d'étude est légèrement basique, allant de 7.14 et 7.72. Elle est conforme avec les normes algériennes pour l'eau potable (6,5 à 8,5).

L'Histogramme suivant présenté la variation de PH des certains puits à El-Oued

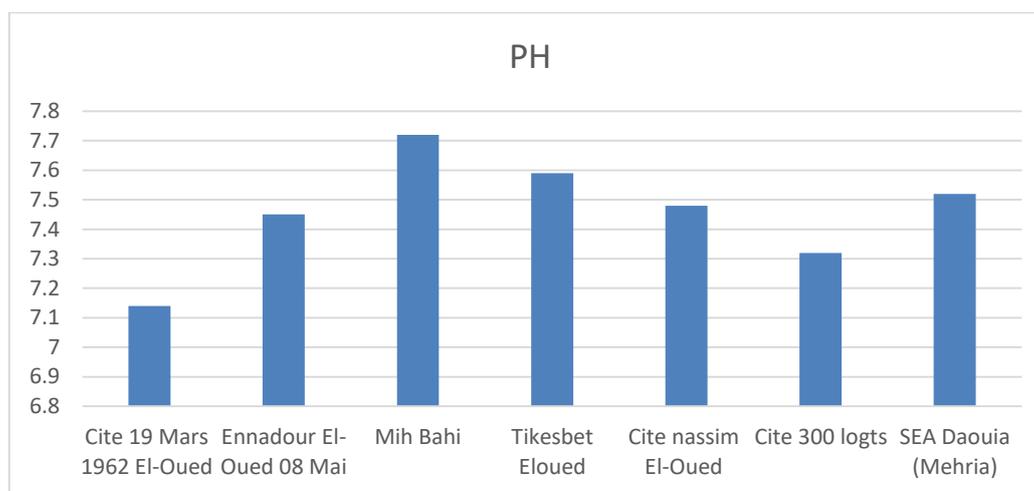


Figure 37: Histogramme des valeurs de PH dans la nappe de CT dans certains puits à El-Oued (DRH d'El-Oued, 2010)

Les valeurs de conductivité électrique des passages souterrains de la zone d'étude ont été mesurées sur terrain et exprimées en ($\mu S/cm$). La conductivité électrique est un moyen important pour étudier l'hydrogéologie. Sa mesure est précise et rapide, et sa diversité est liée à la nature et à la concentration des sels dissous.

Pour la nappe du Complexe Terminal de la région d'étude, les valeurs de la conductivité varient entre 2830 $\mu S/cm$ et 4470 $\mu S/cm$.

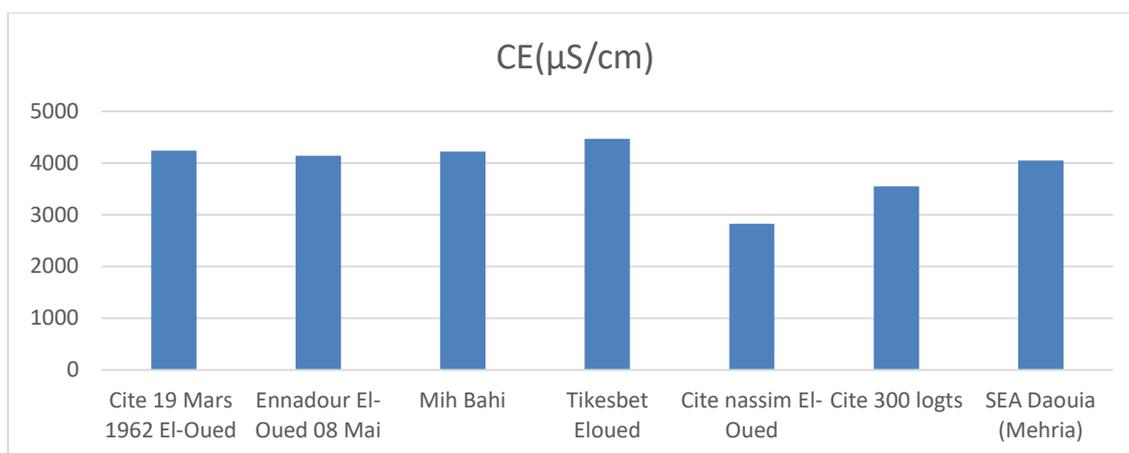


Figure 38: Histogramme des valeurs de CE dans la nappe de CT dans certains puits à El-Oued. (DRH d'El-Oued, 2010)

2.2. Paramètres chimiques :

2.2.1. Le Calcium (Ca^{+2}) :

Sa présence est principalement due à la dissolution de formations de gypsifère ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) et de carbonates. Le graphique du calcium (Figure 34) montre que les valeurs enregistrées dans le cite 19 mars (276.55 mg/l), cite Ennadour El-Oued (343.88 mg/l) et Daouia (320.64 mg/l) dépassaient les normes algériennes (200 mg/l).

D'autre part, nous avons également enregistré les valeurs qui sont soumises aux normes en vigueur en Algérie à la fois dans Mih Bahi (197.5 mg/l) Teksebet Al Gharbia (195 mg/l) et cite Al Naseem (180 mg/l).



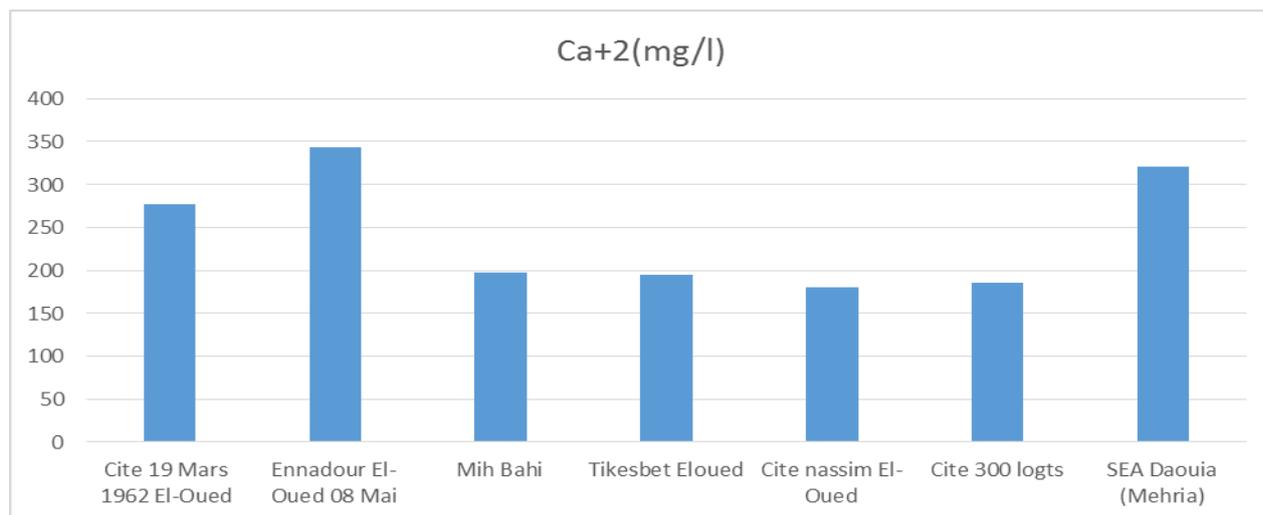


Figure 39 : Histogramme des variations des teneurs de Ca²⁺ (mg/l) (DRH d'El-Oued, 2010).

2.2.2. Le Magnésium (Mg⁺²) :

Deuxième élément entrant dans la dureté totale de l'eau, le magnésium est moins abondant que le calcium et le sodium. Le magnésium a deux origines ; Dissoudre le calcaire dolomitique et libérer du magnésium en présence du gaz carbonique et la dissolution du MgSO₄ des terrains gypseux.



La teneur en Magnésium varie de 102,82 à 292,57 mg/L.

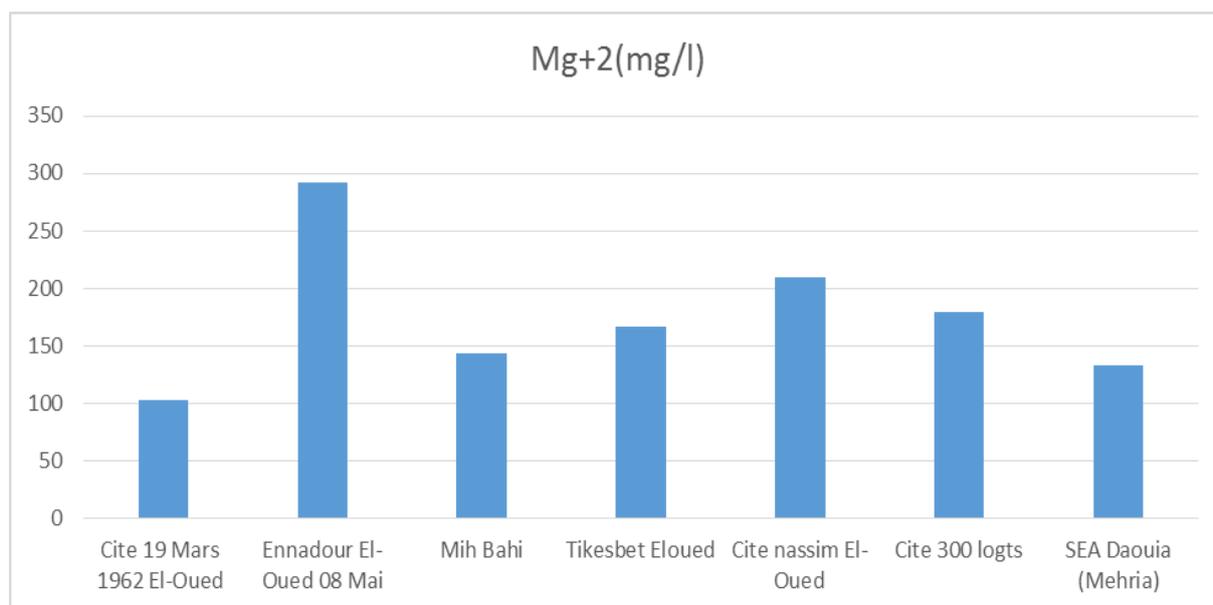


Figure 40 : Histogramme des variations des teneurs de Mg⁺² (mg/l). (DRH d'El-Oued, 2010).

2.2.3. Sodium (Na^+) :

Le sodium est principalement formé à partir de la dissolution de l'halite (NaCl). Sur la base de la recommandation de l'Organisation mondiale de la santé avec une valeur seuil ne dépassant pas 200 mg/l, et en conséquence, les niveaux de sodium enregistrés, qui varient entre 442,5 et 714,2 mg/l, sont très élevés, affectant la qualité et goût de l'eau dans cette région.

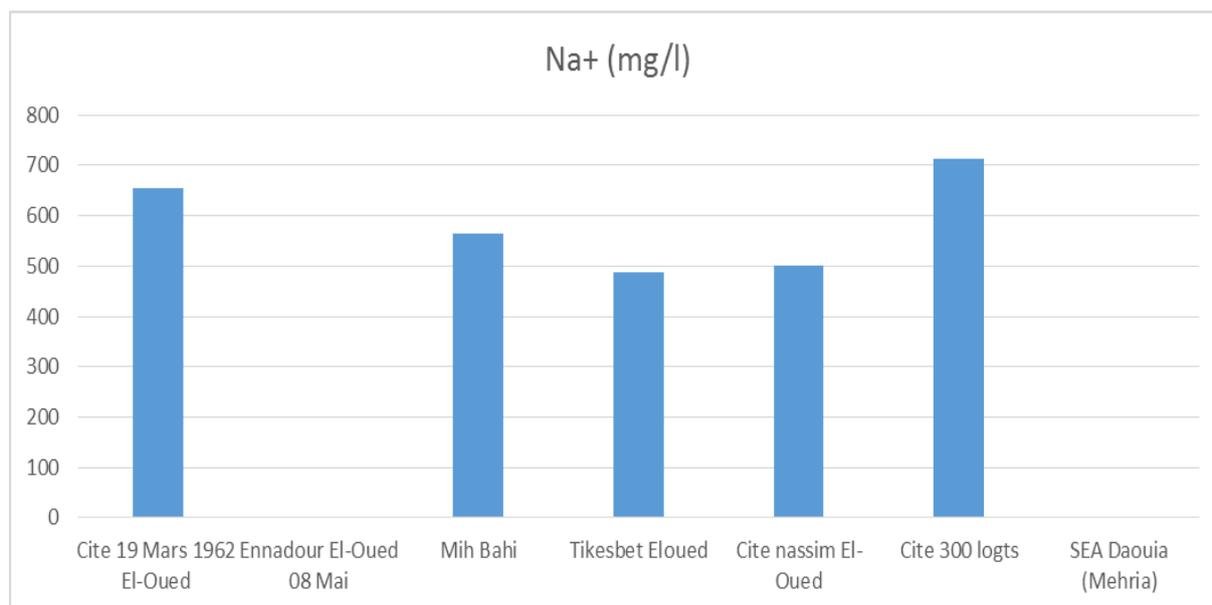


Figure 41 : Histogramme des variations des teneurs du Sodium Na^+ (mg/l). (DRH d'El-Oued, 2010)

2.2.4. Les Chlorures (Cl^-) :

Les valeurs de chlore enregistrées dépassaient les valeurs applicables à la fois à l'OMS (250 mg/L) et en Algérie (500 mg/L) d'un très grand pourcentage, où nous avons enregistré la valeur la plus élevée à 19 mars (999,77 mg/L), le pourcentage le plus bas a été enregistré dans l'échantillon de Daouia (514,068 mg/L).

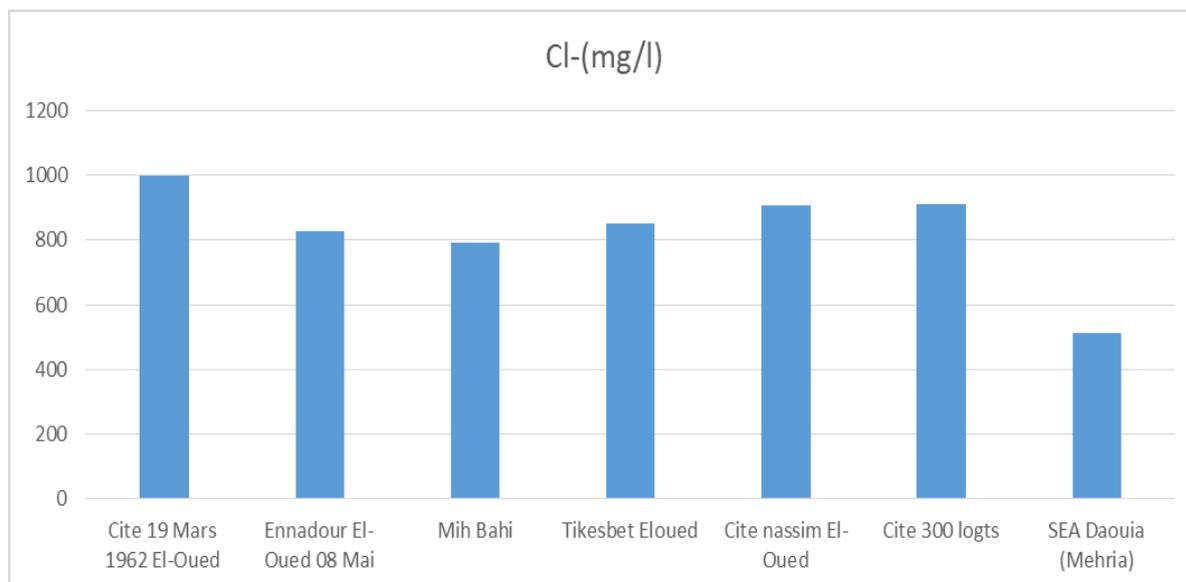


Figure 42 : Histogramme des variations des teneurs de Cl⁻ (mg/l). (DRH d'El-Oued, 2010)

2.2.5. Potassium (K⁺) :

L'Histogramme montre des concentrations de potassium entre 30.1 et 49.8 mg/L, Il est à noter que les valeurs les plus élevées se situent au sud-ouest de la zone d'étude.

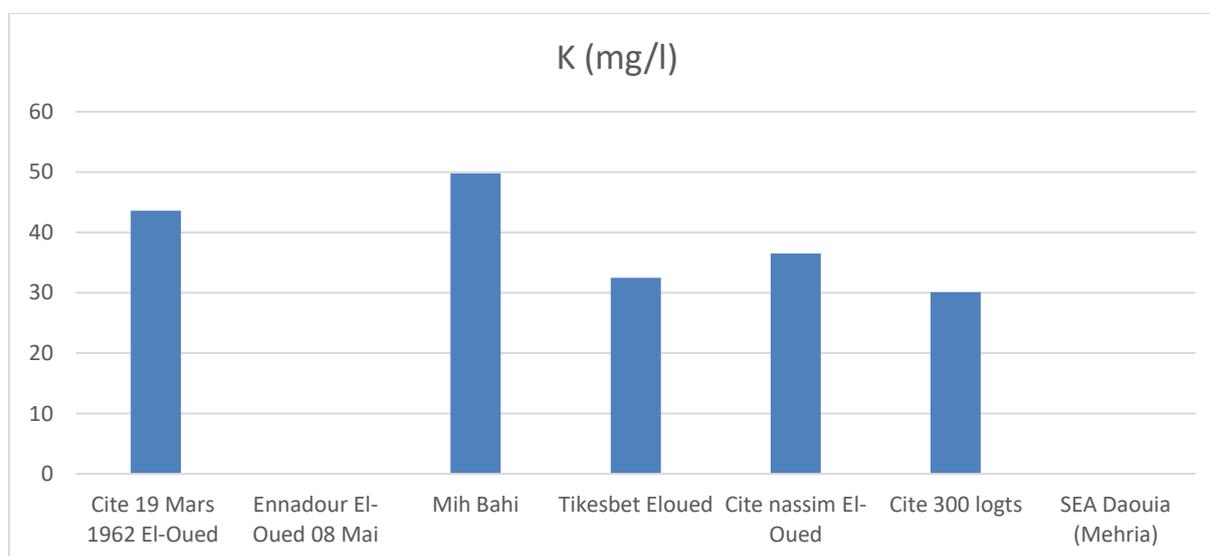


Figure 43 : Histogramme des variations des teneurs de K⁺ (mg/l). (DRH d'El-Oued, 2010)

2.2.6. Sulfate (SO₄²⁻) :

La présence d'ions sulfate dans l'eau est associée à la dissolution des formations gypseux. Des teneurs significatifs ont été enregistrés, ces derniers varient largement de 912.8 mg/L à 1131 mg/L.

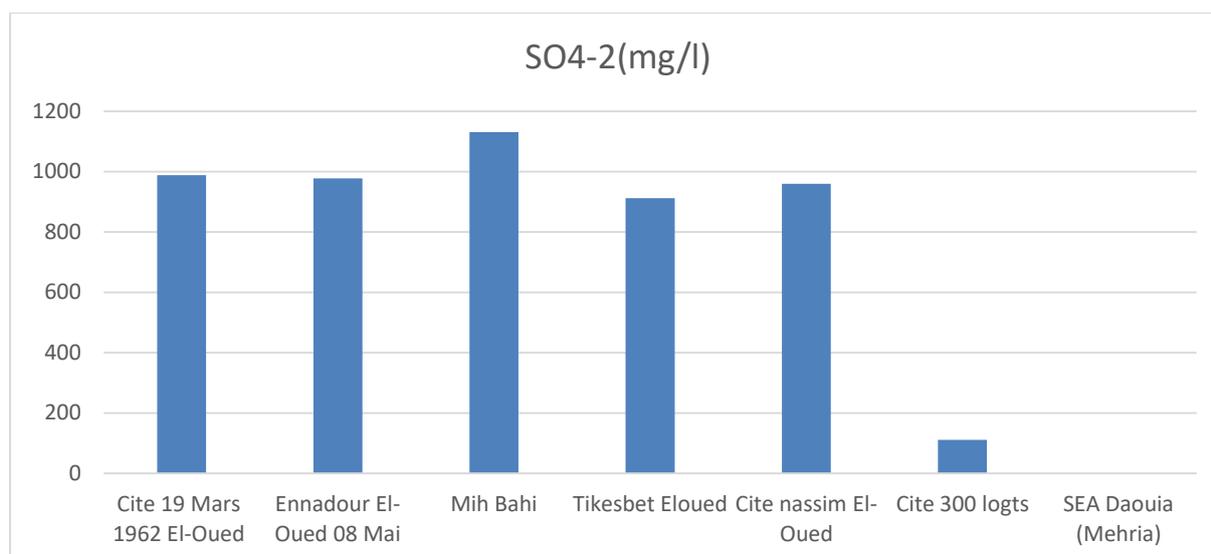


Figure 44 : Histogramme des variations des teneurs de Sulfate SO_4^{2-} (mg/l) (DRH d'El-Oued, 2010)

2.2.7. Bicarbonate (HCO_3^-) :

Le bicarbonate est le résultat de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le dioxyde de carbone. La température de l'eau et la vitesse de dissolution des gaz (CO_2) et des sels sont les principaux facteurs qui contrôlent la concentration de bicarbonate dans les eaux souterraines.

L'Histogramme ci-dessous montre que les concentrations les plus élevées se trouvent au nord-ouest des zones d'étude et diminuent graduellement au fur et à mesure que l'on se déplace vers l'est. Nous avons enregistré les valeurs les plus élevées de 225,7 mg/L au Tiksebet tandis que la valeur la plus basse était : 3,8 mg/L au cite 300 logts. Par conséquent, les résultats sont considérés comme acceptables, car ils n'ont pas dépassé la valeur maximale des spécifications internationales et locales (300 mg/l).

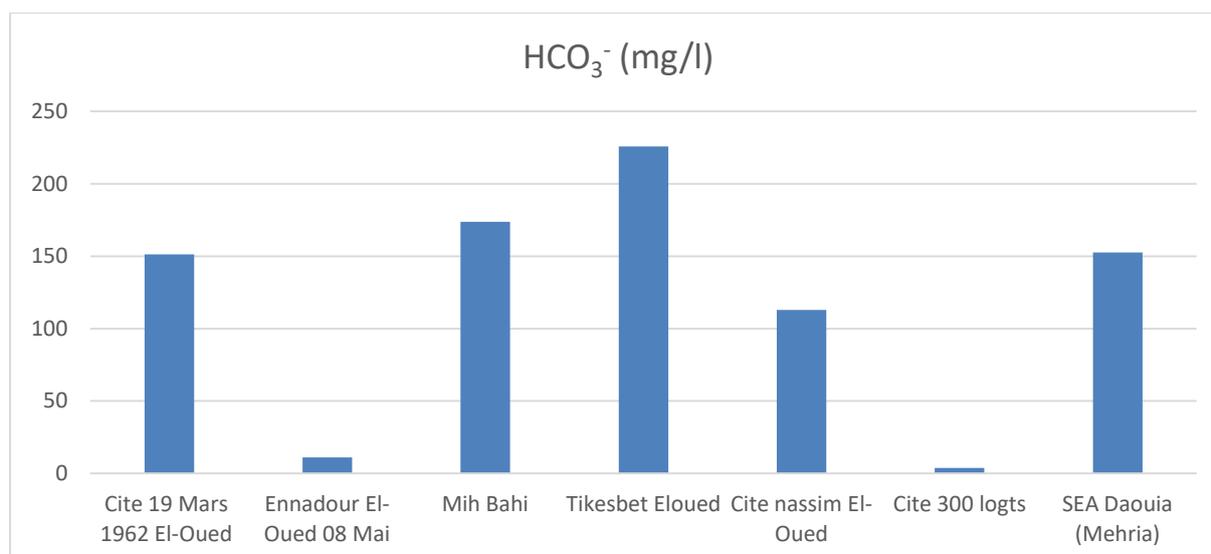


Figure 45: Histogramme des variations des teneurs de Bicarbonate HCO₃⁻ (mg/l) (DRH d'El-Oued, 2010).

2.2.8. Nitrate (NO₃⁻) :

Les nitrates résultent de l'oxydation de l'azote organique et sont donc naturellement présents dans le sol et l'eau. L'augmentation des concentrations de nitrates dans les eaux de surface et souterraines est due en grande partie à l'enrichissement des sols en engrais chimiques ou organiques, ainsi qu'au rejet de déchets ou d'eaux mal traitées dans les cours d'eau. Les nitrates eux-mêmes ne présentent pas de risques particuliers pour la santé, mais leur interaction avec les acides gastriques peut produire des nitrites, qui sont considérés comme des éléments toxiques.

L'Histogramme suivante montre les différences des teneurs en nitrates, ces derniers variant entre 16,95 et 33,6 (mg/L) à Cité 19 mars et Cité 300 logts respectivement.

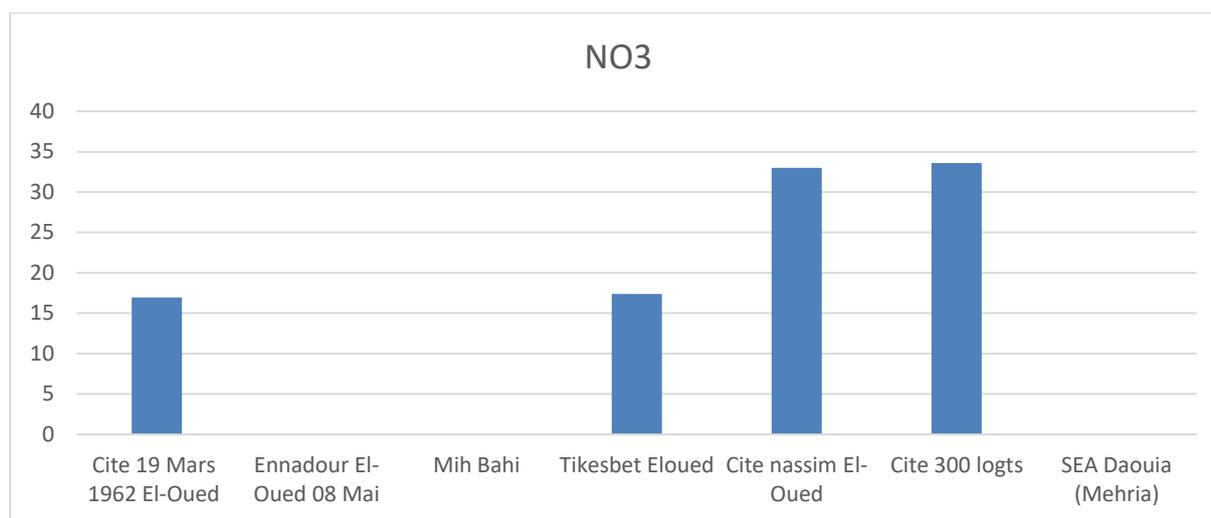


Figure 46 : Histogramme des variations des teneurs de Nitrate NO_3^- (mg/l). (DRH d'El-Oued, 2010)

Tableau 25 : Analyses Physico-chimiques des eaux souterraines de la zone d'étude (DRH d'El-Oued, 2010)

PUITS Paramètre	Cite 19 mars 1962 El- Oued	Ennadour El-Oued 08 mai	Mih bahi	Tikesbet El-Oued	Cite nassim El- Oued	Cite 300 logts	SEA daouia (mehria)
Ca^{+2} (mg/l)	276,55	343,88	197,5	195	180	185,3	320,64
Mg^{+2} (mg/l)	102,82	292,57	143,4	166,4	210,2	180	133,677
Na^+ (mg/l)	655,43	535,9	565	487	500	714,2	/
Cl(mg/l)	999,77	827,15	790	850	900	912,2	514,068
SO_4^{-2} (mg/l)	987,95	977,84	1131	912,8	1025	1115	/
HCO_3^- (mg/l)	151,28	10,98	173,85	225,7	112,8	3,8	152,5
K (mg/l)	43,60	/	49,8	32,5	36,5	30,1	/
PH	7,14	7,45	7,72	7,59	7,48	7,32	7,52
CE($\mu\text{S}/\text{cm}$)	4240	4140	4220	4470	2830	3550	4050
NO_3	16,95	/	0	17,4	33	33,6	/
Co_3	0,0	0	0		0	0	/
Résidu sec à 110°C (mg/l)	3216,23	3929,2	3468	3468	2788	3589	3800

2.3. Caractéristiques chimiques des eaux:

2.3.1. Représentation graphique des faciès hydro-chimiques :

Afin de déterminer correctement les faciès hydro-chimiques et d'obtenir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux de l'aquifère complexe terminal, la représentation graphique des résultats des analyses s'avère un outil essentiel. Pour atteindre cet objectif, on a tourné

vers le diagramme de PIPER, et SCHOELLER - BERKALOFF. Ces diagrammes ont été réalisés à l'aide du logiciel DIAGRAMME (V6.77) conçu par Roland Simler (Laboratoire d'hydrogéologie, Université d'Avignon, 2004).

2.3.2. Diagramme de Piper :

Ce type de diagramme nous permet de comparer plusieurs échantillons d'eau à un endroit et sur une seule échelle. Il se compose de deux triangles, le triangle de gauche pour les cations et les anions sont représentés dans le triangle droit.

Après avoir complété le diagramme (Figure 47), il apparaît que l'eau de la zone d'étude se divise en deux familles :

- ✓ Chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes ;
- ✓ Chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique ;

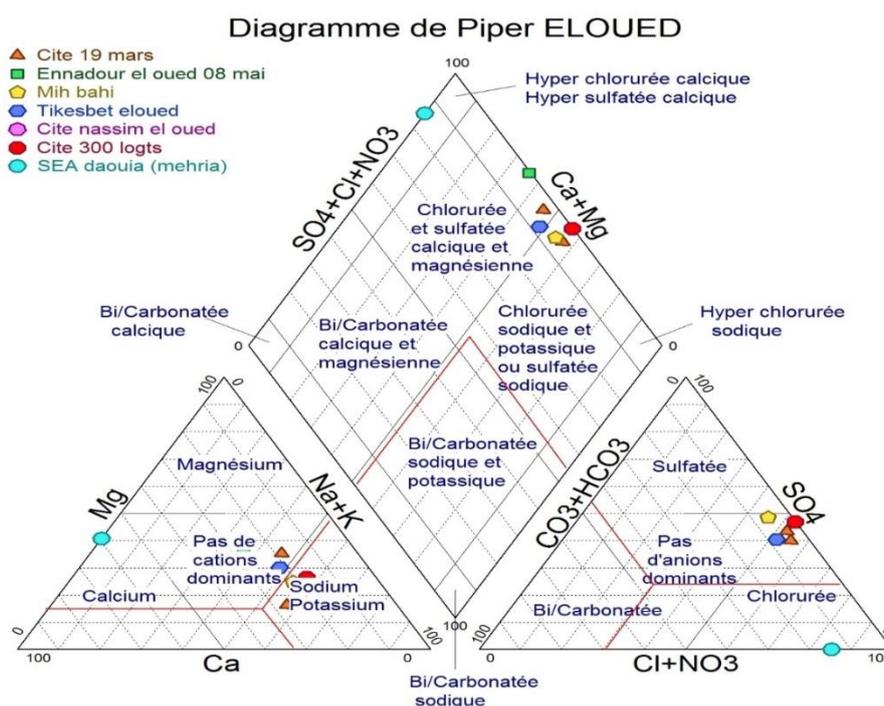


Figure 47 : Diagramme de Piper (DRH d'El-Oued, 2010)

2.3.3. Diagramme de SCHOELLER – BERKALOFF :

Les origines de la première partie du nom remontent au scientifique H. SCHOELLER qui a établi le diagramme en 1932. La seconde moitié porte le nom du scientifique BERKALOFF, qui l'a révisé en 1952. Il se compose de sept échelles logarithmiques verticales correspondant aux principaux ions analysés dans l'eau.

Le diagramme ci-dessous nous a permis d'identifier les faciès suivants :

- Chloruré sodique, Chloruré calcique, Chloruré magnésienne et Sulfaté magnésien.



Figure 48 : Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF d'El-Oued (DRH d'El-Oued, 2010).

3. Origine des éléments chimiques :

L'acquisition des éléments chimiques est influencée par le cours de l'écoulement et la nature des couches traversées. Sur la base des mesures et analyses chimiques de 2010, nous tenterons de déterminer l'origine possible de tous les ions.

3.1. Les éléments Ca^{+2} , HCO_3^- et SO_4^{-2} :

Pour connaître les mécanismes de la chimie de l'aquifère, il est nécessaire de déterminer l'origine de chaque concentration de Ca^{+2} , qui provient du gypse et du carbonate.

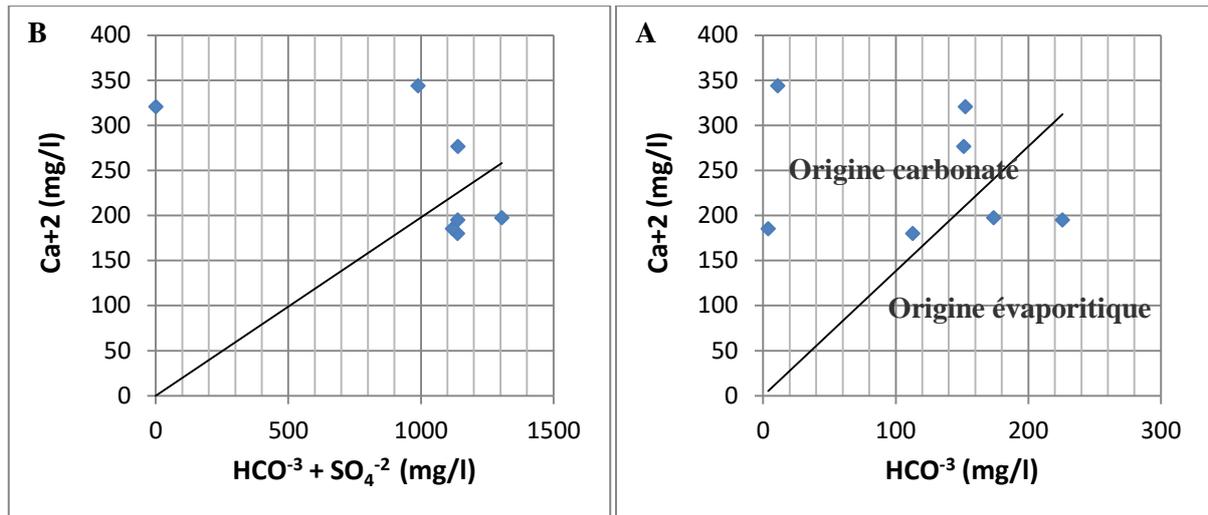


Figure 49 (A et B) : Détermination de l'origine du calcium (DRH d'El-Oued, 2010).

La représentation graphique montre que la plupart des échantillons présentent un excès de calcium, indiquant leur origine gypseuse.

D'autre part, d'autres points indiquent l'origine des ions carbonate de calcium par la dissolution des formations carbonatées au Crétacé.

3.2. Les éléments Na⁺, Cl⁻ :

L'alignement des points sur le graphique représente l'origine commune des deux éléments chimiques (Cl⁻ et Na⁺), qui est souvent le résultat de la dissociation de l'halite.

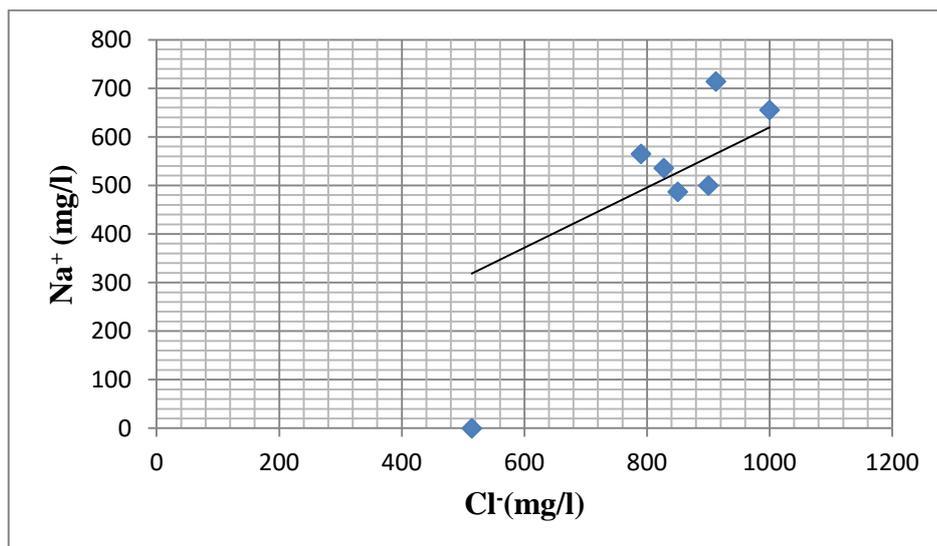


Figure 50 : Détermination de l'origine du sodium (DRH d'El-Oued, 2010)

3.3. Les éléments HCO_3^- , Cl^- et SO_4^{2-} :

D'après le graphique, nous remarquons que la conductivité électrique n'est pas affectée par les niveaux de bicarbonate, contrairement au chlore et au sulfate. Ceci indique l'effet prédominant des formations salines.

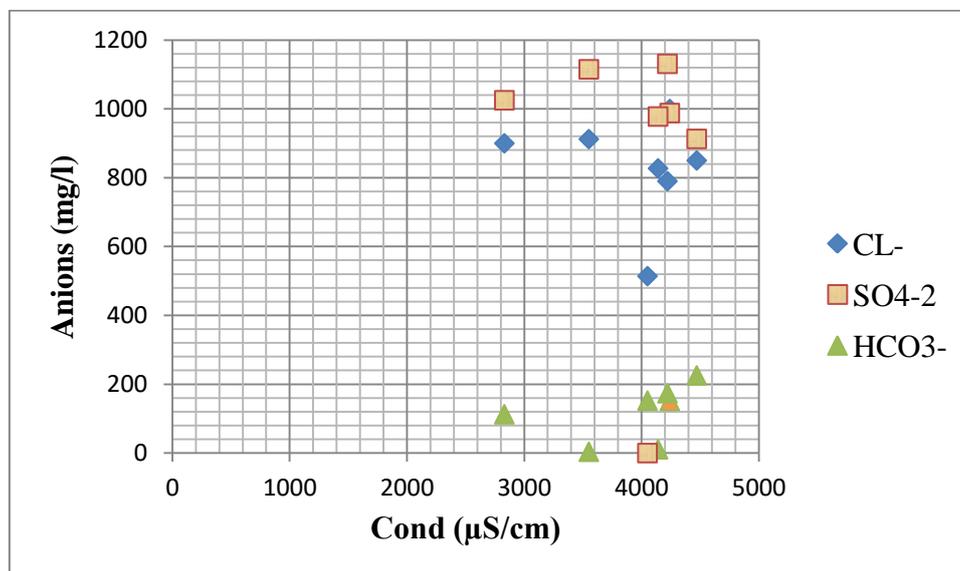


Figure 51 : Evolution des anions en fonction de la conductivité électrique (DRH d'El-Oued, 2010)

3.4. Les éléments Cl^- et SO_4^{2-} :

L'interprétation du graphique a montré que la plupart des points d'eau présentent des valeurs pour le rapport $(\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-})$ inférieures à 1, indiquant l'origine gypseuse de ces échantillons.

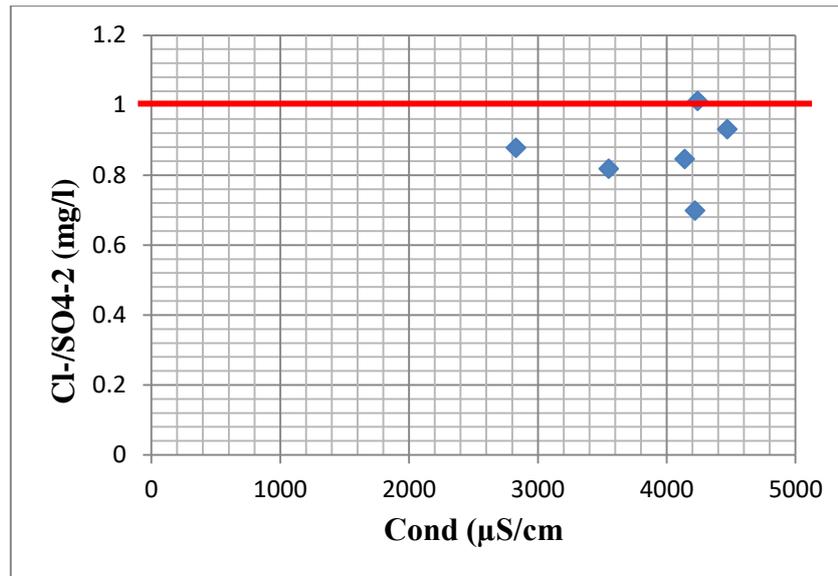


Figure 52: Evolution des chlorures et des sulfates en fonction de la conductivité. (DRH d'El-Oued, 2010)

3.5. Aptitude des eaux à l'irrigation :

La zone d'étude est une agricole qui dépend entièrement des eaux souterraines pour l'irrigation. Ainsi, la qualité des eaux souterraines est un facteur important pour l'épanouissement de l'activité agricole dans la région.

La qualité de l'eau d'irrigation est généralement exprimée en termes de pertinence relative. La plupart des classifications prennent en compte la conductivité (exprimée comme la somme des solutés) et surtout la teneur en sodium et en bore.

La concentration en sodium est important dans le dosage de l'eau d'irrigation car le sodium réagit avec le sol et réduit sa perméabilité.

Pour mener à bien nos travaux, nous avons utilisé le schéma de Richards qui est basé sur une combinaison du SAR et de la conductivité électrique.

3.5.1. Classification des eaux par la méthode de Richards :

Trois classes sont déduites du schéma comme suit :

- **C4-S1** : Renferme des eaux médiocres pour l'irrigation qui représente les eaux au voisin de forage SEA Daouia.
- **C4-S2** : Des eaux mauvaises pour l'irrigation dans cette classe, représente les puits de Teksebt, Ennadour et cite Enassim.

- **C4-S3** : Il reflète la état de l'eau, qui est pire que la classe précédente, qui comprend les puits d'eau suivants : Cite 19 mars, Mih Bahi et 300 logs.

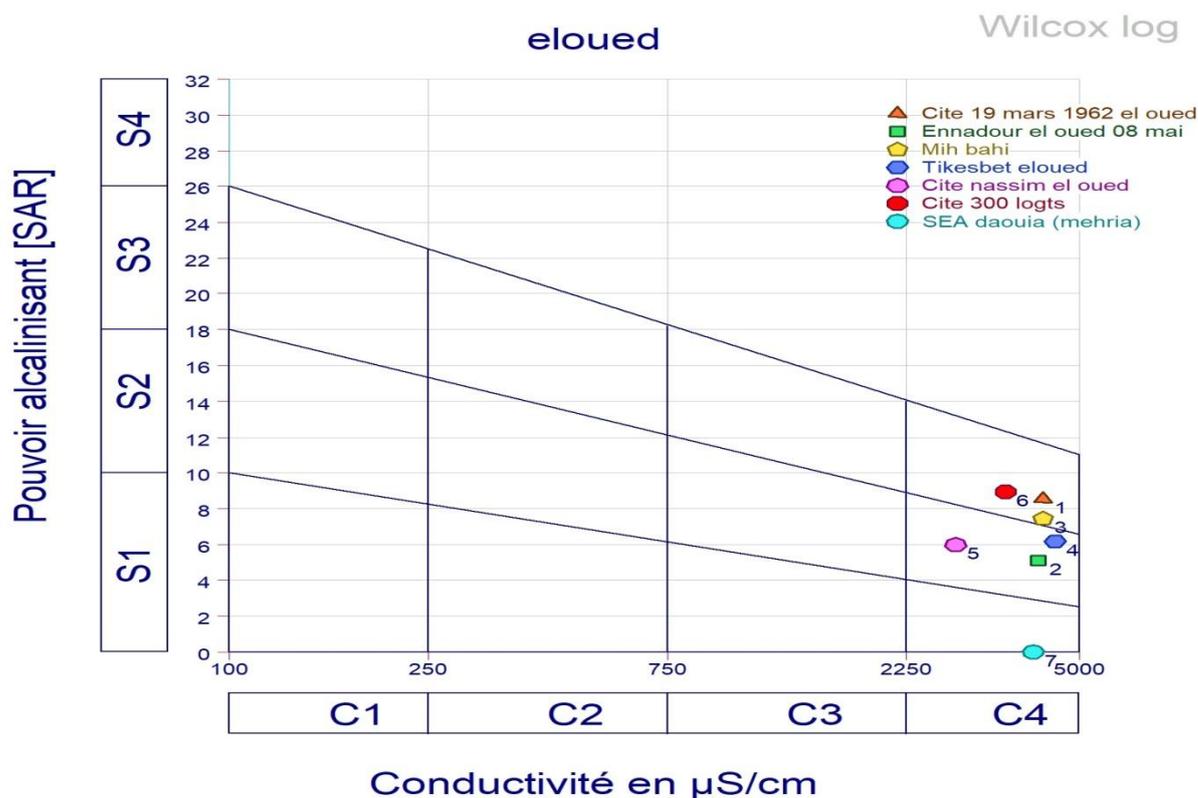


Figure 53 : Diagramme de Richards pour l'année 2010 (DRH d'El-Oued, 2010).

En général, l'eau dans la zone d'étude est considérée comme impropre à la plupart des cultures, à l'exception des plantes, des arbres et des palmiers qui sont connus pour être résistants à l'excès de salinité de l'eau.

La dégradation notable de la qualité des eaux souterraines est due à la dissolution du gypse et de l'argile d'une part, et à l'effet de l'évaporation d'autre part, qui entraîne une augmentation de la concentration en minéraux.

3.6. Indice de saturation des eaux de complexe terminal :

Dans ce paragraphe, il convient de discuter sur les différents processus contribuant à la minéralisation des eaux à travers l'approche thermodynamique et les diagrammes d'équilibre construits à partir des teneurs en éléments chimiques majeurs. L'approche thermodynamique permet d'étudier l'évolution chimique de l'eau en fonction de son état d'équilibre vis-à-vis des minéraux primaires et néoformés de la roche réservoir lors du prélèvement.

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

$$K(T) = PAI \dots\dots\dots (1)$$

PAI est appelé produit d'activité ionique. L'écart à l'équilibre est défini par l'indice de saturation IS qui s'écrit :

$$SI = \log(PAI) - \log(T) \dots\dots\dots (2)$$

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

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

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

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

Les calculs menés sur les échantillons prélevés en 2010 ont montré que :

Les minéraux carbonatés présentent des degrés de saturation différents. En effet, celui de la calcite varie de - 0.02 à + 0.56, suivi par celui de l'aragonite qui varie de - 1.68 à + 0.42 et enfin celui de la dolomite varie de -2.74 à 1.14.

Le gypse enregistre des indices qui varient de -1.59 à -0.53, suivi de l'anhydrite dont l'indice varie de -1.81 jusqu'à -0.75. Il est intéressant de remarquer que la majorité des eaux sont sous saturation.

Tableau 26 : Evolution des indices de saturation des minéraux 2010

Nom de forage	Minéraux Carbonates			Minéraux évaporitiques	
	Calcite	Dolomite	Aragonite	Anhydrite	Gypse
Cite19 mars 1962 El-Oued	-0,05	-0,19	-0,19	-0,76	-0,54
Ennadour El-Oued08	-0,8	-1,32	-0,94	-0,75	-0,53
Mih-Bahi	0,43	1,05	0,28	-0,85	-0,63
Tikesbet El-Oued	0,43	1,14	0,29	-0,93	-0,71
Cite Ennassim El-Oued	-0,02	0,36	-0,17	-0,94	-0,72
Cite 300 logts	-1,54	-2,74	-1,68	-1,81	-1,59
SEA Daouia Mehria	0,56	1,1	0,42	//	//

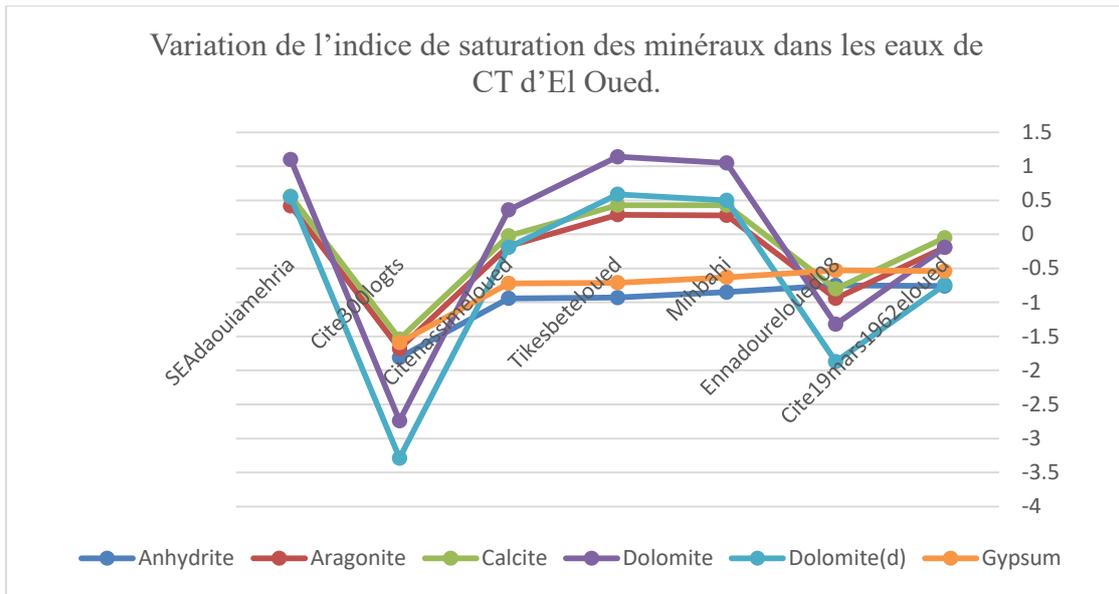
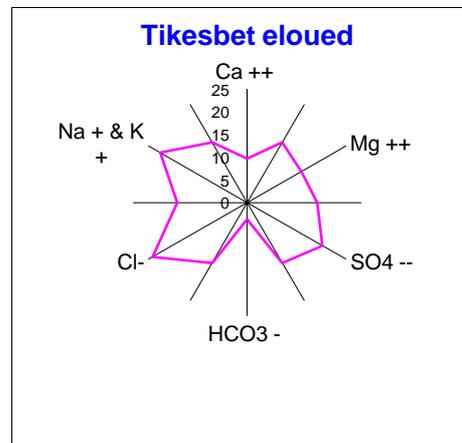
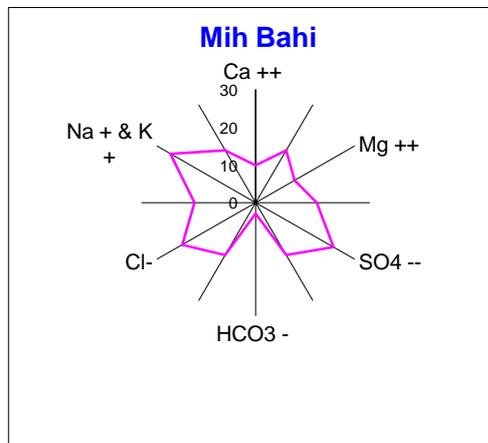
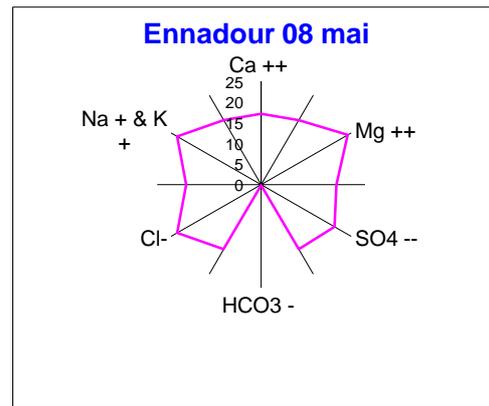
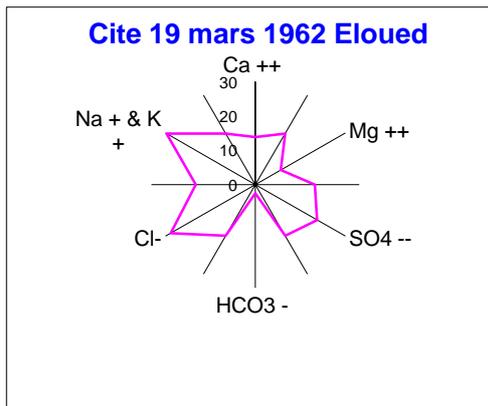


Figure 54 : Variation de l'indice de saturation des minéraux dans les eaux de CT de la zone d'étude. (DRH d'El-Oued, 2010)



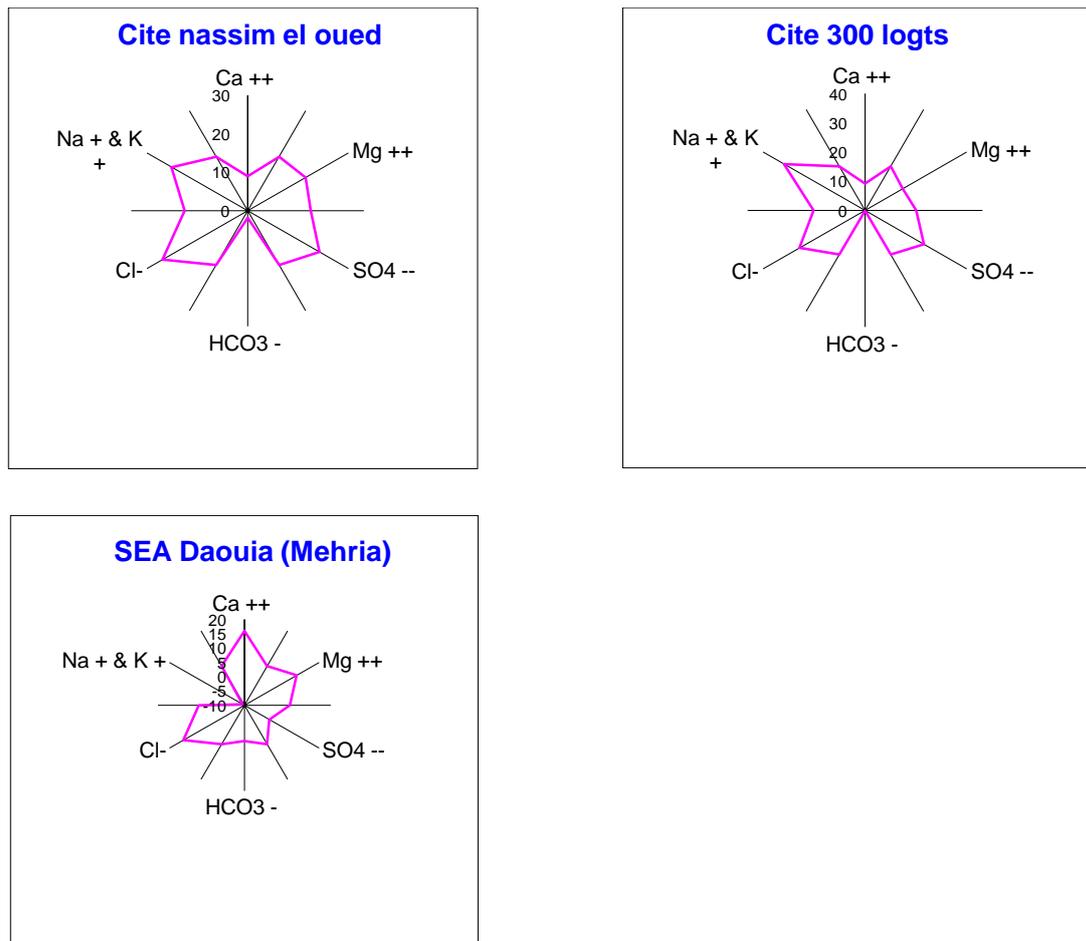


Figure 55 : Indicateur géologique pour l'indice GWQI en (DRH d'El-Oued, 2010)

4. Conclusion :

L'interprétation des analyses chimiques des eaux souterraines du complexe terminal montre la dominance des faciès évaporitiques (sulfaté sodique, chloruré sodique, chloruré calcique et sulfaté calcique). Cette domination est due aux facteurs suivants :

- La géologie locale de la région
- La situation vétusté des certains forages qui conduisent à la connexion entre la nappe phréatique fortement minéralisée et la nappe phréatique du complexe terminale.

Les habitants d'El-Oued ont toujours dû acheter de l'eau potable importée des wilayas voisines comme Biskra, en raison de la faible qualité de l'eau naturellement disponible dans la région (eau souterraine). Cela a été confirmé par notre étude hydro-chimique de plusieurs échantillons de la commune d'El-Oued dont les résultats étaient loin des normes internationales de : OMS ou même locales.

L'eau de l'aquifère du complexe final est considérée comme de mauvaise qualité pour l'irrigation, car sa représentation dans le diagramme de Richards montre qu'elle est rangée selon trois catégories ; C4-S1, C4-S2 et C4-S3.

Par conséquent, il est nécessaire de trouver des moyens d'améliorer la qualité chimique de l'eau et de s'assurer que l'eau est potable conformément aux normes internationales, par le développement d'usines de purification et de dessalement de l'eau, un contrôle strict des performances des puits et la lutte contre le forage aléatoire

Conclusion générale

Située au sud-est algérien, Oued Souf couvre une superficie de 11738 kilomètres carrés et représente 18 communes administratives avec une population de 486170 habitants. La topographie d'El-Oued est caractérisée par trois formes principales : les zones sableuses, les formes de plateaux rocheux et les dépressions. La région a un climat saharien, avec des étés chauds et secs et des hivers doux, avec une température moyenne annuelle d'environ 27,4°C.

Les précipitations annuelles moyennes sont d'environ 71,16mm. Le bilan hydrique est insuffisant en raison des faibles précipitations et de la forte évapotranspiration.

Les strates de cette zone sont caractérisées par une série sédimentaire allant des dépôts du Crétacé inférieur au Quaternaire. La géologie d'El-Oued est masquée par une épaisse couche de terres quaternaires. La description a été faite en raison de l'interprétation des enregistrements stratigraphiques des forages d'eau. Les strates de cette zone sont caractérisées par les séries sédimentaires du Crétacé inférieur au Quaternaire pour représenter.

L'aquifère de la région du Souf se caractérise par la présence de 3 nappes différentes, l'une libre (phréatique) et l'autres captives (CT et CI).

La nappe de complexe terminale est généralement constituée du Sénonien et du Mio-Pliocène, avec une profondeur moyenne de 200 à 600 m et une épaisseur d'environ 50 m, la réserve est estimée à $200 \times 10^9 \text{ m}^3$.

D'après l'étude de la carte piézométrique de la zone d'étude, un sens d'écoulement de nord-ouest vers le sud-est est observé. De point de vue hydrodynamique la nappe de la zone d'étude est exploitable car a les valeurs considérables obtenu d'après les essais des puits.

L'interprétation des analyses chimiques des eaux souterraines du complexe terminal montre la dominance des faciès évaporitiques (sulfaté sodique, chloruré sodique, chloruré calcique et sulfaté calcique). Cette domination est due aux facteurs suivants :

La géologie locale de la région

La situation vétusté des certains forages qui conduisent à la connexion entre la nappe phréatique fortement minéralisée et la nappe phréatique du complexe terminale.

Les habitants d'El-Oued ont toujours dû acheter de l'eau potable importée des wilayas voisines comme Biskra, en raison de la faible qualité de l'eau naturellement disponible dans la région (eau souterraine). Cela a été confirmé par notre étude hydro-chimique de plusieurs échantillons de la commune d'El-Oued dont les résultats étaient loin des normes internationales de : OMS ou même locales.

L'eau de l'aquifère du complexe final est considérée comme de mauvaise qualité pour l'irrigation, car sa représentation dans le diagramme de Richards montre qu'elle est rangée selon trois catégories ; C4-S1, C4-S2 et C4-S3.

Par conséquent, il est nécessaire de trouver des moyens d'améliorer la qualité chimique de l'eau et de s'assurer que l'eau est potable conformément aux normes internationales, par le développement d'usines de purification et de dessalement de l'eau, un contrôle strict des performances des puits et la lutte contre le forage aléatoire.

Références bibliographique

Références bibliographiques

- 1) **A.D.E** : (Algérienne Des Eaux Wilaya d'El-Oued). Rapports sur l'alimentation en eau potable (AEP).
- 2) **A.N.R.H** : (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de la Wilaya d'Ouargla).
- 3) **A.N.R.H** : (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de Touggourt).
- 4) **B.G-H.P.O.** :2004 – vallée du souf, études d'assainissement des eaux résiduaire, pluviales et d'irrigation.
- 5) **D.H.W** (Direction d'hydraulique de la wilaya d'El-Oued).
- 6) **DROUCHE A BDELMALEK (2008)** : impact des eaux du rejet sur la qualité des eaux de la nappe libre d'Oued-souf. Mémoire de magister université Badji Mokhtar Annaba.
- 7) **FNAZI BILAL (2008)** : Cartographie de la vulnérabilité à la pollution de l'aquifère Alluvionnaire de la plain d'Oued djendjen et modélisation de la nappe. Mémoire de magister université Badji Mokhtar Annaba.
- 8) **KHACHANA Salim (2007)** : Etude de la gestion intégrée des ressources en eaux dans la vallée d'Oued-Souf (Sud-est) Algérien. Mémoire de magister université Badji Mokhta Annaba.
- 9) **O.N.A** : Office nationale d'assainissement
- 10) **O.N.M** :(Office National Météorologique) Station de Guemar et de Touggourt, données climatiques.
- 11) **SADRATI N (2005)** : Hydrochimie et impact des agglomérations sur les eaux. Mémoire magister université Badji Mokhtar Annaba.
- 12) **ZINE Brahim (2009)** : La remontée des eaux souterraines en surface mécanisme et l'impact sur l'environnement (cas d'Oued Souf). Mémoire de magister université El HadjLakhdar Batna.

13) MILOUDI Abd Imonem (2018): Mécanisme et remèdes de la remontée des eaux dans la région d'El-Oued Soufi-impact sur l'environnement de la région-

14) BOULIFA Khaled (2012): Synthèse hydrogéologique sur la région d'El-Oued Sahara Nord oriental-Est Algérien. Mémoire de magister université Constantine 1.

15) Amara Anis, 2013 : Evaluation de la toxicité de pesticides sur quatre niveaux trophiques marins : microalgues, échinoderme, bivalves et poisson ; Thèse De Doctorat En Cotutelle Entre L'université De Tunis El-Manar Et L'université De Bretagne Occidentale.

16) Abdel-Rahman, 1998. Etude hydrogéologique de la nappe phréatique de la cuvette d'Ouargla. Rapport interne ANRH-Ouargla.

17) Mehda Smail (2014): Evaluation du risque de la contamination physico-chimique et biologique des eaux souterraines par les polluants d'origine agricole dans la région d'El-Oued. Mémoire de magister université KASDI MERBAH Ouargla.

18) Merhi Maysaloun, 2008 : Etude de l'impact de l'exposition à des mélanges de pesticides à faibles doses : caractérisation des effets sur des lignées cellulaires humaines et sur le système hématopoïétique murin ; Thèse doctorat ; Université De Toulouse.

19) Monsieur Alain Lambert : président du conseil national d'évaluation des normes, Rapport public d'activité 2016.

20) Monsieur Alain Lambert : président du conseil national d'évaluation des normes, Rapport public d'activité 2017.