

République Algérienne Démocratique Et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université HAMMA LAKHDAR EL-Oued



Faculté de Technologie

Département de : Hydraulique & de Génie Civil

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

Présenté En vue de l'obtention du diplôme de Master en hydraulique

OPTION : Conception et Diagnostic des systèmes d'AEP et
d'assainissement.

THEME:

Contribution à l'étude hydrogéologique du
lac de Chott d'El Oued (commune
d'El-Oued)

Encadreur :

- MILOUDI Abdelmonem

Présenté par :

- Gadi Youcef
- Guerrah Souhaib
- Hammi Yazid

Soutenu publiquement devant le jury:

Dr. MEGA NABIL	M.A.A	Univ. H. Lakhdar El Oued	Président
Dr. ZAIR Nadjjet	M.A.A	Univ. H. Lakhdar El Oued	Examineur
Dr. MILOUDI Abdel Moneim	M.A.A	Univ. H. Lakhdar El Oued	Promoteur

Promotion : Juin 2023

Remerciement

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

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

Nous adressons nos vifs remerciements à tous nos professeurs de l'université d'El Oued qui ont contribué à notre formation durant notre parcours universitaire.

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

Merci encore à tous

ملخص

المياه الجوفية هي عبارة عن مياه موجودة في تجاويف الصخور الرسوبية تكونت عبر أزمنة مختلفة مصدرها غالبا الأمطار أو الأنهار، وتمثل المياه الجوفية أغلبية المياه العذبة في العالم ولذلك تعتبر مصدرا رئيسيا للمياه خصوصا في المناطق الصحراوية.

إن منطقة الوادي تواجه ظاهرة صعود المياه منذ الأربعين سنة ، حيث تعتبر مدينة الوادي الأكثر تضررا بين كل بلديات منطقة سوف .

لقد أخذت ظاهرة صعود المياه أبعادا مخيفة في العشرينية الأخيرة ، حيث أن استعمال مياه الطبقة العميقة بطريقة مفرطة زاد - بصفة معتبرة من حجم المصاعب ، مع غياب مصب طبيعي لقذف المياه المستعملة سواء كانت منزلية أو صناعية . كل هذه الأسباب مجتمعة خلقت اختلال في التوازن البيئي مما تسبب في خسارة

الآلاف من النخيل و غرق العديد من الغيطانات مما انجر عنه نتائج كارثية على المستوى البيئي ، الفلاحي ، الاقتصادي و الصحي لمنطقة الوادي .

لمواجهة هذه المعضلة ، جهزت مدينة الوادي شبكتي صرف : شبكة صرف صحي لتصريف المياه القذرة و شبكة صرف عمودي لتصريف مياه المناطق المغمورة . و في هذا الصدد ؛ نحن مهتمون بالمساهمة في الدراسة الهيدرولوجية لبحيرة الشط ببلدية الوادي .

Résumé

La région d'El Oued est confrontée au phénomène de la remontée des eaux depuis une quarantaine d'années et la commune d'El-Oued a été la plus endommagée .

Le phénomène de remontée des eaux de la nappe phréatique a pris des dimensions très alarmantes à ces dix dernières années; l'utilisation des eaux des nappes profonde (le Continental Intercalaire et le Complexe Terminal) d'une façon excessive a augmenté considérablement le volume des apports, ainsi que l'absence d'un exutoire naturel pour les rejets des eaux d'assainissement domestique et industriel, sont les principales causes de ce déséquilibre écologique ; Contribuant au dépérissement des palmiers et des dépressions (Gouts), entraîne des conséquences mortels tant sur les plans d'environnement, l'agriculture, l'économie et la santé de la région du Souf.

Pour faire Face à cette calamité, la ville d'El-Oued a équipé par un réseau d'assainissement et réseau de drainage vertical pour évacuer les eaux usées domestiques et les eaux des zones inondées.

Dans notre étude, nous sommes intéressées à la contribution à l'étude hydrogéologique du lac de chott d'el oued (commune d'el oued) .

SOMMAIRE

Chapitre I

I.1- Situation géographique de la région d'Oued Souf	02
I-2-Les peuplements du Souf.....	04
I-3- Le cadre architectural et socioéconomique du Souf	06
I.4- Relief et topographie de la région du Souf	07
I.5 - Contexte climatique du Souf	10
I.5.1- Climatologie	11
I.5.1.1- Températures	12
I.5.1.2- Précipitations	12
I.5.1.3- Evaporation potentielle	14
I.5.1.4- Vitesse du vent	15
I.5.1.5- Humidité de l'air	16
I.5.1.6- Insolation	17
I.5.2- Synthèse climatique	18
I.5.2.1-Diagramme Ombrothermique de Gaussen	18
I.5.2.2-Quotient pluviothermique	19
I.5.2.3- Indice d'aridité de DE MARTONNE	20
Conclusion	22

Chapitre II

II.1- Géologie de la région du Souf	26
II.2- Hydrogéologie du Souf	29
II.2.1- Nappe du Continental Intercalaire	30
II.2.1.1- Les zones d'alimentation du CI	31

Chapitre III

<i>III.5.1- La variation piézométrique de la nappe phréatique de la commune El-Oued.....</i>	<i>35</i>
<i>III.5.1.1- piézométrie de la nappe phréatique de la commune El-Oued en 2008.....</i>	<i>36</i>
<i>III.5.1.2- piézométrie de la nappe phréatique de la commune El-Oued en Mars 2011.....</i>	<i>39</i>
<i>III.5.1.3- piézométrie des eaux de la nappe phréatique de la commune d'El-Oued en Mars 2014.....</i>	<i>41</i>
<i>III.5.1.4- Piézométrie de la nappe phréatique de la commune El-Oued en Mars 2016.....</i>	<i>45</i>
<i>III.5.1.5- Piézométrie de la nappe phréatique de la commune El-Oued en Mars 2018.....</i>	<i>49</i>
<i>III.5.1.5- Piézométrie de la nappe phréatique de la commune El-Oued en Mars 2022.....</i>	<i>51</i>

Liste des figures

Chapitre I

Figure 01 : <i>Les limites administratives de la wilaya d'El Oued</i>	02
Figure 02 : <i>stiation geographique du souf</i>	03
Figure 03: <i>Carte administrative de souf</i>	04
Figure 04: <i>Le nombre d'habitants du Souf en 2022</i>	05
Figure 05: <i>La ville « d'El Oued » ville aux mille et une coupoles et coupole</i>	06
Figure 06: <i>L'artisanat du Souf</i>	06
Figure 07: <i>L'agriculteur du Souf</i>	07
Figure 08: <i>Topographie du Souf</i>	08
Figure 09: <i>Modèle numérique de terrain en 3D qui présente Les reliefs du Souf</i>	09.
Figure 10: <i>Variation interannuelle des précipitations (1978-2017) du Souf</i>	13
Figure 11 : <i>L'évaporation potentielle de la région du Souf (1986-2009)</i>	14
Figure 12 : <i>Les vitesses du vent dans la région du Souf (1993-2015)</i>	15
Figure 13 : <i>Humidité de la région du Souf (1978-2015)</i>	16
Figure 14 : <i>Insolation de la région du Souf (1997-2009)</i>	17
Figure 15: <i>Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN du Souf (1978-2017)</i>	18
Figure 16: <i>Climagramme d'Emberger pour la région du Souf</i>	20
Figure 17: <i>Abaque de l'indice d'Aridité de DE MARTONNE de la vallée du Souf</i>	21

Chapitre II

Figure 18: <i>Carte géologique du Grand Erg Oriental, (Baba Sy.M, 2005)</i>	26.
Figure 19: <i>Log de forage Albien F3, Cité 19 Mars El Oued (D.R.E, 2017)</i>	28
Figure 20 : <i>Limites du Bassin de Système Aquifère du Sahara Septentrional SASS (OSS, 2003) Modifier</i>	29
Figure 21: <i>Limite du Continental Intercalaire (Baba SY et al., 2006). Modifier</i>	30
Figure 22: <i>Les zones de recharge de CI (OSS, 2015) Modifier</i>	31
Figure 23: <i>Carte piézométrique initiale du CI (OSS ; 2003a)</i>	32
Figure 24: <i>Coupe hydrogéologique synthétique du Sahara Septentrional (UNESCO, 1972a)</i>	33

Chapitre III

Figure 25: <i>Carte piézométrique de la commune d'El oued en Mars 2008</i>	37
Figure 26: <i>Carte de niveau statique et la carte des zones inondée dans la commune d'El Oued en Mars 2008</i>	38
Figure 27: <i>Carte piézométrique de la commune d'El oued en Mars 2011</i>	39
Figure 28: <i>Carte de niveau statique et la carte des zones inondées dans la commune d'El Oued en Mars 2011</i>	40
Figure 29: <i>La sonde électrique de 50 m de longueur et La tarière</i>	41
Figure 30: <i>Théodolite et un appareille GPS GARMIN</i>	42
Figure 31: <i>Carte piézométrique de la commune d'El oued en Mars 2014</i>	43
Figure 32: <i>Carte de niveau statique et la carte des zones inondées dans la commune d'El Oued en Mars 2014</i>	44
Figure 33: <i>Carte piézométrique de la commune d'El oued en Mars 2016</i>	45
Figure 34: <i>Carte de niveau statique et la carte des zones inondées dans la ville d'El Oued en Mars 2016</i>	47
Figure 35: <i>Carte d'inventaire des forages d'irrigation de la commune d'El oued</i>	48
Figure 36: <i>Carte piézométrique de la commune d'El oued en Mars 2018</i>	49
Figure 37: <i>Carte de niveau statique et la carte des zones inondées dans la ville d'El Oued en Mars 2018</i>	50
Figure 38: <i>Carte piézométrique de la commune d'El oued en Mars 2022</i>	52
Figure 39: <i>Carte de niveau statique et la carte des zones inondées dans la ville d'El Oued en Mars 2022</i>	52

Liste des tableaux

Tableau I-1. Données climatiques de la région d'Oued Souf –Température & précipitation (1978-2017).....	11
Tableau I-2. Précipitations interannuelles (1978 – 2017) du Souf	12
Tableau I-3. Données climatiques de la région d'Oued Souf-Evaporation-(1986- 2009).....	14
Tableau I-4. Données climatiques de la région d'Oued Souf-Vents-(1993- 2015).....	15
Tableau I-5. Données climatiques du Souf- Humidité de l'air-(1978- 2015).....	16
Tableau I-6. Données climatiques de la région d'Oued Souf- Insolation -(1997- 2009).....	17
Tableau I-7. Valeur Indice d'Aridité DE MARTONNE (Lebourgeois F., 2010).....	21

Liste des abréviations

ADE : Algérienne Des Eaux.

ANRH : l'Agence Nationale des Ressources Hydriques.

CT : Complexe terminal.

CI : Continental intercalaire.

DRH : Direction d'hydraulique.

ONA : Office National d'Assainissement.

SIG : Système d'information géographique

ONM : Office national de la métrologie d'EL- Oued

GPS : Global position système

introduction général

La willaya de Oued Souf est considéré comme une région désertique, où les sables dorés prennent les trois quarts de la région. Malgré sa nature désertique et la densité du sable qu'il contient, il a souffert ces dernières années du phénomène de remontée des eaux de la nappe phréatique dans de nombreuses zones urbaines, ce qui a provoqué une modification du milieu naturel et de l'ancien mode de vie dans celui-ci. Selon certaines études, la remontée des eaux est considérée comme un véritable problème environnemental en raison de l'absence des réseaux d'assainissement pour les eaux usées ou d'exutoires naturels tels que les vallées, ce qui entraîne son explosion, d'autant plus qu'elle descend vers les dépressions, devenues des marécages et des lacs, dont la plus importante est celui lacs de Chatt.

Dans notre étude, nous avons fondé notre étude sur ce problème du phénomène de l'augmentation spectaculaire des niveaux d'eau souterraine, en particulier le lac Shatt, qui est considéré comme l'une des causes de la pollution de la nature, de la propagation des mauvaises odeurs et de la propagation des moustiques en été et en hiver.

Comme les plans étaient à court terme et n'étaient pas bien étudiés sur l'ensemble de la région par ses responsables. De plus, les points de drainage des eaux se sont arrêtés, ce qui a entraîné leur montée

A la fin, nous avons proposé plusieurs solutions afin de transformer cet endroit particulier à une zone touristique visitée dans tout le temps.

Chapitre I

Présentation de la région du Souf

Aux confins septentrionaux de l'Erg oriental s'étale une masse de palmeraies qui s'appelle le Souf.

Le terme Souf est un toponyme dont la première définition qui vient à l'esprit est celle d'une oasis : la métaphore de l'archipel perdu au milieu de l'océan figé des sables, l'isolement est bien un trait caractéristique.

I.1- Situation géographique de la région d'Oued Souf :

La zone d'étude est située dans la Wilaya d'El Oued, l'une des principales oasis du Sahara septentrional Algérien. Elle est située au Sud-Est de l'Algérie à une distance de 650 km de la capitale, au Nord-Est du Sahara septentrional.

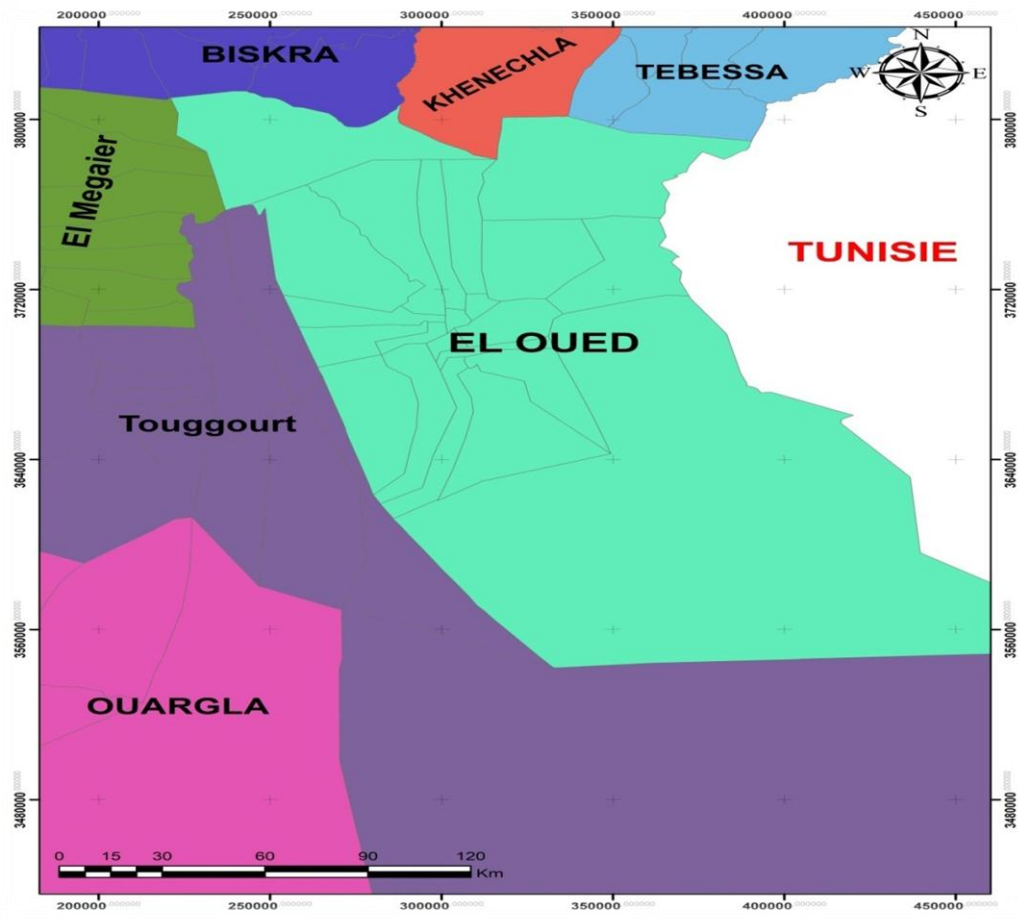


Figure 01 : *Les limites administratives de la wilaya d'El Oued.*

Elle occupe une superficie de 25753 km², et est limitée par les Wilayas de Khenchela et Tebessa et Biskra au Nord, au Nord-Est par la Wilayas des Touggourt et Lemghaier au Sud-Est par la Wilaya de Ouargla et à l'Est par la frontière Tunisienne (Figure 01).

Traditionnellement Oasis du Souf, situées au niveau du croisement de deux trajets de caravanes commerciaux ; le premier chemin qui arrive de la région du Djéride Tunisien jusqu'à la région de Ouargélane (Ouargla). La deuxième de la région du Zab de Biskra passe par El Bir (puits) Djedid jusqu'aux Oasis de Ghadames au Sud-Est (Frontière libyenne). Les limites des Oasis du Souf sont l'Erg oriental jusqu'aux abords du Chott Melghir, Où s'étire une masse de palmeraies limitée à l'Est par la frontière Tunisienne et à l'Ouest par l'immense oasis d'Oued-Righ (Figure 02). Les limites de cette oasis atteignent la frontière libyenne au sud.

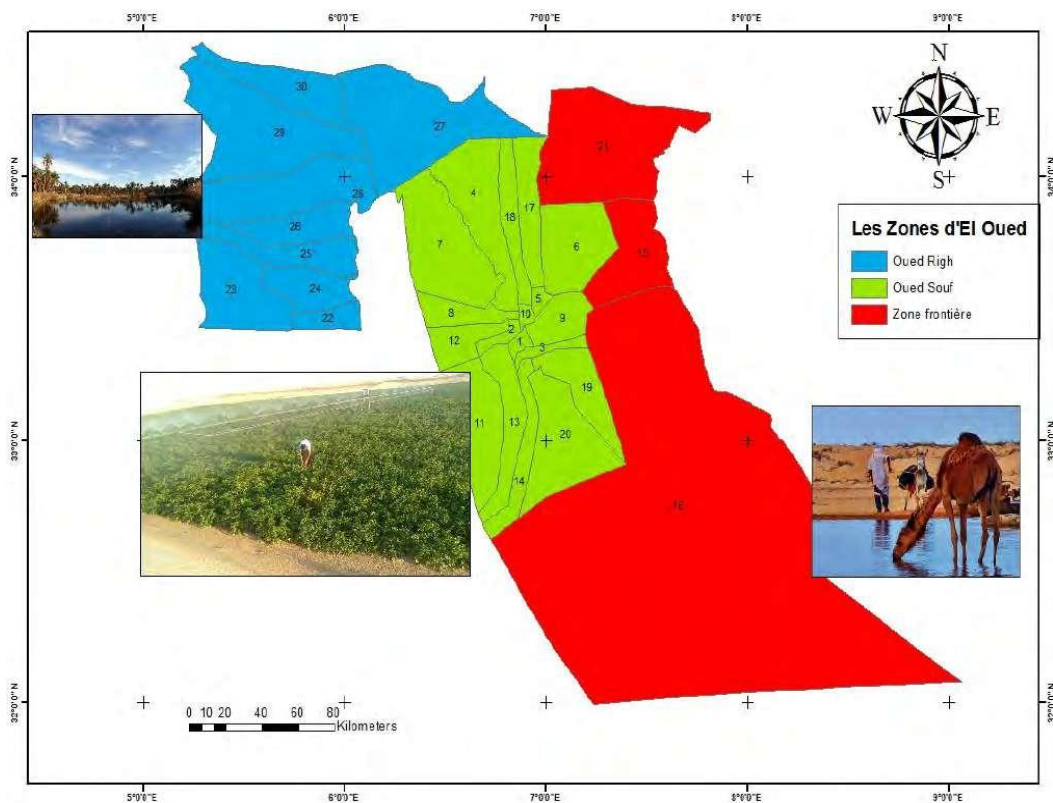


Figure 02 : stiation géographique du souf

La région souf s'étend sur 18 communes (El Oued, Bayadha, Robbah, Kouinine, Guemmar, Taghzout, Hassani Abdelkrim, Debila, Sidi Aoun, Magrane, Hassi Khelifa, Reguiba, Mihouensa, Oued Alenda, Ogla, Nakhla, Ourmes et Trifaoui), une superficie d'environ de 11200 Km², limitée par les coordonnées

géographiques suivantes : les longitudes 06°20' et 07°50' Est et les latitudes 32°50' et 34°30' Nord (Figure 03).

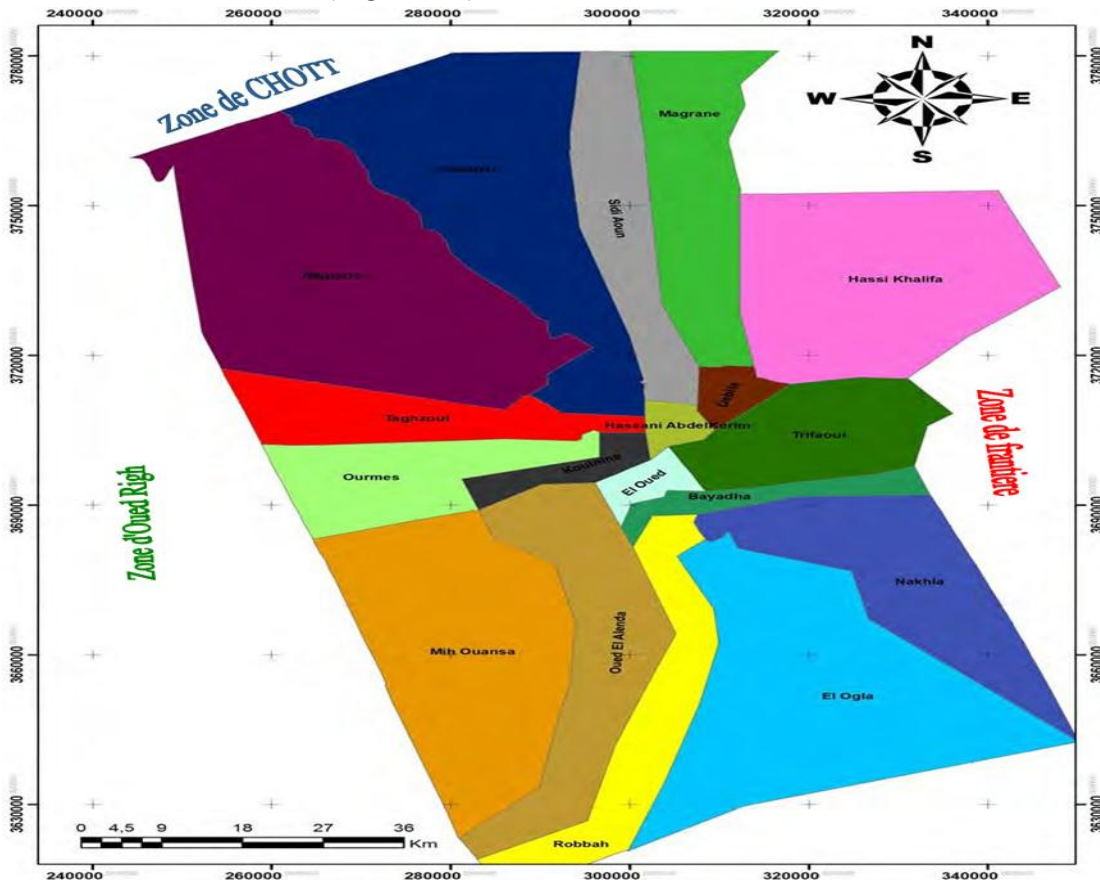


Figure 03: Carte administrative de souf

I-2 Les peuplements du Souf :

Comme tout le Sahara, le Souf a été habité de temps immémorial. Il est certain que les cantonnements de populations se sont déplacés d'ici et là à travers les âges ; La région du Souf comprend 18 communes qui représentent une population totale de 690740 habitants (DPS, 2022), répartie sur une superficie de 11251,51 Km².

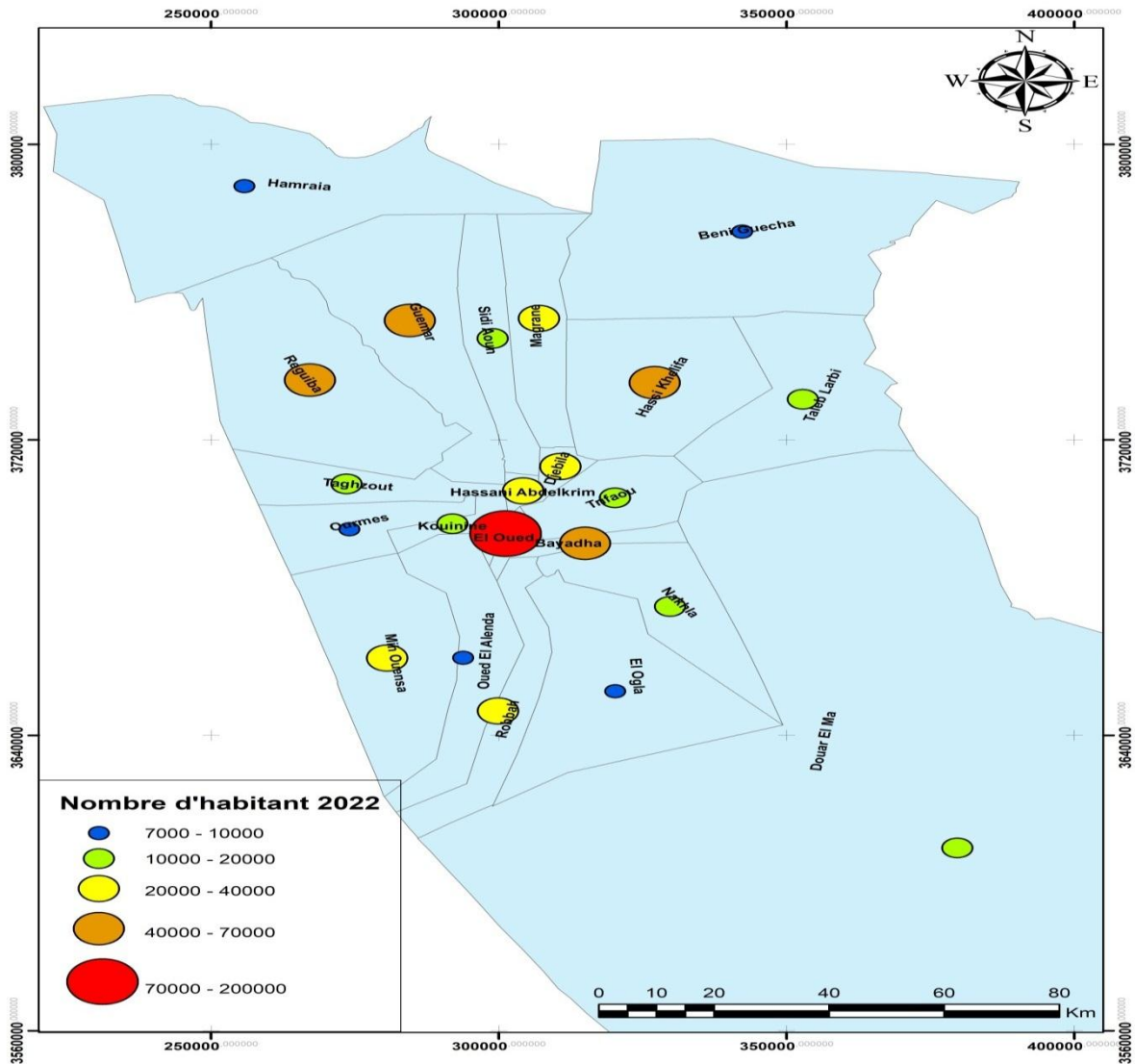


Figure 04: Le nombre d'habitants du Souf en 2022.

La figure 4 (et le tableau 1) montre la répartition des habitants de la région du Souf, où nous remarquons que la commune la plus peuplée est celle d'El-Oued (Chef-lieu) 198710 habitant avec une densité 2580 hab/km^2 , suivie par la commune de Reguiba de 62355 habitants (500 hab/km^2), par contre la commune d'El-Ogla (la plus faible densité de population 9 hab/km^2).

I-3 Le cadre architectural et socioéconomique du Souf :

El Oued c'est « la ville aux mille coupoles et une ». En effet, tous les toits sont des coupoles, les unes mi-sphériques, les autres mi-cylindriques (Figure 05).

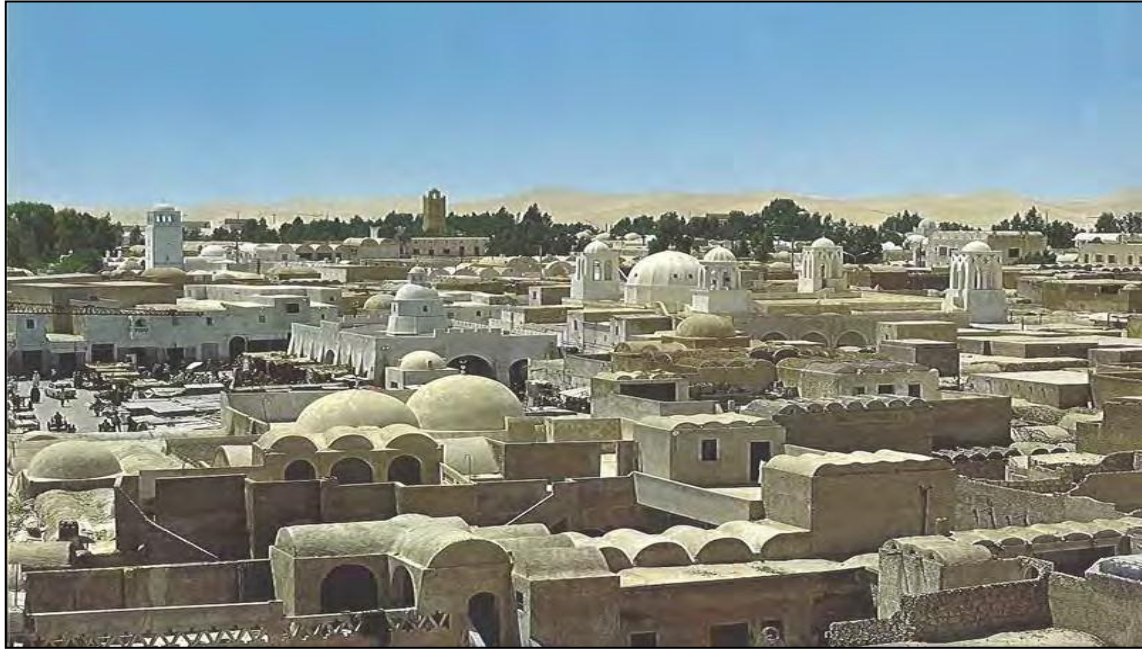


Figure 05: La ville « d'El Oued » ville aux mille et une coupoles et coupole.

Les Souafas sont des musulmans convaincus comme toute l'Algérie. Ils se rendent régulièrement à la mosquée pour prier en commun, surtout le vendredi et pendant le Ramadan (Carême). Leur Dieu, c'est Allah. Les chefs religieux ou marabouts entretiennent ces sentiments.



Figure 06: L'artisanat du Souf.

Cependant, au fur et à mesure que la région du Souf devenait une cité Commerciale importante, ou en un d'autres termes c'est un grand centre commercial régional. D'autres activités, initialement embryonnaires, se sont développées, telles que : les industries, l'artisanat (les tapis, décoration par le plâtre...etc.) (Figure 06), plus récemment quelques petites industries.

Par ailleurs, L'activité principale a longtemps été représentée par l'agriculture, la perte de l'importance relative de l'activité agricole a été accélérée de l'année 2000 ; comme le phoeniciculture et les semi-pivots de pomme de terre (Figure 07) et l'olive...etc.



Figure 07: *L'agriculteur du Souf.*

I.4- Relief et topographie de la région du Souf :

Dans certaines régions de l'Erg oriental, on trouve des reliefs spectaculaires et bien différenciés. Le relief du Souf est presque tout entier compris entre deux lignes orientées Est-Ouest ; la première au Nord est la courbe des 30 m, et la seconde au Sud, celle des 100 m. Une troisième ligne, relie les points de 70 m, est parallèle à ces deux lignes situées entre elles. La courbe de niveau des 50 m passe par Réguiba, Magrane et Trifaoui (Figure 08). Celle des 60 m relie Guemmar à Z'goum et la courbe de 100 m, Oued-Ziten, Amiche et El-Ogla. Notre région est sablonneuse ; à une altitude moyenne de 80 m, possède des dunes qui dépassent parfois cent mètres (100 m) de hauteur ; le plus "haut sommet" du Souf est une dune de 127 m (*Ghourd*) située à 2 km au Sud d'Amiche, accuse une diminution notable du Sud au Nord pour être de 25 m au-dessous du niveau de la mer dans le chott Melghir qui occupe le fond de

l'immense bassin du bas Sahara (Figure 08).

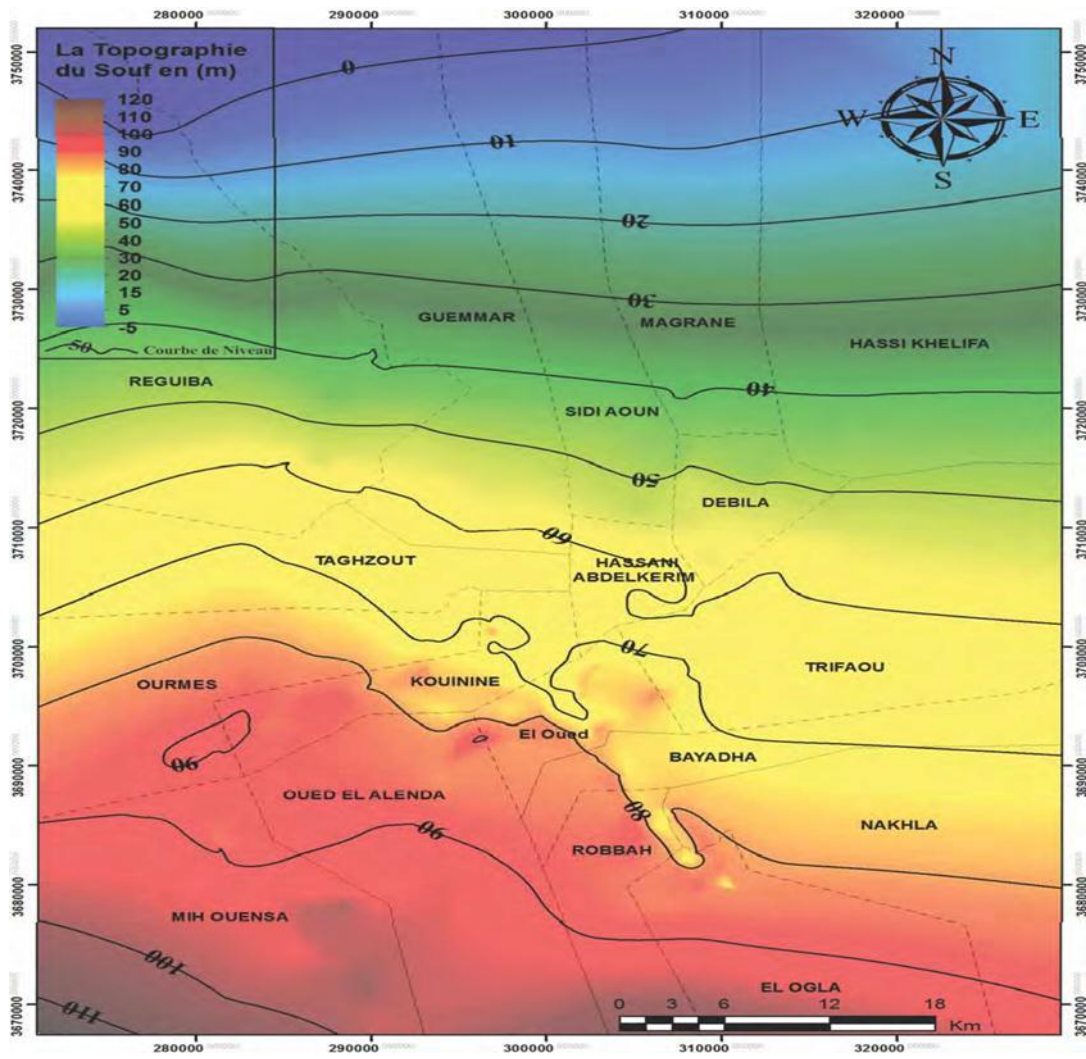


Figure 08: Topographie du Souf.

Une telle variation d'altitude ne traduit pas un relief au sens typique du terme. Si en faisant obstruction des « gour » mamelons du Chott proprement dit, il s'agit plutôt d'une topographie quasi-monotone. Cette quasi-monotonie n'empêche pas la constatation de formes géographiques (Figure 09). En effet, en montant, on a devant soi une REMLA (dépôt de sable fin sur une dune aplatie.) et, en descendant, c'est un Oued qui se découvre.

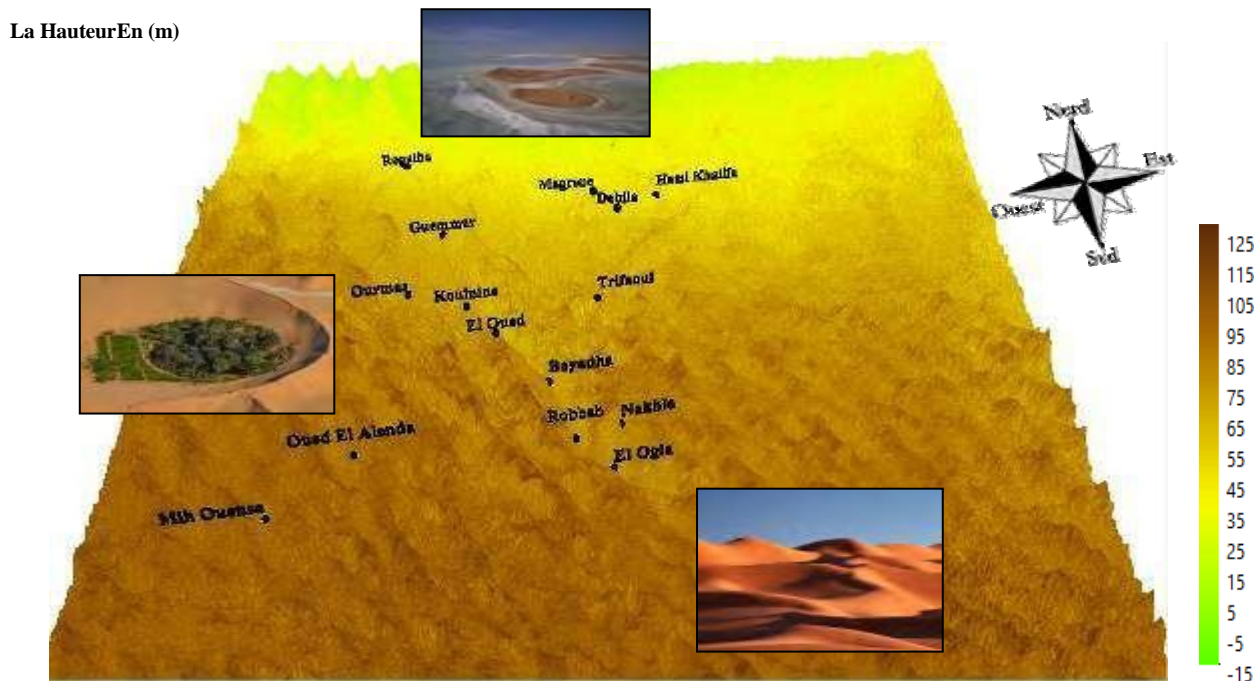


Figure 09: *Modèle numérique de terrain en 3D qui présente Les reliefs du Souf.*

Il convient de préciser que le terme Oued n'implique pas l'existence d'un cours d'eau, mais vise à caractériser une dépression ou Houd où la végétation, quoique maigre, reste différente de celle de la Remla ou « Āmi » (Najah A, 1970). D'où l'on peut distinguer trois formes géographiques dans notre région :

Les Sahanes : Sont des plateaux déprimés, souvent assez étendus, parfois caillouteux ou recouverts d'une croûte gypseuse ; ils sont enserrés par l'**Erg** qui leur donne ainsi une forme d'entonnoir. Cette croûte ou agglomérat de petits gravillons de gypse protège les Sahanes contre l'invasion des sables. Même que si les **Houds** ne sont que des **Sahanes** comblés par l'absence de cette croûte protectrice.

L'Erg (El Horra) : Soufi est plus modeste, presque jusqu'à Bir-Djedid (160 km au Sud d'El-Oued): on ne rencontre qu'une étendue uniforme et imprécise de Remla (monticules). Les masses de sable qui paraissent à première vue infranchissables, le sont au contraire assez facilement, car l'Erg rarement compact ; il est la plupart du temps coupé par de longs couloirs appelés Gassi.

El Sabkha (mot arabe): Lorsque les eaux s'évaporent sous l'effet de la chaleur, des plaques de sels divers se déposent en surface formant suivant l'origine de leurs eaux (phréatiques ou superficielles) les chotts et les sebkhas (Dutil, 1971 ; Monod, 1992 ; Lezine, 1993 ; Briere, 2000).

Par d'une autre manière ***El Sabkha*** est un bassin occupant le fond d'une dépression à forte salinité et plus ou moins séparé d'un milieu marin (Figure 09), dans des régions arides.

Néanmoins, il peut être toujours en contact avec le milieu marin par un très faible filet d'eau (bassin d'eau profond), ou au contraire par des infiltrations (bassins d'eau peu profonds).

Dans ce dernier cas, il peut se produire des débordements périodiques d'eau vers le bassin. Dans les deux cas il va y avoir une augmentation de la salinité, une évaporation importante, l'apparition d'une saumure et la précipitation d'évaporites au fond du bassin si la profondeur est faible, ou à une extrémité si la profondeur est importante.

I.5 - Contexte climatique du Souf :

L'Algérie, du fait de sa situation géographique se trouve partagée en trois zones climatiques distinctes, la première à climat méditerranéen au Nord, la seconde semi-aride vers l'intérieur du pays (hauts plateaux) et enfin un climat aride qui caractérise le grand Sahara. Le Souf s'inscrit dans le Nord du Sahara septentrional, la mer du Golfe de Gabès se trouve à 305 km à l'Est.

I.5.1- Climatologie :

La station climatique (ONM) est située dans la Commune de Guemmar à environ 20 km Nord de ville d'El Oued.

Tableau I-1. Données climatiques de la région d'Oued Souf –Température & précipitation (1978- 2017) :

Paramètre Mois	Température (C°)			Précipitation (mm)
	Tmi n	Tmax	Tmoy	
Janvier	9,62	20,76	15,31	14,67
Février	11,51	24,41	18,08	5,29
Mars	15,69	29,52	22,76	7,99
Avril	19,49	34,26	27,02	7,43
Mai	24,37	38,85	31,76	4,44
Juin	28,52	43,52	36,16	1,36
Juillet	30,03	45,31	37,77	0,26
Août	30,18	44,98	37,67	1,84
Septembre	26,79	40,67	33,85	5,72
Octobre	21,89	34,89	28,53	6,75
Novembre	15,87	27,10	21,38	7,24
Décembre	10,32	20,98	15,76	6,21
Moyenne	20,36	33,77	27,06	71,75*

* Cumulé annuel

(O.N.M. El Oued Guemmar, 2018)

I.5.1.1- Températures :

La température moyenne annuelle est de 27,06 °C, avec un maximum en Juillet de 37,77 °C (maxima moyens 45,31 °C), et un minimum en janvier de 9,62 °C (minima moyens 9,62 °C) (Tableau I-1).

Le Souf a des étés brûlants qui sont aussi durs que ceux qui s'observent dans le Sahara septentrional.

Il nous faut préciser que, contrairement au reste de la zone climatique définie, on enregistre dans le Sud des variations importantes de température, entre le jour et la nuit, où le thermomètre indique jusqu'à 55 °C à l'ombre dans la journée pour n'enregistrer dans la nuit que 15 °C ou 16 °C ; car le sable se refroidit beaucoup plus vite que la pierre ou l'argile. Cet écart peut se chiffrer à 30 °C. Mais en hiver par contre la température descend souvent au-dessous de 0°C dans la nuit.

I.5.1.2- Précipitations :

Les précipitations sont très faibles et irrégulières, la moyenne annuelle de la région est de 71,75 mm/an (Tableau I-1).

Tableau I-2. Précipitations interannuelles (1978 – 2017) du Souf :

Année	P _i (mm)	Année	Pi (mm)	Année	Pi (mm)	Année	Pi (mm)	Année	Pi (mm)
1978	73,8	1986	90,2	1994	48,3	2002	32	2010	49
1979	86	1987	40	1995	60,1	2003	97,9	2011	29
1980	106	1988	77,9	1996	105,4	2004	133,5	2012	22
1981	29,9	1989	18,5	1997	72,2	2005	35,7	2013	64
1982	88,4	1990	209	1998	79,1	2006	121,3	2014	18
1983	15,9	1991	47,6	1999	124,3	2007	56,3	2015	13
1984	45	1992	64	2000	37,3	2008	31,4	2016	103,2
1985	40,6	1993	46,5	2001	52	2009	233,7	2017	100,1
<i>Pmoy</i> (1978-2017)								71,75 mm	

(O.N.M. El Oued Guemmar, 2018)

La variation interannuelle des précipitations pour la période de 1978 à 2017 (40 ans) est présentée dans le tableau I-2 et illustrée sur le graphique (Figure 10). Pour la station de mesures nous remarquons que la hauteur annuelle des précipitations pour la période considérée varie de 13 mm en 2015 à 233,7 mm en 2009, tandis que le module pluviométrique interannuel est égal à 71,75 mm.

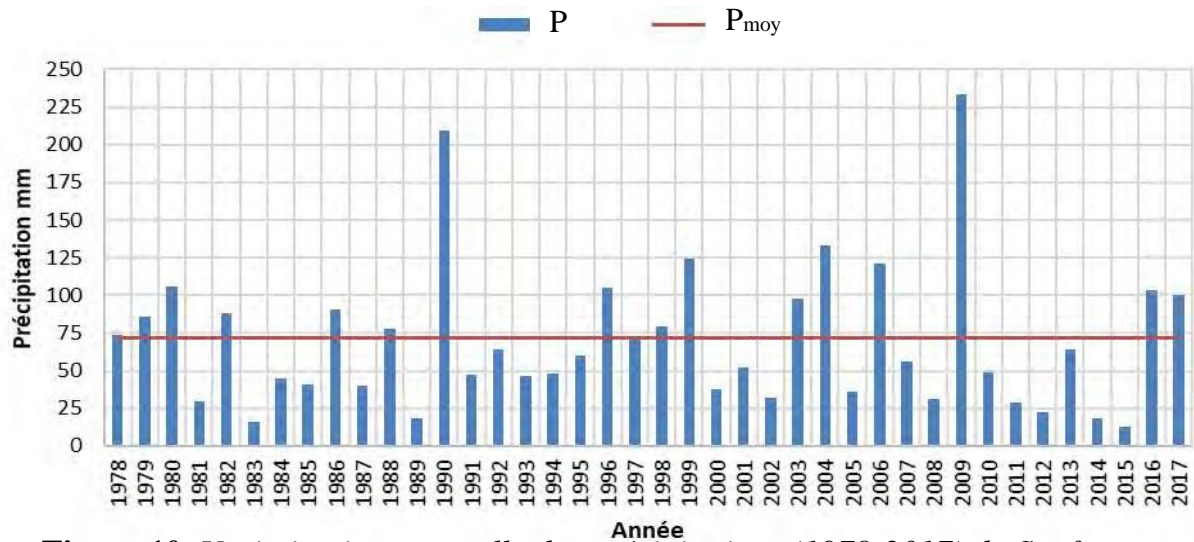


Figure 10: Variation interannuelle des précipitations (1978-2017) du Souf.

La station météorologique de Guemmar a enregistré 23 années de précipitations inférieures à la moyenne et 17 années au-dessus de la. D'après Dubief (1963), les précipitations sahariennes ont une origine différente selon les saisons.

Dans le Souf, la pluviométrie assez capricieuse, satisfaisante dans l'ensemble, les précipitations se produisent généralement d'octobre à février. Le plus souvent fines et modérées, elles deviennent parfois torrentielles, où on a enregistré 146 mm au mois de janvier 2009.

I.5.1.3- Evaporation potentielle :

Tableau I-3. Données climatiques de la région d'Oued Souf-Evaporation-(1986-2009) :

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Joins	Juillet	Aout	Septembre	Novembre	Octobre	Décembre	Moyenne
Paramètre													
Evaporation (mm)	76,47	99,55	148,02	197,68	252,37	278,76	316,13	278,88	200,08	149,64	99,68	76,00	2174,16*

* Cumulé annuel
(Guemmar, 2018)

(O.N.M. El Oued)

L'évaporation est importante, elle atteint dans le Souf une ampleur considérable car ce phénomène physique rencontre ici les conditions nécessaires optimales : la moyenne annuelle est de 2174,16 mm (Tableau I-3).

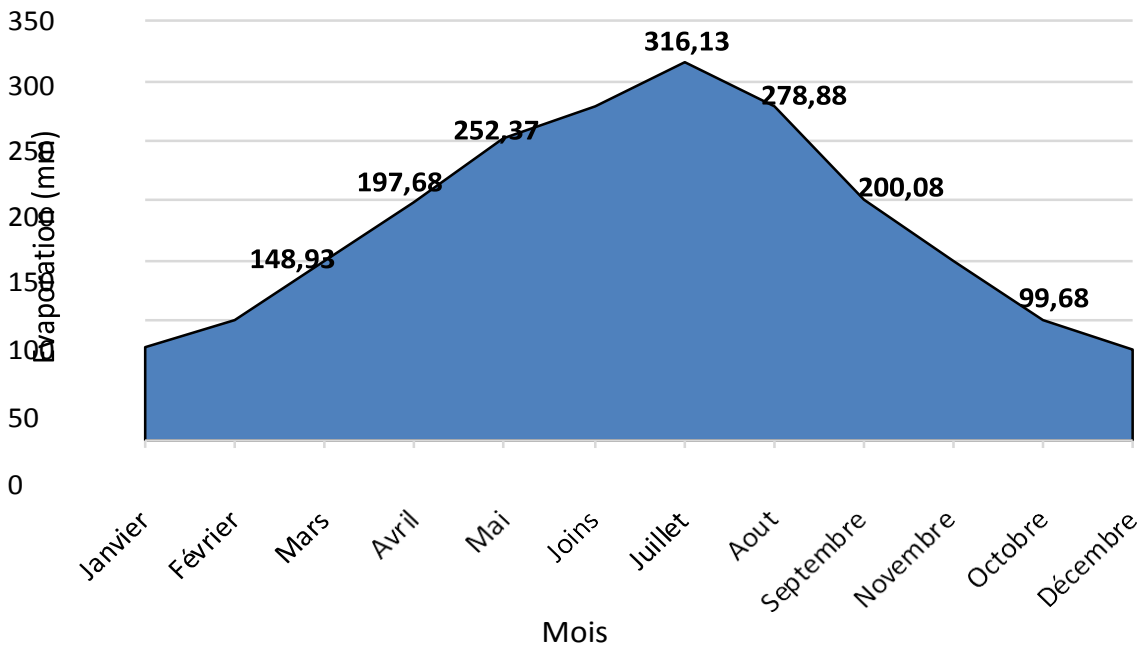


Figure 11 : L'évaporation potentielle de la région du Souf (1986-2009).

Le maximum est atteint au mois de juillet avec une moyenne de 316,13 mm (Figure 11). Le minima est enregistrés durant le mois de décembre 76 mm.

I.5.1.4- Vitesse du vent :

Tableau I-4. Données climatiques de la région d'Oued Souf-Vents-(1993- 2015) :

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Joins	Juillet	Aout	Septembre	Novembre	Octobre	Décembre	Moyenne
Paramètre													
Vents (km/h)	2	2	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	2

(O.N.M. El Oued Guemmar, 2018)

Il est un dernier phénomène qui joue son rôle dans certains aspects de la vie au Souf ; c'est le vent. Selon le Tableau I-4, nous remarquons que les vents sont fréquents durant toute l'année. Les vitesses les plus élevées sont enregistrées durant la période allant d'Avril jusqu'en Septembre, avec un maximum de 38,83 km.h⁻¹ durant le mois de Mai (Figure 12).

Vitesse du Vent (km/h)

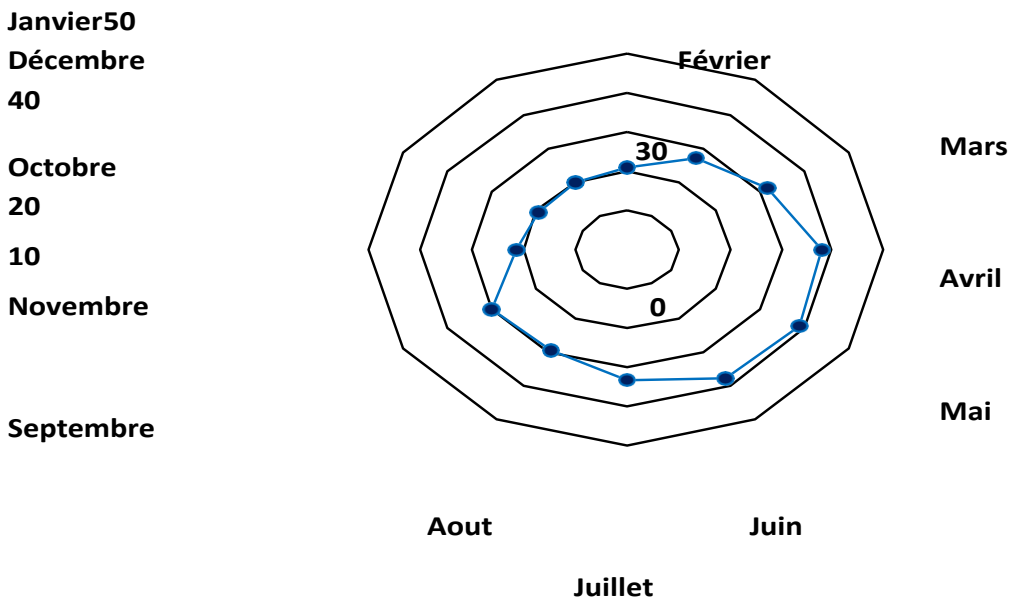


Figure 12 : Les vitesses du vent dans la région du Souf (1993-2015).

Tout comme les météorologistes, les habitants du Souf ont leur idée sur les vents : chacun a son nom : Le *gharbi* (mot Arabe) c'est-à-dire d'Ouest, est de peu d'intérêt. Au contraire, le *bahri*, vent d'Est qu'il faudrait appeler le « marin », en été il apporte de la fraîcheur.

Il faut signaler ; que le période du printemps les vents de sable sont les plus forts. Ils sont chargés de sables éoliens donnant au ciel une teinte jaune et peuvent durer jusqu'à trois jours consécutifs avec une vitesse allant de plus 150 à 180 km/h, caractérisés par une température élevée due au "Chihili" ou sirocco, parfois violent : il souffle du Sud, mais plus encore du Sud-Ouest.

I.5.1.5- Humidité de l'air :

Les valeurs d'humidité enregistrées à la station de Guemmar. Ces valeurs observées dans la station – située au ras du sol à l'entrée de l'aéroport doivent être moins importantes que les humidités régnantes à l'intérieur de l'oasis ou du ghout.

Tableau I-5. Données climatiques du Souf- Humidité de l'air-(1978- 2015) :

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Joins	Juillet	Aout	Septembre	Novembre	Octobre	Décembre	Moyenne
Paramètre													
Humidité(%)	63,95	54,76	48,68	42,84	38,21	34,03	31,34	34,39	44,87	52,66	59,39	65,95	47,59

(O.N.M. El Oued Guemmar, 2018)

L'humidité de l'air est faible. La moyenne annuelle est de 47,59 % (Tableau I-5).

Elle varie sensiblement en fonction des saisons de l'année.

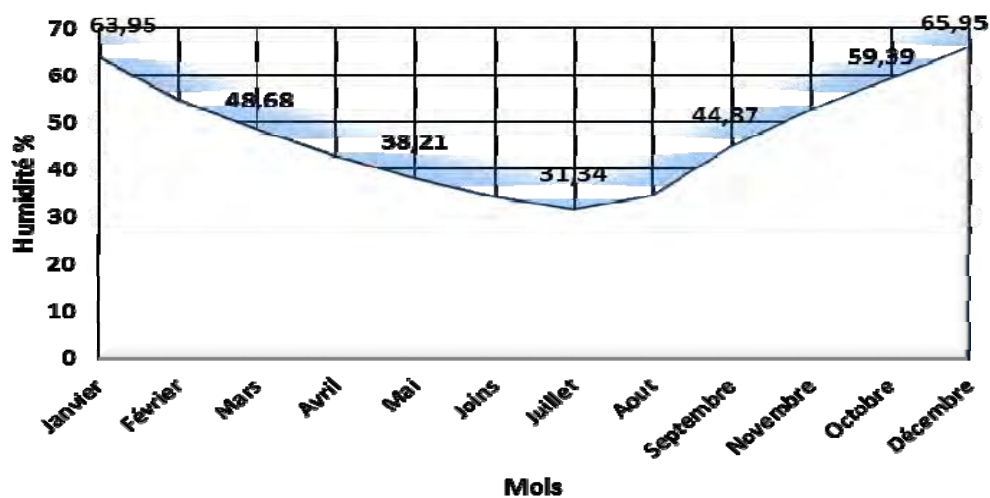


Figure 13 : Humidité de la région du Souf (1978-2015).

En effet, pendant l’été, elle chute jusqu’à 31,34 % au mois de Juillet, sous l’action d’une forte évaporation et des vents chauds ; alors qu’en hiver elle s’élève et atteint une moyenne maximale de 65,95 % au mois de Décembre (Figure 13).

I.5.1.6- Insolation :

Tableau I-6. Données climatiques de la région d’Oued Souf- Insolation -(1997-2009) :

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Joins	Juillet	Aout	Septem	Novemb	Octobre	Décemb	Moyenne
Paramètre													
Insolation (h)	236,27	247,00	278,20	281,00	308,00	342,00	352,50	329,00	271,00	259,00	238,50	225,00	3371,15*

* Cumulé annuel
(Guemmar, 2018)

(O.N.M. El Oued)

A cause de la faible nébulosité de l’atmosphère, la quantité de lumière solaire est relativement forte, ce qui a un effet desséchant en augmentant la température (Ozenda, 1983)

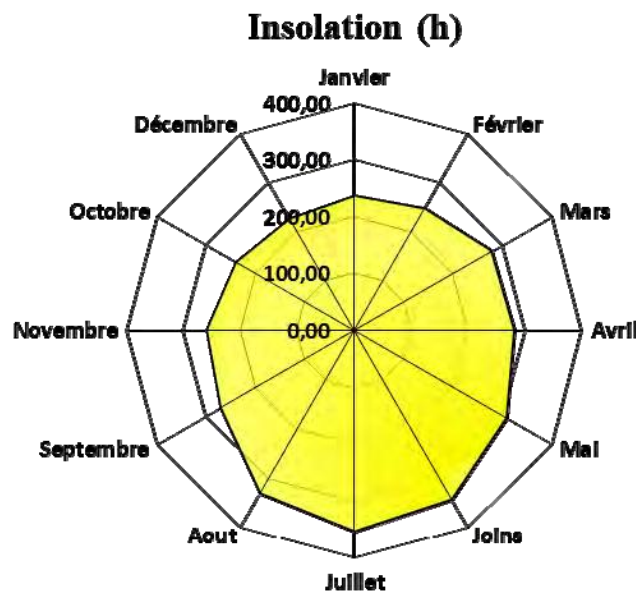


Figure 14 : Insolation de la région du Souf (1997-2009).

Les durées d’insolation sont évidemment très importantes au Sahara septentrional et varient assez notablement d’une année à l’autre et même suivant les périodes de l’année envisagée.

Selon le tableau (I-6) la durée moyenne Cumulée d'insolation est d'environ 3371,15 heures, avec un maximum de 352,59 heures en Août et un minimum de 225,92 heures en Décembre (Figure 14).

I.5.2- Synthèse climatique :

Une caractérisation globale du climat peut être réalisée par l'emploi d'indices ou de diagrammes climatiques. Pour caractériser le climat du Souf, nous utiliserons les indices DE DEMARTONE et d'Emberger, ainsi que le diagramme Ombrothermique de GAUSSEN et l'indice d'aridité DE MARTONNE.

I.5.2.1-Diagramme Ombrothermique de Gausсен :

Le diagramme Ombrothermique de GAUSSEN (Figure 15) de la région du Souf montre que la durée de la saison sèche est de 12 mois (sécheresse permanente).

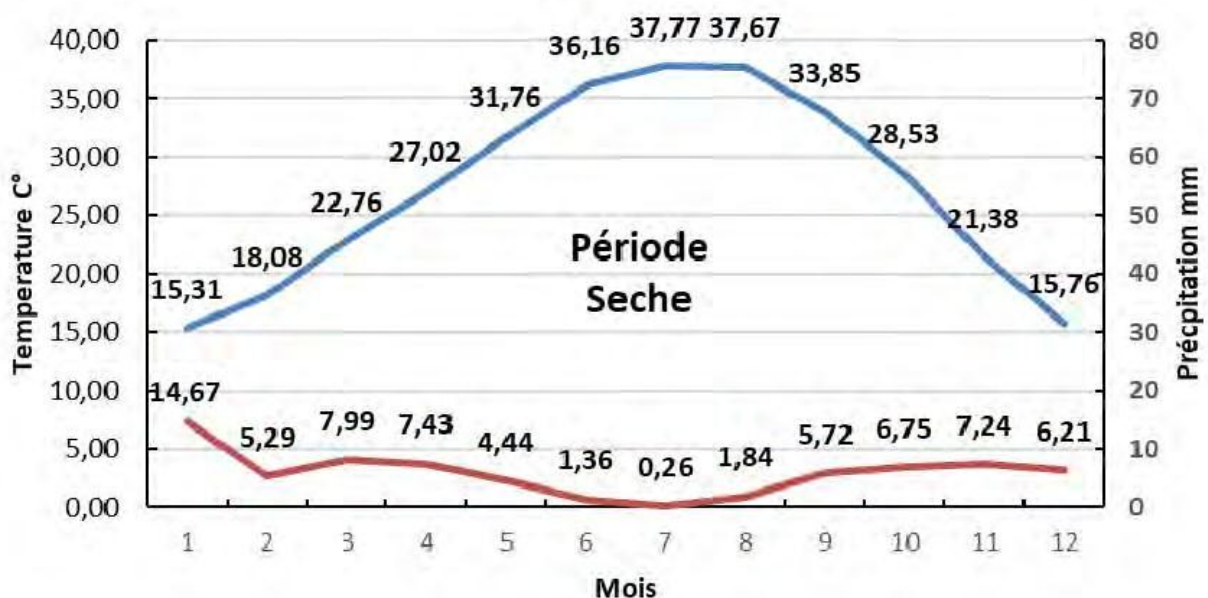


Figure 15: Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN du Souf (1978-2017).

A la suite de DE MARTONE (1927), de nombreux indices climatiques sont proposés. Les plus courants sont basés essentiellement sur la pluie et la température. C'est le cas du quotient pluvio-thermique d'Emberger (Emberger, 1930, 1955 ; Sauvage, 1963) et de l'indice xérothermique de Bagnouls et GAUSSEN (1953) qui sont les plus utilisés.

I.5.2.2-Quotient pluviothermique :

Le système d'EMBERGER permet la classification des différents climats méditerranéens (DAJOZ, 1985 ; DAJOZ, 2003). Cette classification fait intervenir deux facteurs essentiels, d'une part la sécheresse représentée par le quotient pluviothermique (Q_2) en ordonnées et d'autre part la moyenne des températures minimales du mois le plus froid en abscisses. Ce quotient est défini par la formule simplifiée suivante (STEWART, 1969).

Les travaux d'Emberger (1930, 1936, 1955) consistent à définir et classer les climats méditerranéens du point de vue biogéographique (Étages bioclimatiques) selon la formule suivante (Quotient pluviométrique) :

$$Q = \frac{1000}{\left[\left(\frac{M+m}{2}\right) - (M-m)\right]}$$

Pour classer le bioclimat, nous avons utilisé le quotient pluviométrique d'Emberger spécifique au climat méditerranéen (Claudin et al., 1979). Dont la formule est :

$$Q_2 = \frac{2000 P}{M^2 - m^2}$$

Et de fait que M et m , les températures maxima et minima, exprimées en degrés absolus ($^{\circ}\text{K}$), Stewart (1969) cité par LE HOUEROU (1995) a montré que pour l'Algérie et le Maroc la dernière formule pouvait être simplifiée pour s'écrire :

$$Q_2 = \frac{3.43 P}{M - m}$$

P : Pluiosité moyenne annuelle en mm.

M : Moyenne des températures maximales quotidiennes du mois le plus chaud en $^{\circ}\text{K}$.
 m : Moyenne des températures minimales quotidiennes du mois le plus froid en $^{\circ}\text{K}$.
 3,43 : Coefficient de Stewart établi pour l'Algérie

D'après le série des données de la période 1978 à 2017 on :

$$P = 71,75 \text{ mm}$$

$$M = 49,40 \text{ C}^{\circ} \quad M = 318,57 \text{ k}^{\circ}\text{m} = 3 \text{ C}^{\circ} \quad m = 276,15 \text{ k}^{\circ}$$

Pour la station d'El Oued (Guemmar) et pour la période 1978- 2017, $Q_2 = 5,80$. Il se dégage que le bioclimat de type hyper aride (saharien) à hiver doux (Figure 16).

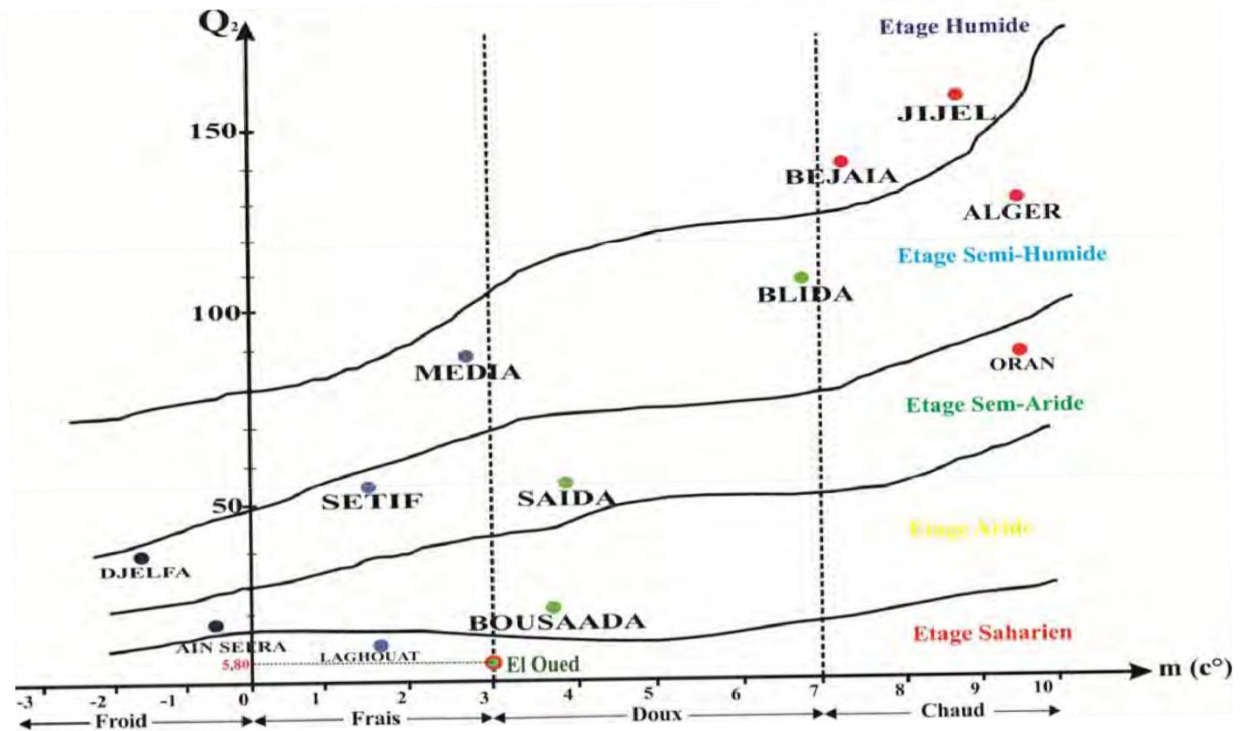


Figure 16: Climagramme d'Emberger pour la région du Souf.

A partir de ce Climagramme (Figure 16), nous constatons que l'étage bioclimatique de la région du Souf est saharien à hiver doux, puisque Q_2 est égal à 5,80.

I.5.2.3- Indice d'aridité de DE MARTONNE :

On peut aussi ajouter l'Indice d'aridité Annuelle de DE MARTONNE, qui permet de calculer le degré d'aridité annuelle d'une station quelconque. DE MARTONNE utilise, pour une station donnée, la moyenne annuelle des températures et le total annuel des pluies. Cet indice est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$I_{DM} = \frac{P}{T + 10}$$

Avec :

I_{DM} : Indice d'aridité.

P : Précipitation moyenne mensuelle (mm).

T : Température moyenne annuelle (°C).

$P = 71,75 \text{ mm}$; $T = 27,06 \text{ °C}$ donc $I = 1,94$.

Sur la base des fourchettes de l'indice d'aridité (Tableau I.7) fixées par DE MARTONNE on peut classer notre région.

Tableau I-7. Valeur Indice d'Aridité DE MARTONNE (Lebourgeois F., 2010)

Valeur de IDM	Type de Climat	Signification
$I < 5$	Saharien (Hyperaride)	Desert sans culture
$5 < I < 10$	Désertique (Aride)	Désert et steppe ; aucune culture sans irrigation
$10 < I < 20$	Steppique (Semi-Aride)	Formation herbacées, steppes ou savanes
$20 < I < 30$	Semi-Humide	Prairie naturelle ; irrigation généralement non nécessaire
$30 < I < 40$	Tempéré (Humide)	Les arbres jouent un rôle de plus en plus grand dans le paysage
$I > 40$	Himide	La forêt est partout la formation climatique

Nous pouvons dire que le type de climat de la région d'Oued Souf est de type Saharien (Figure 17).

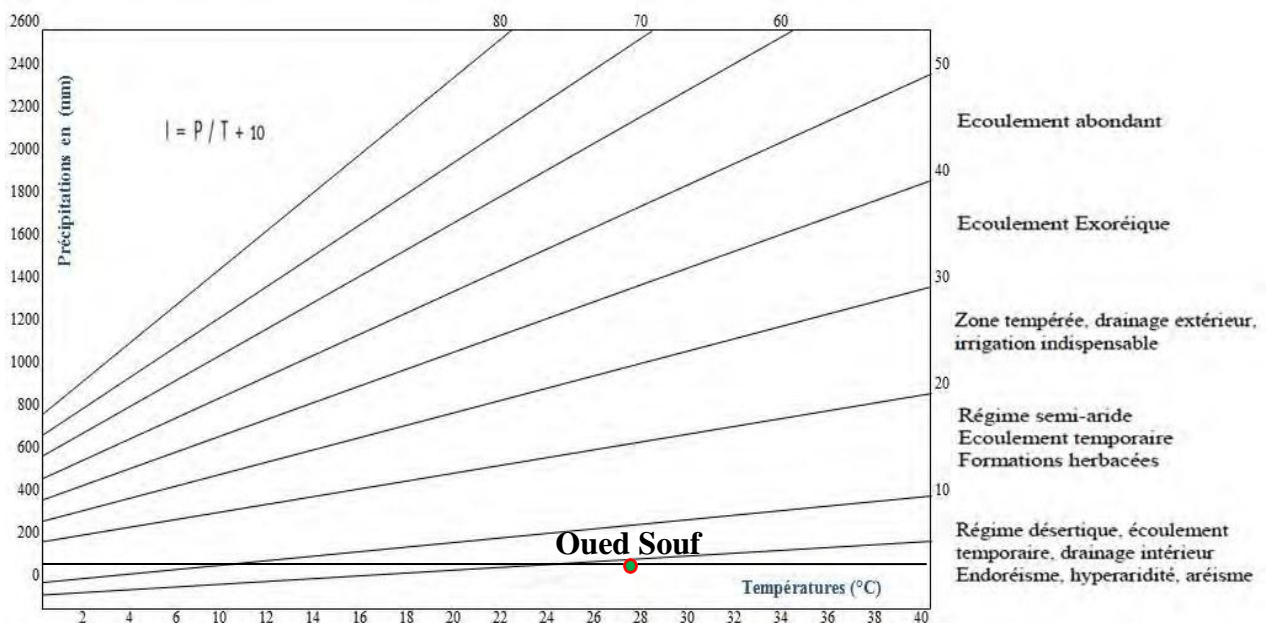


Figure 17: Abaque de l'indice d'Aridité de DE MARTONNE de la vallée du Souf.

Conclusion :

La wilaya d'El Oued englobe deux vallées « Souf et Oued Righ ». Elle est considérée comme l'une des régions les plus touristiques en Algérie et plus particulièrement au Sahara septentrional. Qui fait du Souf et de l'Oued Righ l'une des plus belles régions d'Algérie.

L'Oasis du Souf est un petit morceau de cet immense territoire géomorphologique que constitue le Grand Erg oriental ; du point de vue géographique considéré le Souf est point de milieu de grand Erg c'est-à-dire la liaison entre toutes les régions du Sud-Est. Et du point de vue économique c'est le centre commercial agricole, industriel, artisanal

...etc. Caractérisé par un climat aride de température moyenne annuelle 27,06 °C avec une altitude moyenne de 80 m, et de précipitation annuelle 71,75 mm.

Chapitre II

Géologie & Hydrogéologie de la région du Souf

II.1- Géologie de la région du Souf :

D'après Cornet (1964), Lechaari M.B (1990), Guendouz et *al* (1992), le bassin oriental du bas Sahara, entre la dorsale du M'Zab et les reliefs du Dahar, les formations post – turoniennes constituent (Figure 18) un système aquifère généralement indépendant du Continental Intercalaire.

La région du Souf se situe dans une mer de sable de couleur jaune ocre, issue de dépôts quaternaires.

Dans cette région, les conditions tectoniques et paléogéographiques ont permis la mise en place d'une série sédimentaire à caractère lithologique divers et variable dans le temps, plutôt calme, régulière et homogène dans l'espace (figure 18). Ces caractéristiques ont favorisé la formation dans le Souf et dans tout le bas Sahara de plusieurs terrains aquifères à comportement hydrodynamique variable en fonction de leurs faciès.

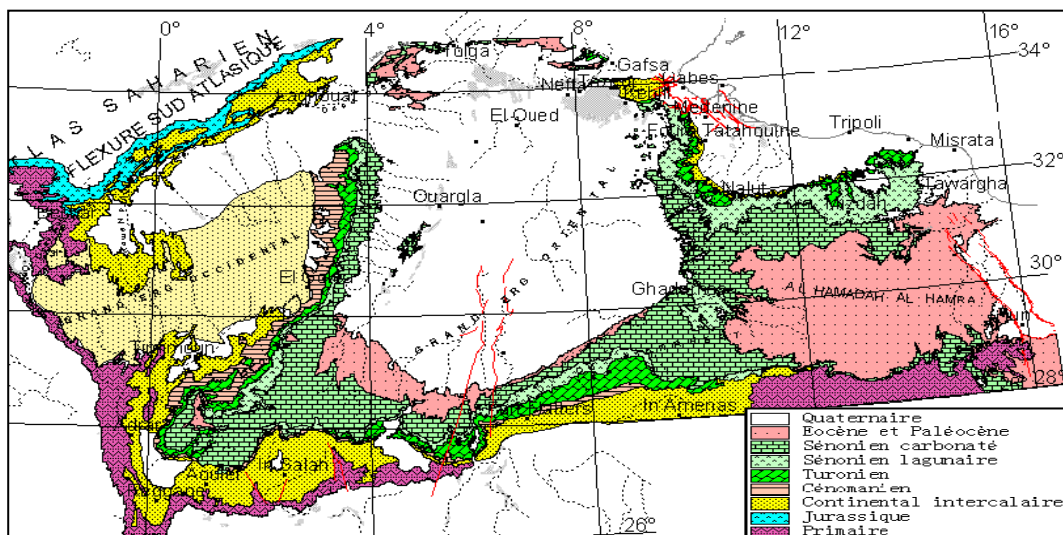


Figure 18: Carte géologique du Grand Erg Oriental, (Baba Sy.M, 2005).

Le Barrémien est l'étage du Continental Intercalaire, capté par tous les forages réalisés dans la région du Souf ; il présente une lithologie, d'alternance de grès avec des passages d'argile et parfois des intercalations de calcaire, dolomitique, des sables avec la présence de silex, l'épaisseur moyenne de cet étage est de l'ordre de 200 à 230 m.

L'Aptien de même que le Barrémien, sont constitués principalement par des formations dolomitiques, marneuses et marno-calcaires. Et d'après les coupes

géologiques des forages réalisés dans la région du Souf, L'Aptien est le seul étage dont l'épaisseur ne dépasse guère 30 mètres (Figure 19).

L'Albien est constitué par une alternance de marne, de grès de sable et surtout par du calcaire avec passages de silex et d'argile, l'épaisseur varie de 100 à 150 m ; dans d'autres endroits elle peut atteindre 200 m (Figure 19).

Le Vraconien, une zone de transition entre l'Albien sableux et le Cénomaniens argilo carbonaté, est constitué principalement d'une alternance irrégulière de niveaux argilo dolomitiques. Son épaisseur varie entre 250 et 300 mètres

Le Cénomaniens formé par une alternance de dolomies, de calcaires dolomitiques de marnes dolomitiques, d'argiles et d'anhydrites. Cette couche joue le rôle d'un écran imperméable.

Le Turonien représente la base du complexe terminal. Il est généralement carbonaté et composé par des calcaires dolomitiques et des dolomies micro cristallines compactes avec des intercalations de calcaires Turoniens et parfois de marnes. Son épaisseur varie d'un endroit à un autre ; elle dépasse parfois 650 mètres

Le Sénonien dans tout le Sahara oriental, est formé de deux ensembles très différents du point de vue lithologique :

* *Le Sénonien lagunaire à la base*, est généralement net. L'épaisseur avoisine 150 mètres. En effet, les évaporites et argiles sénoniens sont aisément différenciables des calcaires et dolomies du Turonien.

* *Le Sénonien carbonaté au-dessus*, Son épaisseur dépasse parfois 300 mètres, est essentiellement formé de dolomies et de calcaires dolomitiques, avec des intercalations de marnes et d'argiles, plus rarement d'anhydrites.

L'Eocène comme pour le sénonien, sont deux ensembles distincts ; du point de vue lithologique :

* *L'Eocène carbonaté à la base*, réuni forme un très puissant ensemble calcaire.

* *L'Eocène évaporite au-dessus* constituée par une alternance de calcaire, d'argile et d'anhydrites.

Le Mio-pliocène repose en discordance indifféremment sur le primaire d'une part et sur le crétacé inférieur, le Turonien, le Cénomaniens et l'Eocène d'autre part. Il appartient à l'ensemble appelé communément "Continental Terminal".

La plupart des coupes de sondages captant cet horizon, montrent que le Miopliocène est constitué par un empilement de niveaux alternativement sableux, sablo argileux avec des intercalations gypseuses et dépassées de grès. Son épaisseur varie de quelques mètres à plus de 2000 m dans la fosse sud atlasique.

Le Quaternaire est formé en général par un niveau argilo-gréseux à la base se présentant comme une croûte ancienne et met en charge les aquifères miopliocènes de l'Oued Rhir. Et le niveau le plus superficiel du Quaternaire est constitué de sables éoliens (l'érosion du Hoggar) parfois gypseux. Ils forment d'énormes accumulations dans le grand Erg Oriental du Souf. Les nappes phréatiques sont contenues généralement dans ces niveaux.

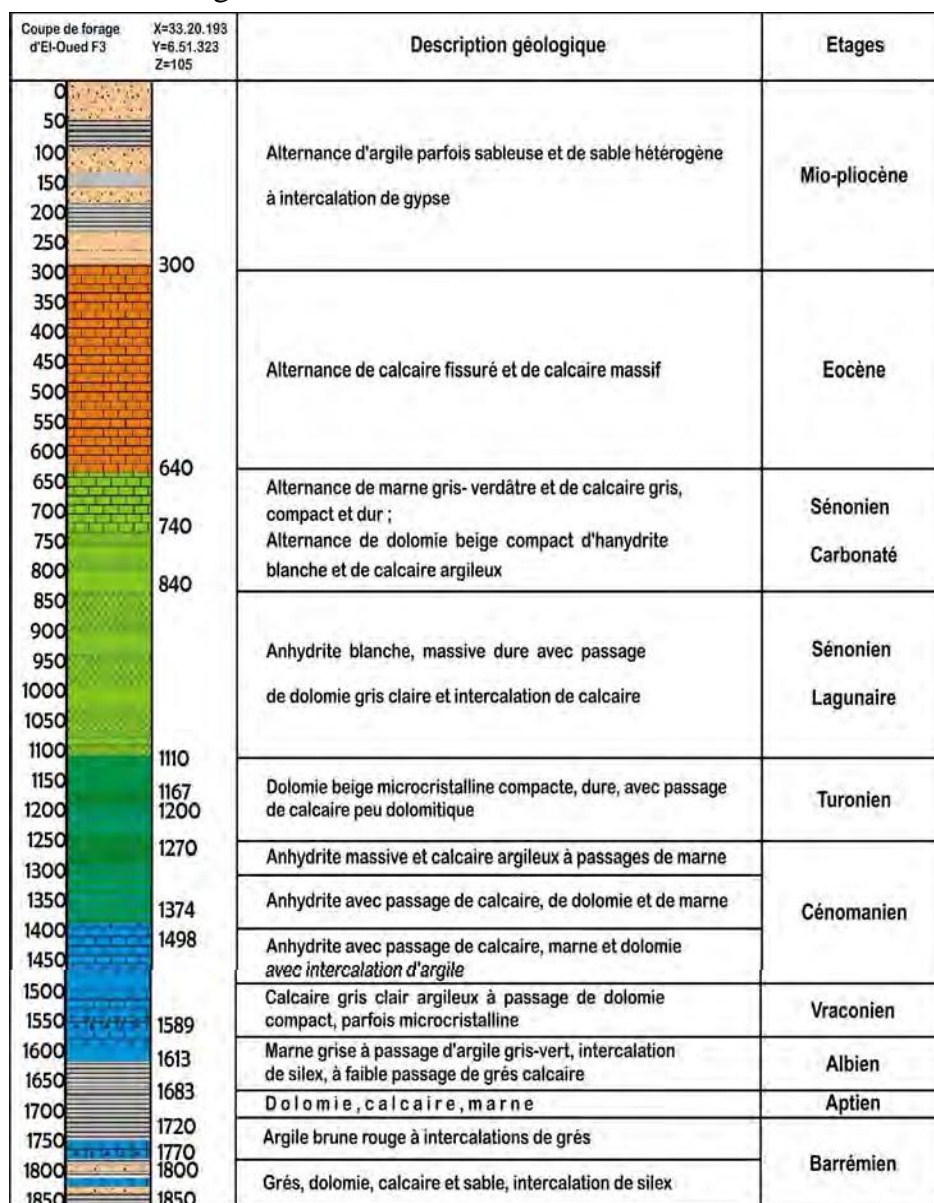


Figure 19: Log de forage Albien F3, Cité 19 Mars El Oued (D.R.E, 2017).

II.2- Hydrogéologie du Souf :

Les pays des zones, Nord et Sud, du Sahara ainsi que ceux de la péninsule arabesont situés sur de grands bassins sédimentaires qui contiennent des réserves d'eau souterraine considérables. Ces réserves ne se reconstituent que très faiblement et on les appelle des « Aquifères ». En Afrique au Nord, de l'Equateur on distingue tout particulièrement les bassins de **Nubie** (Egypte et Libye), du **Tchad** (Tchad et Niger), d'**Iullemeden** (Niger, Mali, Algérie). De **Taoudeni-Tanezrouft** (Mali, Algérie), **Sénégal-Mauritanien** et celui du **Sahara Septentrional**, plus communément appelé « **SASS-Système Aquifère du Sahara Septentrional** », partagé entre l'Algérie, la Tunisie et la Libye (OSS, 2002).

Le **Système Aquifère du Sahara Septentrional SASS** occupe une superficie de plus d'un million de km² dans la partie occidentale de l'Afrique du Nord : environ 700.000 km² en Algérie, 80.000 km² en Tunisie et 250.000 km² en Libye (Figure 20).

Ce sont des dépôts continentaux dans lesquels on distingue en réalité deux aquifèresque l'on va appeler, de bas en haut, le « **Continental Intercalaire** » **CI**, et le « **Complexe Terminal** » **CT**.



Figure 20 : Limites du Bassin de Système Aquifère du Sahara Septentrional SASS

(OSS, 2003) Modifier.

D'après l'Observatoire du Sahara et Sahel **OSS** ; plus de 85 % de l'exploitation de la ressource est allouée à l'agriculture, le reste à l'eau potable, l'industrie et le tourisme.

Au Souf, groupe d'Oasis au sein du Grand Erg oriental, comme dans la plupart des oasis du Sahara septentrional, les seules ressources hydriques disponibles sont les nappes d'origine souterraine. Les nappes d'eau souterraines de la région du Souf sont contenues dans des formations aquifères de nature différente. A l'échelle régionale et du pays, les auteurs (Baba SY, 2005 ; BRL-BNEDER, 1999 ; Cornet, 1961 ; Castany, 1982 ; Cornetet Gouscov, 1952 ; Guendouz A, et *al.*, 2003 ; UNESCO, 1972a) distinguent généralement deux ensembles géologiques qui contiennent les ressources en eau souterraine : un vaste bassin sédimentaire constitué de couches d'épaisseur et de caractéristiques hydrogéologiques variables.

II.2.1- Nappe du Continental Intercalaire :

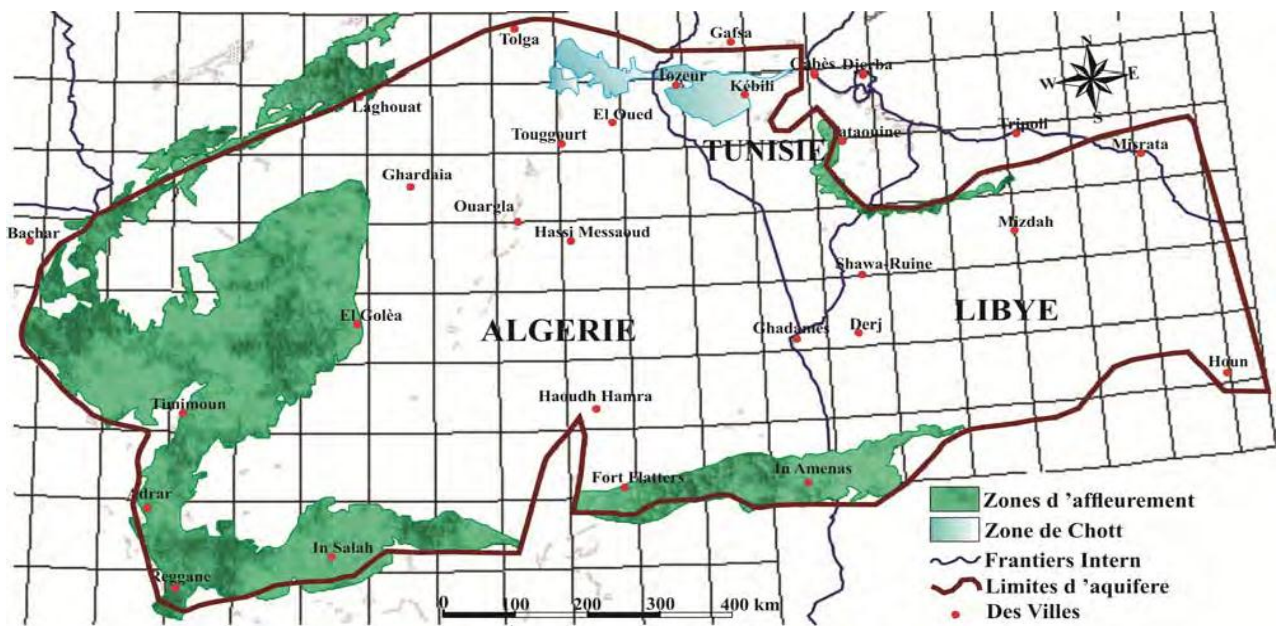
La nappe du Continental Intercalaire directement surmontée par les argiles et carbonates du Cénomaniens, s'étend sur tout le bassin sédimentaire du Sahara septentrional, sur plus de 600.000 km² (Figure 21).



Figure 21: Limite du Continental Intercalaire (Baba SY et al., 2006). Modifier

Cet aquifère est contenu dans les formations continentales des horizons sablo-gréseuses et argilo-sableuses du crétacé inférieur (Barrémien et Albien). Les formations

du Continental Intercalaire (CI) s'étendent jusqu'en bordure de la plate-forme, en une auréole continue d'El Goléa (Algérie) jusqu'à la limite Sud de la Hamada El Hamra (Libye). Au Nord-Ouest du bassin, le CI affleure tout au long de l'Atlas saharien et au Nord-Est au pied de la falaise du Dahar et du Jebel Nefusa (Figure 22). Plus au Sud, le CI repose directement sur les formations marines du Paléozoïque, lequel forme en affleurement une ceinture continue allant de la frontière marocaine, à la limite Nord- Ouest du bassin, jusqu'à la ville d'Hun (Sud-Est de Libye). Les premiers jaillissements de l'eau obtenus en genèse de



l'Albien.

Figure 22: Les zones de recharge de CI (OSS, 2015) Modifier.

II.2.1.1- Les zones d'alimentation du CI :

L'alimentation des nappes du Sahara septentrional s'effectue pour le Continental Intercalaire :

- De façon directe par infiltration des eaux de ruissellements qui se produisent sur les zones périphériques d'affleurement, notamment :
 - Dans le piémont de l'Atlas saharien (Nord – Ouest),
 - Dans le massif du Dahar (Est),
 - Sur les rebords Ouest (Touat, Gourara) et sud (Tidikelt) du plateau de Tademaït, ainsi que sur le rebord Sud du plateau du Tinrhert et sa prolongation en Libye jusqu'au

Jebel Fezzan (ERESS, 1972b ; BRL, 1998a), dans le massif du Nefusa en Libye(GEOMATH, 1994),

➤ Indirectement dans le grand erg occidental à travers des sables dunaires et du Complexe Terminal, dans la région du Dahar où il n'existe pas de séparation imperméable entre les deux réservoirs (RESS, 1972b ; BRL, 1998a).

Baba SY et *al.*, (2006) met en évidence les zones d'alimentation qui sont: a) piémont sud atlasique au Nord-Ouest, b) Tinrhert au Sud, c) Dahar à l'Est, d) JebelNafusa au Nord-est, e) Jebel Hassawna au Sud, où la nappe du Cambro-Ordovicien est drainée vers le Nord par la nappe du Continental Intercalaire (Figure 23). Cette alimentation reste toutefois tributaire de l'occurrence des pluies et des quantités précipitées.

*Pour élaborer les cartes piézométriques du CI et du CT le SASS considéré que l'exploitation des nappes du Sahara septentrional est restée relativement faible jusqu'au début des années 50. Pour cela il considéré en conséquence que la situation des nappes en 1950 peut représenter un état piézométrique naturel et permanent, non influencé par les pompages (Figure 23), et pour les données publiées dans les études de SASS/OSS ont été mises à contribution ; et ce, bien que les mesures piézométriques ne correspondent que rarement à la date 1950.

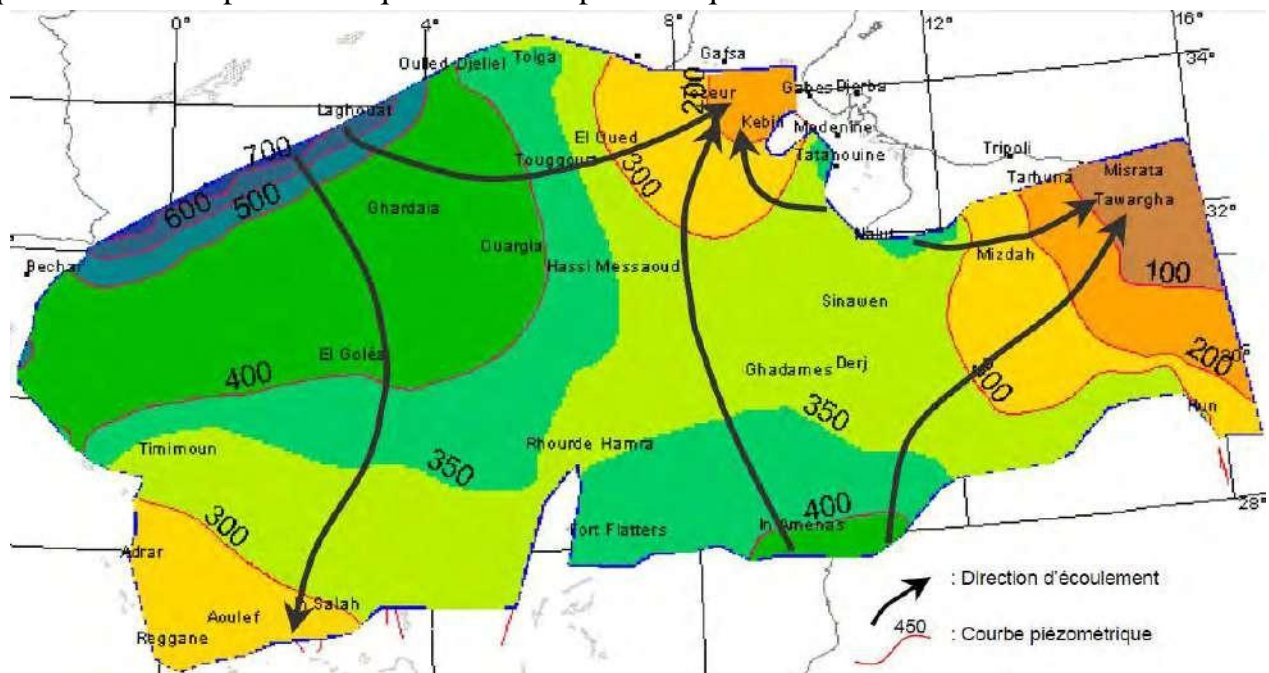


Figure 23: Carte piézométrique initiale du CI (OSS ; 2003a)

L'examen de la carte piézométrique de référence du CI (Figure 23) met en évidence les zones d'alimentation, indiquées par les directions d'écoulement. Il s'agit :

- * Du piémont sud atlasique au Nord-Ouest ;
- * Du Tinrhert au Sud ;
- * Du Dahar à l'Est ;
- * Du J. Nafusa au Nord-Est ;
- * Du J. Hassawna où la piézométrie du Kikla (CI) se raccorde parfaitement à la piézométrie de la nappe du Cambro-Ordovicien qui présente, sur le Jebel Hassawna, un dôme à la cote 350 m drainé vers le Sud, par Oued Ash Shati et vers le nord par la nappe du Continental Intercalaire (OSS, 2003).

Sur le reste du domaine, mis à part la zone de communication possible avec le Complexe Terminal sur le Grand Erg Occidental (Figure 25). Le toit de la formation, constitué d'une épaisse couche d'argile et d'anhydrite, est parfaitement imperméable et isole complètement les deux réservoirs. L'exploitation du Continental Intercalaire s'est d'abord effectuée, depuis de longs siècles des exutoires artificiels, par le système traditionnel des foggaras, introduit sur la bordure du plateau du Tademaït dès le X^e siècle (Cornet et Gouscov, 1952 ; Guendouz A, et al. 1991 ; UNESCO, 1972a ; BRL- BNEDER, 1999).

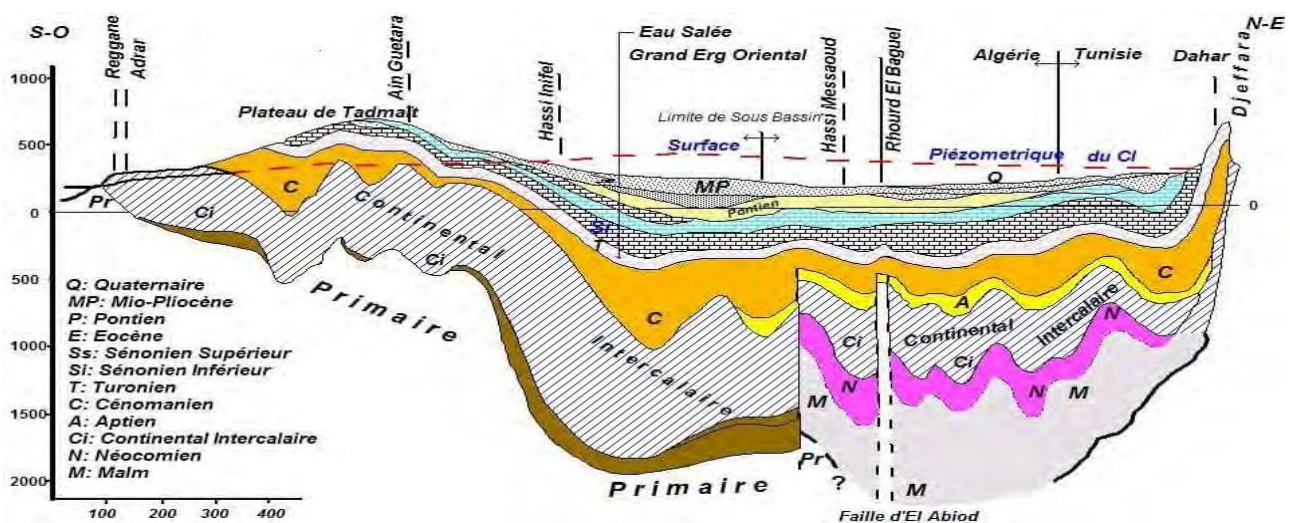


Figure 24: Coupe hydrogéologique synthétique du Sahara Septentrional (UNESCO, 1972a).

Le premier forage exécuté au niveau du Continental Intercalaire dans la région du Souf est BARREMIEN creusé en 1986 ; à CHOUHADA au Sud-Est de la commune d'ElOued, à une profondeur de 1850 m. L'eau a une température avoisinant 70 °C, exploitée pour l'AEP par un débit de 120 l/s (Giersch. P, 1989).

Chapitre III

*Diagnostic sur l'état
piézométrique des eaux
de la nappe phréatique
la région d'étude*

III.5.1- La variation piézométrique de la nappe phréatique de la commune El-Oued:

Dans cette partie, nous avons rétréci la zone d'étude sur la commune d'El Oued, Pour quoi? ; tout simplement parce que la commune d'El Oued est la seule commune qui souffre du phénomène de la remontée des eaux de la nappe phréatique dans les zones urbaines.

Les études piézométriques nécessitent de disposer d'un nivellement très précis et d'un nombre suffisant des points d'observation (puits, piézomètres, sources) qui permet de garantir la précision dans l'établissement d'une carte piézométrique. Celle-ci est tracéepar interpolation entre les côtes relevées, sur la base de courbes hydroisohypses (lignes d'égale altitude de la surface piézométrique) dont la qualité et l'équidistance dépendront de la densité des points de mesure et de l'échelle d'étude adoptée.

La carte piézométrique d'une nappe permet une vision instantanée de son état à un moment précis. Elle sera donc établie durant une période très courte, dans notre région on à choisir la période hautes-eaux ; c'est-à-dire les mois de Mars jusqu'au la fin d'Avril.

Et pour suivre la variation piézométrique, nous avons utilisé les bases des données pour réaliser les cartes de niveau piézométrique et le niveau statique (Profondeur d'eau). Pourquoi nous avons dit niveau statique avec le niveau piézométrique? Parce que les cartes de niveau statique présentent le niveau des eaux par rapport au niveau du terrain naturel ; c'est-à-dire on peut connaitre les zones qui souffrent de battement des eaux ou la remontée des eaux de la nappe (les zones inondées ou humides par Exemple). Par contre les cartes piézométriques présentent le niveau des eaux de la nappe par rapport à la surface de la mer et les sens d'écoulement et de localiser les zones d'alimentation et de sortie des eaux.

Comme nous l'avons dit avant, nous avons utilisé donc les légendes des cartes mêmes couleurs pour les classifications, et pour connaitre aussi la variation du niveau deseaux de la nappe.

III.5.1.1- piézométrie de la nappe phréatique de la commune El-Oued en 2008:

Après avoir terminé de forer les 58 drains et avant d'équiper par les pompes immergées, l'ONA d'El Oued a réalisé une campagne de mesures piézométriques au niveau de 58 drains (piézomètres), pour avoir un niveau piézométrique de référence. C'est-à-dire mesures piézométriques qui couvrent les zones urbaines (Commune d'El Oued) totalement pour la première fois.

L'analyse de la carte piézométrique des eaux de la nappe traditionnelle de la commune d'El Oued (zone urbaine) en Mars 2008 (Figure 106), montre que la géométrie de la surface piézométrique forme :

- Des dômes piézométriques : au niveau de la partie Sud-Ouest de la commune d'El Oued (Cités El GARRA -D23- et 17 Octobre -D28-D35- Moudjahidine -D39-D43- jusqu'à El REMMAL -D40-D44-D46- et les cités 19 mars -D52- et SAHANA I -D48-), correspondent à des aires privilégiées d'infiltration, et une autre zone au Nord-Est de la ville d'El Oued (Cités 01 Novembre 1954 et 08 Mai 1945), donc des zones d'alimentation.
- Dépressions piézométriques au niveau du Chott d'El Oued (Nord de la Commune d'El Oued), donc exutoire naturel dans la zone urbaine.

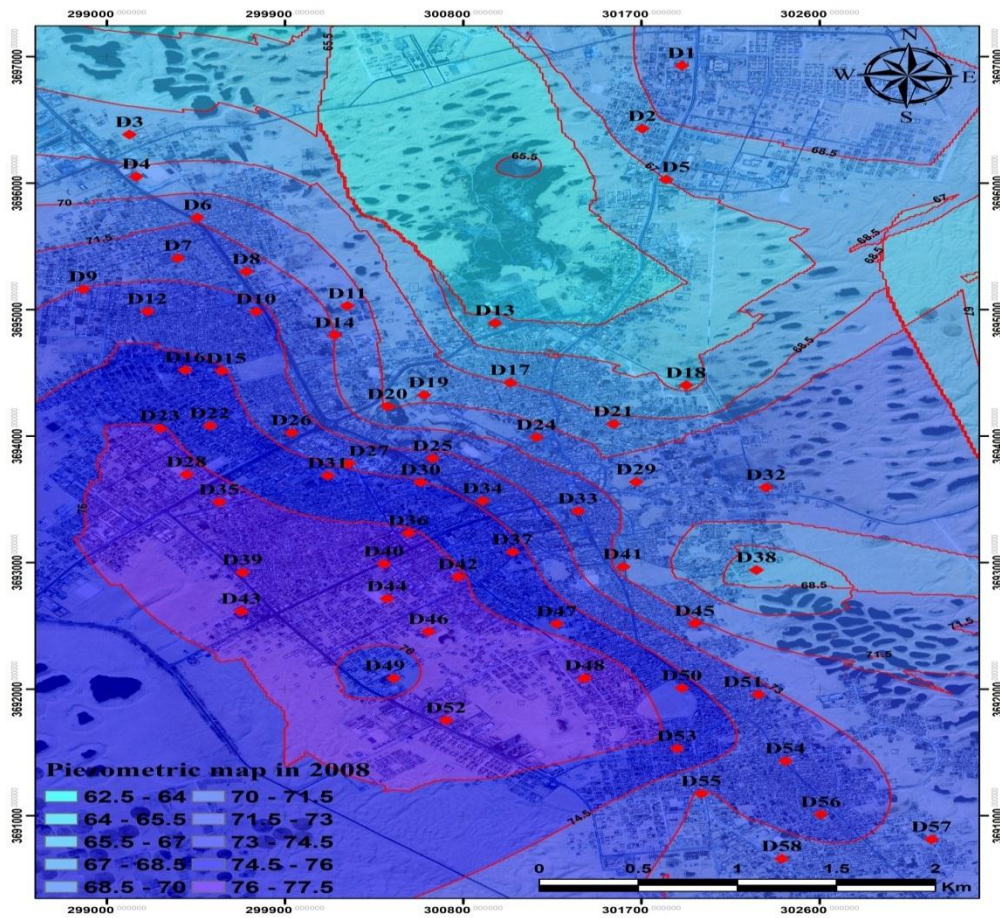
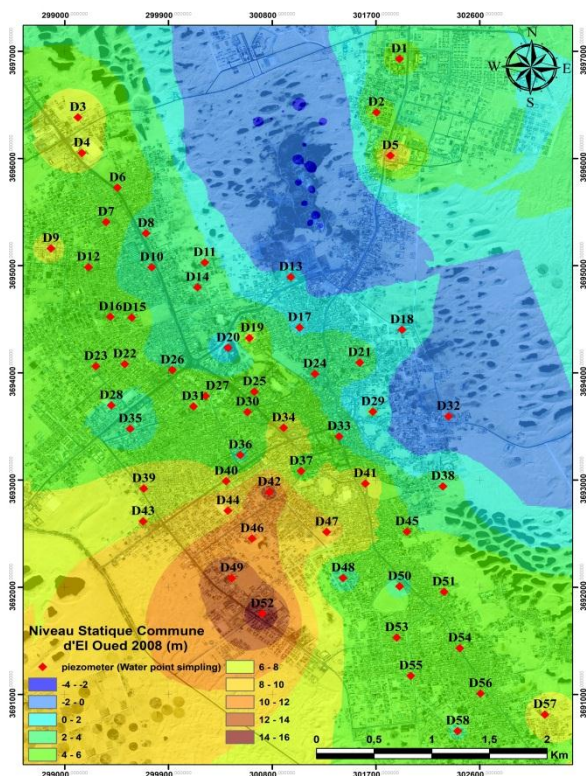


Figure 25: Carte piézométrique de la commune d'El Oued en Mars 2008.

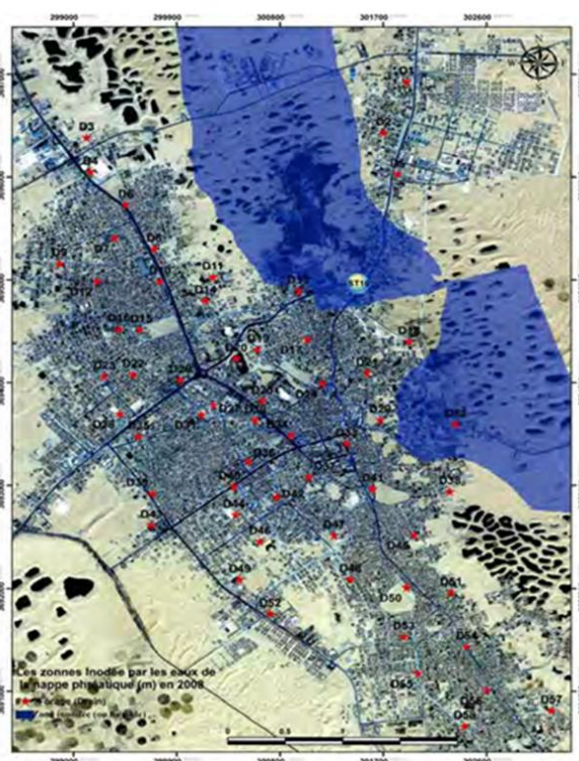
*Le sens d'écoulement des eaux de la nappe généralement dirigé du Sud vers le Nord, avec des points exceptionnels comme :

- Le drain 38 (CM Bachir Djallah) au Sud-Est de la ville, où la surface piézométrique forme une dépression due au pompage pour l'irrigation.
- Le drain 49 (Direction de conservation des forêts) au Sud de la commune d'El Oued, montre la carte une dépression piézométrique résulte de débit extrait pour l'irrigation les espaces verts.

Les cartes piézométriques montrent pas les zones inondées ou humides, pour cela on à réaliser la carte de niveau statique et la carte de zones inondée (Figure 27).



-A- Niveau statique



-B- Les zones inondée

Figure 26: Carte de niveau statique et la carte des zones inondée dans la commune d'El Oued en Mars 2008.

L'analyse de la carte de profondeur d'eau (Niveau statique) montre qu'il y a des zones caractérisées de grand débit de pompages, cela à cause de débit d'irrigation les espaces vertes dans les écoles et les directions. On parle ici sur le drain D52 (Direction des Ressources Hydriques) et le drain 49 (Direction des Conservation des Forets) au Sud de la ville d'El Oued (Figure 107A), avec de pompage moins agressive au niveau de drain D05 (Parc de Wilaya) au Nord-Est de la commune d'El Oued, et les drains D03- D04-D09-D34. Et d'après notre mesure analytique spatiale (par l'ArcGIS), la surface moyenne des zones inondée et humides dans la commune d'El Oued atteindre d'environ 6 km² (Figure 27B).

III.5.1.2- piézométrie de la nappe phréatique de la commune El-Oued en Mars 2011:

L'année 2011, a vu les 58 drains se munir de tous les équipements nécessaires pour débiter l'opération de drainage, et pour réaliser une carte de niveau piézométrique de la commune d'El Oued en 2011. Nous avons utilisé la base de données (Niveau piézométrique, Niveau statique, avec quelques analyses physico-chimiques des eaux de la nappe libre) de Douche M. Ali et al. ; 2011.

L'analyse de la carte piézométrique des eaux de la nappe phréatique de la commune d'El Oued (zone urbaine) en mars 2011 (Figure 28), montre qu'il n'y a pas beaucoup changement entre les deux surfaces piézométriques (2008 et 2011).

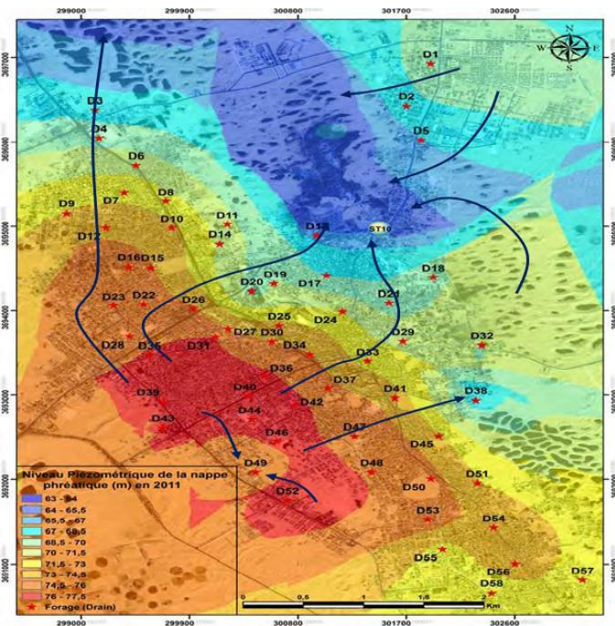


Figure 27: Carte piézométrique de la commune d'El Oued en Mars 2011.

La surface piézométrique de la ville en mars 2011 montre les formes suivantes:

- Dômes piézométriques (76 m-77,5 m): au niveau de la partie Sud-Ouest de la commune d'El Oued (Cités 17 Octobre -D31-D35- et Moudjahidine -D39-D43- jusqu'à la cité 400 logt -D36- cités Oum SALMA et EL-RIMMAL -D40-D44-D46- avec la cité 19 mars -D52-), et l'autre zone au Nord-Est de la ville d'El Oued (Cités 01 Novembre 1954 et 08 Mai 1945).
- Dépressions piézométriques (63 m-64,5 m) restées au niveau du Chott d'El Oued (Nord de Commune d'El Oued).

*Le sens d'écoulement des eaux de la nappe généralement dirigé du Sud vers le Nord, sauf les points :

- Drain 38 au Sud-Est de la ville, où la surface piézométrique forme une dépression.
- Drain 49 au Sud de la commune d'El Oued, montre une dépression piézométrique qui résulte du débit d'irrigation des espaces verts.

Comme on l'a dit avant la réalisation de la carte de niveau statique et la carte de zones inondées nous donne une autre vue au niveau des eaux de la nappe (Figure 28).

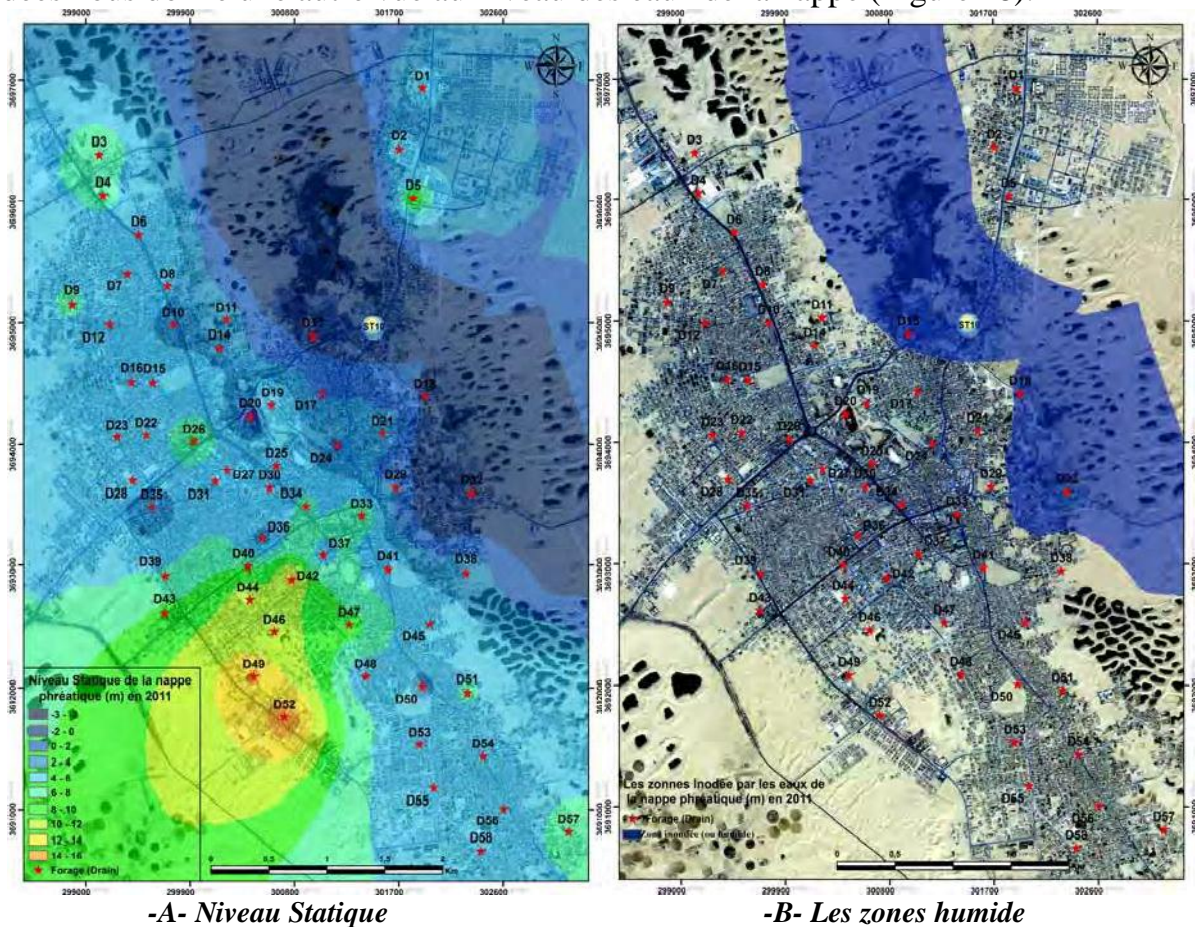


Figure 28: Carte de niveau statique et la carte des zones inondées dans la commune d'El Oued en Mars 2011.

La carte de profondeur d'eau (Niveau statique) montre que les zones de pompage des grands débits ça croissent. On parle toujours sur le drain D52 et le drain 49 au Sud de la ville d'El Oued (Figure 109A). Pour la surface moyenne des zones inondées (et humides) dans la commune d'El Oued reste d'environ 6 km² (Figure 29B).

III.5.1.3- piézométrie des eaux de la nappe phréatique de la commune d'El-Oued en Mars 2014:

Depuis octobre 2011 l'ONA d'El Oued, a lancé le pompage par les 51 drains, où ils 8 drains restent annulés du programme de drainage ; les causes sont différentes:

- Drain D48 (Ecole Essaghàire El Mouldi I au Sud de la commune d'ElOued) annulé à cause du tassement (affaissement) de terrain au tour du drain.
- Les Drains D08, D13, D14, D18, D39, D40, D43 : sont annulés pour des raisons techniques (débits d'exploitation des forages sont inférieurs à 1 l/s).

Après deux années de pompage successives, nous avons décidé de réaliser une campagne de mesure hydrogéologique couvrant tous les forages (58 drains). En ajoutant d'autres points de mesures dans les zones inondées (ou humides), au milieu ou autour de la commune d'El Oued.

Il faut signaler qu'avant de réaliser la campagne de mesures nous avons arrêté toutes les pompes des drains au même temps, pendant plus de 72 heures -3 jours-successives pour atteindre l'eau au niveau statique naturelle.

Les matériaux qu'on a utilisés pour réaliser notre campagne de mesure sont les suivants :

- **La sonde électrique (50 m de longueur)** : pour déterminer le niveau statique dans chaque forage et points d'eau (Figure 30).
- **Une tarière** : Cet outil est utilisé pour créer de nouveaux points de mesure (piézomètres) surtout dans les zones inondées où l'eau se trouve près de la surface du sol (Figure 29).



Figure 29: La sonde électrique de 50 m de longueur et La tarière.

- **Le théodolite** : En topographie, le théodolite est utilisé dans les mesures d'un levé du territoire. Nous avons utilisé cet appareil topographique pour déterminer les côtes terrain naturelles (z) pour les nouveaux points (piézomètres) d'eau (Figure 111).
- **GPS** : **Global Positioning System (GPS)** (En français Système mondial de Géopositionnement par satellite), Ce système est mis en place par le département de la Défense des États-Unis à des fins militaires. Cet appareil topographique dans nos mesures sert pour déterminer la position (coordonnées x ; y) des points d'eau (piézomètres, puits, ...) qui existent, et déterminer aussi les coordonnées des nouveaux points créés dans les zones inondées et humides (Figure 30).



Figure 30: *Théodolite et un appareil GPS GARMIN.*

En mars 2014, nous avons lancé les mesures de profondeur des eaux de la nappe traditionnelle dans tous les points d'eau qui couvrent la commune d'El Oued, où l'on a ajouté environ 100 nouveaux points plantés au niveau des zones inondées et les zones humides.

Après les mesures des profondeurs des eaux de la nappe phréatique, nous avons créé une base de données pour l'utiliser à réaliser la carte de niveau piézométrique et une autre carte de niveau statique (profondeur des eaux) de la commune d'El oued en Mars 2014.

L'analyse de la carte piézométrique des eaux de la nappe phréatique de la commune d'El Oued (zone urbaine) en Mars 2014 (Figure 31), montre qu'il y a beaucoup de changement entre les deux surfaces piézométriques (2011 et 2014).

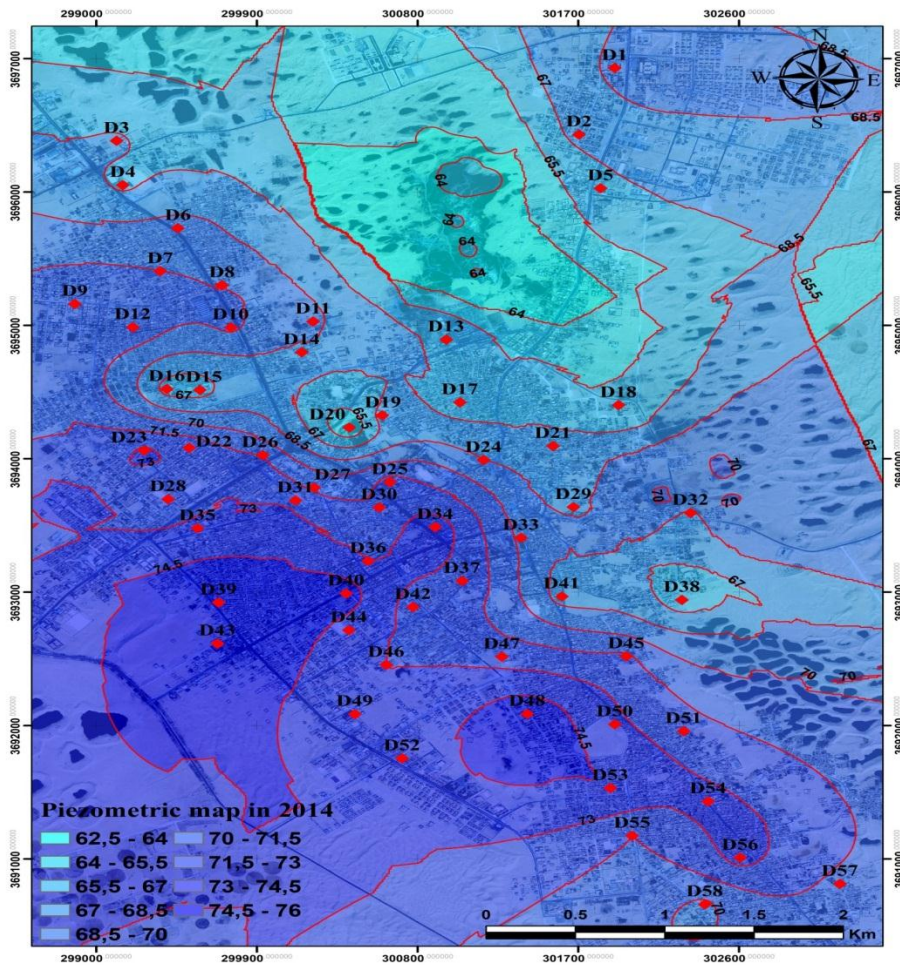


Figure 31: Carte piézométrique de la commune d'El Oued en Mars 2014.

La géométrie de la surface piézométrique de la commune d'El Oued en Mars 2014, montre des formes différentes par rapport à la campagne de 2011:

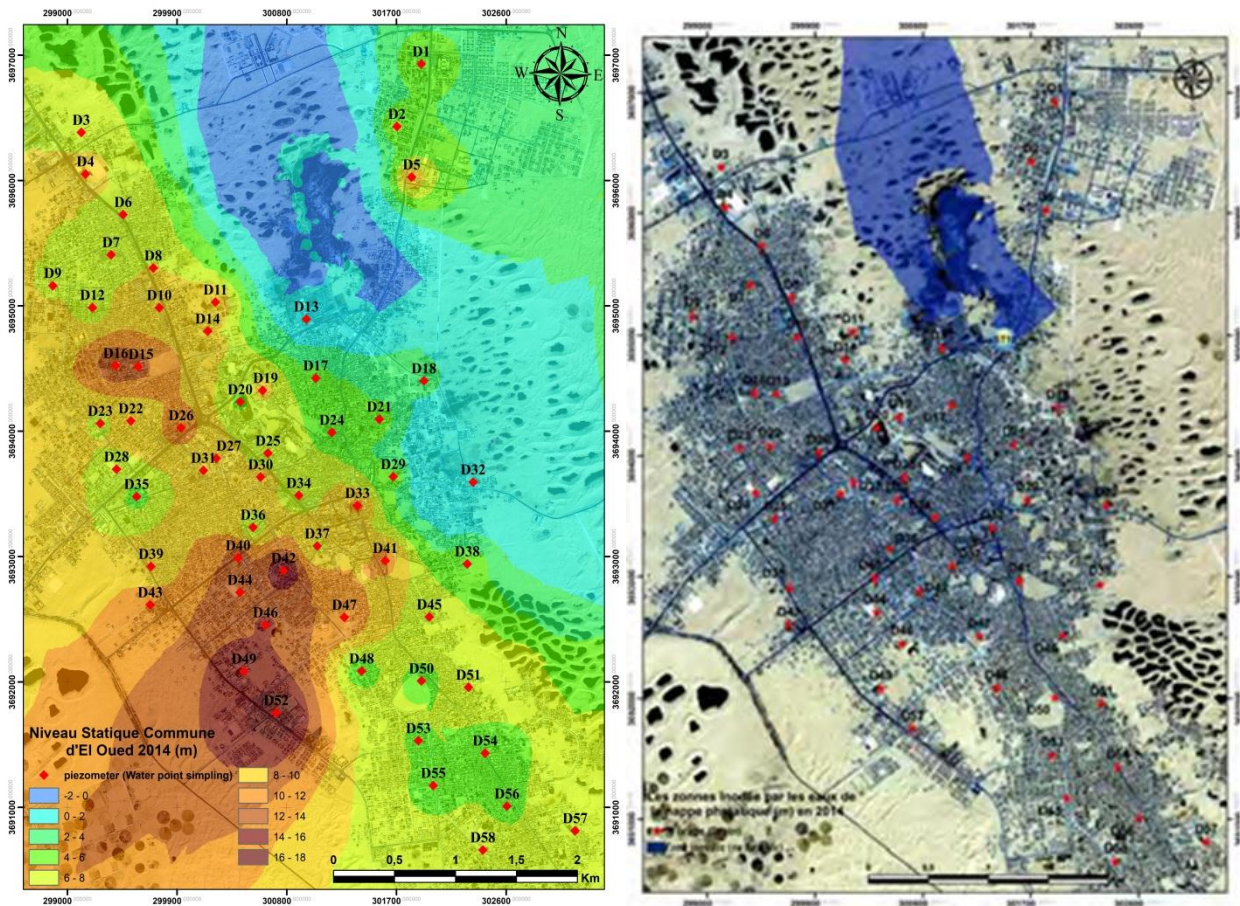
- Dômes piézométriques (74,5 m-76 m) : deux zones formées des dômes au niveau de la partie Sud-Ouest de la commune d'El Oued, le premier de la cité Moudjahidine -D39-D43- jusqu'à la cité EL-RIMMAL -D40- , et pour le deuxième dôme au niveau de la cité El SAHNE I -D48-. Par rapport la campagne de mars2011 on remarque de battement de 1,5 m du niveau des eaux dans cette zone.

➤ Dépressions piézométriques restées au niveau du Chott d'El Oued (Nord de la commune d'El Oued), et l'apparition d'un autre point au niveau du drain D20 (Hôtel de Louss) au centre de la ville.

*Le sens d'écoulement des eaux de la nappe généralement reste dirigé du Sud vers le Nord, sauf pour les points :

➤ Drain D38 au Sud-Est de la ville et les drains D20 ; D15 et D16 la surface piézométrique forme une dépression (Figure 32) à cause du pompage pour l'irrigation.

La carte de niveau statique et la carte de zones inondées nous donnent une autre interprétation pour le niveau des eaux de la nappe (Figure 32).



-A- Niveau Statique

-B- Les zones humides

Figure 32: Carte de niveau statique et la carte des zones inondées dans la commune d'El Oued en Mars 2014.

La carte de profondeur d'eau (Niveau statique); nous dit que les zones de pompage au niveau du drain D52 (DRH; El Oued) et du drain D49 (DCF; El Oued) au Sud de la ville d'El Oued ça grandie (Figure 33A) avec le drain D42 (Centre de formation III) au centre de la ville d'El Oued, à cause du débit extrait par les forages distingués spécialement à l'irrigation des jardins dans les directions de la **DRH**, la **DCF** et du centre de formation III.

La surface moyenne des zones inondées (et humides) au niveau du Chott de la ville d'El Oued diminue presque de 3 km² (Figure 33B) c'est-à-dire la moitié de la surface précédente enregistrée en Mars 2011 (Figure 29B).

Il faut noter ici que le pompage successif par les drains pendant presque deux années, donne un résultat remarquable présenté par le battement d'environ 0,5 m du niveau moyen des eaux de la nappe traditionnelle de la commune d'El Oued.

III.5.1.4- Piézométrie de la nappe phréatique de la commune El-Oued en Mars 2016:

Depuis l'année 2014 l'opération de pompage par les drains est entrée dans une période de perturbation, en raison des conséquences obtenues.

À partir de la fin de 2014 jusqu'au la moitié de 2016, l'ONA d'El Oued intercepte plusieurs problèmes ; dont :

- Les coupures d'énergie électrique sur les pompes immergées des drains, avec les factures très élevées;
- Manque de pièces de rechange, et les périodes de changement des pièces est très longue surtout pour les pannes des pompes (fréquence 4 à 5 mois);
- 18 drains en panne pendant cette période, où plusieurs pompes de drains ont arrêté de pomper pendant quelques mois.

L'analyse de la carte piézométrique des eaux de la nappe libre de la ville d'El Oued en Mars 2016 (Figure 34), montre un changement dans la géométrie de la surface piézométrique. On remarque de disparition de zones d'alimentation anciennes et l'apparition d'autres.

La surface piézométrique de la ville d'El Oued en Mars 2016, donne des formes différentes de la campagne de 2014:

➤ Dômes piézométriques (74,5 m-76 m) : trois zones forment des dômes ; premièrement au niveau du drain D34 dans le centre-ville (ADE, Centre-ville), deuxième dôme au Sud-Ouest de la ville d'El Oued près des drains D39 et D43 de la cité Moudjahidine, et le troisième dôme au niveau du drain D51 (cité SAHNE I) de Sud de la ville (Figure 33).

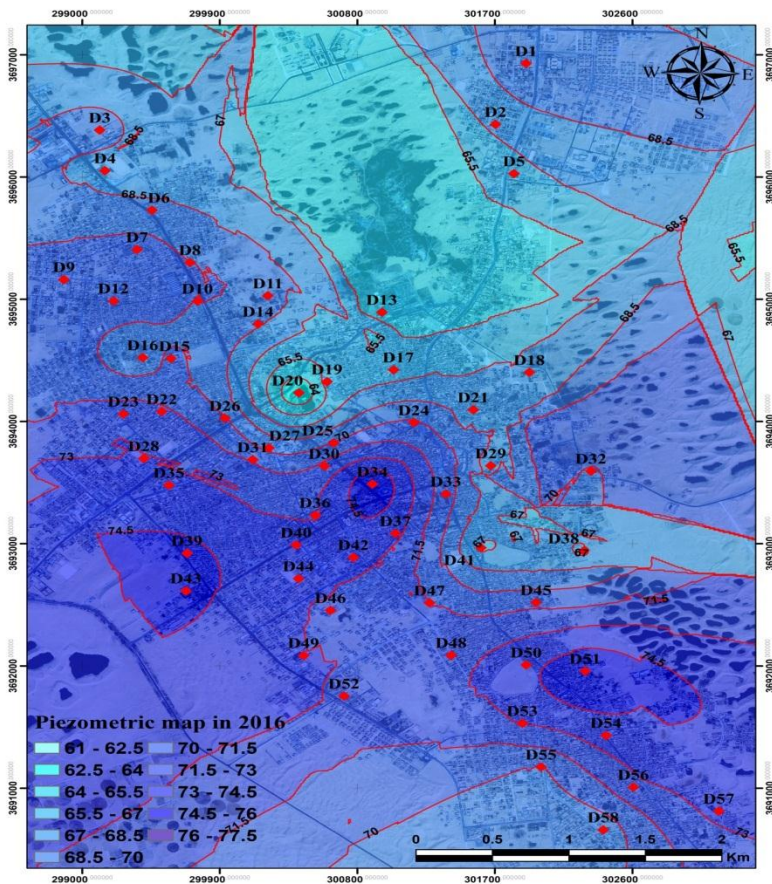


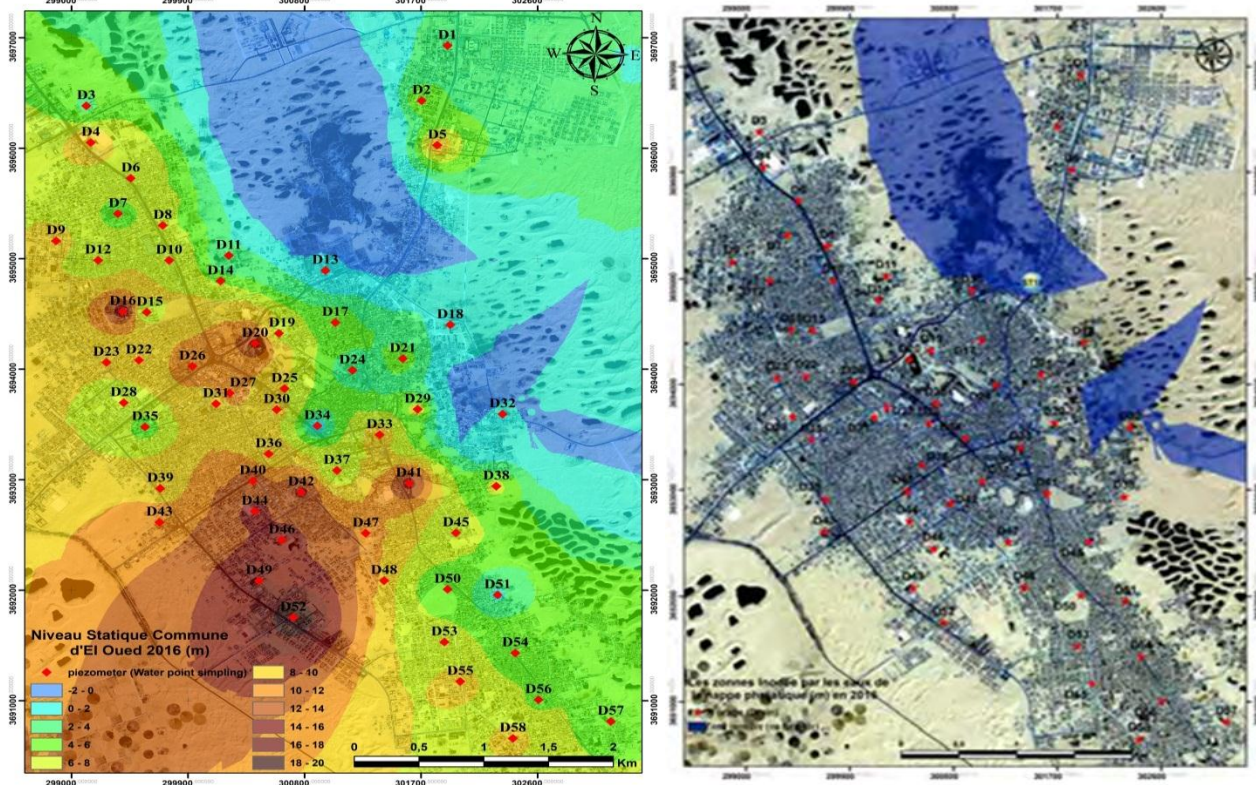
Figure 33: Carte piézométrique de la commune d'El oued en Mars 2016.

➤ Dépressions piézométriques restées au niveau du Chott d'El Oued (Nord de la Commune d'El Oued), et un autre point au niveau du drain D20 (Hôtel de Louss) au centre de la ville.

*Le sens d'écoulement des eaux de la nappe libre reste généralement du Sud vers le Nord, avec des cas exceptionnels comme :

➤ Au Sud et au Sud-Est de la ville sont des zones agricoles, qui utilisent les eaux de la nappe traditionnelle pour l'irrigation.

Comme on l'a dit avant, les cartes piézométriques ne montrent pas les zones inondées ou humides, pour cela la carte de niveau statique et la carte de zones inondées sont importantes (Figure 34).



A- Niveau Statique

-B- Les zones humides

Figure 34: Carte de niveau statique et la carte des zones inondées dans la ville d'El Oued en Mars 2016.

La carte de niveau statique; montre que le débit d'irrigation au niveau du drain D52 (DRH; El Oued) au Sud de la ville d'El Oued ça grandit (Figure 35A) et le drain D49 (DCF; El Oued) reste avec un débit stable. Nous conduisons a de ce fait une petite enquête au niveau des deux directions de DRH et DCF d'El Oued, où nous avons trouvé que la méthode d'irrigation par tuyau et l'arrosage, explique l'agressivité de pompage au niveau du drain D52. Mais avec le drain D42 (Centre de formation III) au centre de la ville d'El Oued, moins sévère à cause de la méthode d'irrigation qui est basée sur le goutte-à-goutte. C'est-à-dire débit calculé et constant.

La surface moyenne des zones inondées (et humides) au niveau du Chott de la ville d'El Oued rallongée d'environ 4,5 km² (Figure 34B), c'est-à-dire augmentation de la moitié de la surface précédente enregistrée en Mars 2014 (Figure 32B).

*Il faut noter ici que les 52 drains du réseau de drainage vertical installé dans les zones urbaines de la commune d'El Oued, qui draine les excédents d'eaux de la nappe phréatique vers la station 10 ; sont pas les seuls qui drainent les eaux de la nappe. D'après une enquête qu'on a faite pendant trois années (2014-2015-2016), on trouve plus de 200 points d'eau (forages) distribués sur toute la surface de la commune d'El Oued.

Tous ces forages (Figure 36) destinés totalement pour l'irrigation des espaces verts où les arbres forestiers dans les directions (les directions de la DCF, la DRH ...etc.), les écoles et les jardins étatiques ou publics. Le but de réalisation de tous ces forages au niveau de la nappe phréatique est d'éviter l'irrigation par les eaux du réseau d'AEP et les factures très élevées facturées par la direction d'ADE d'El Oued.

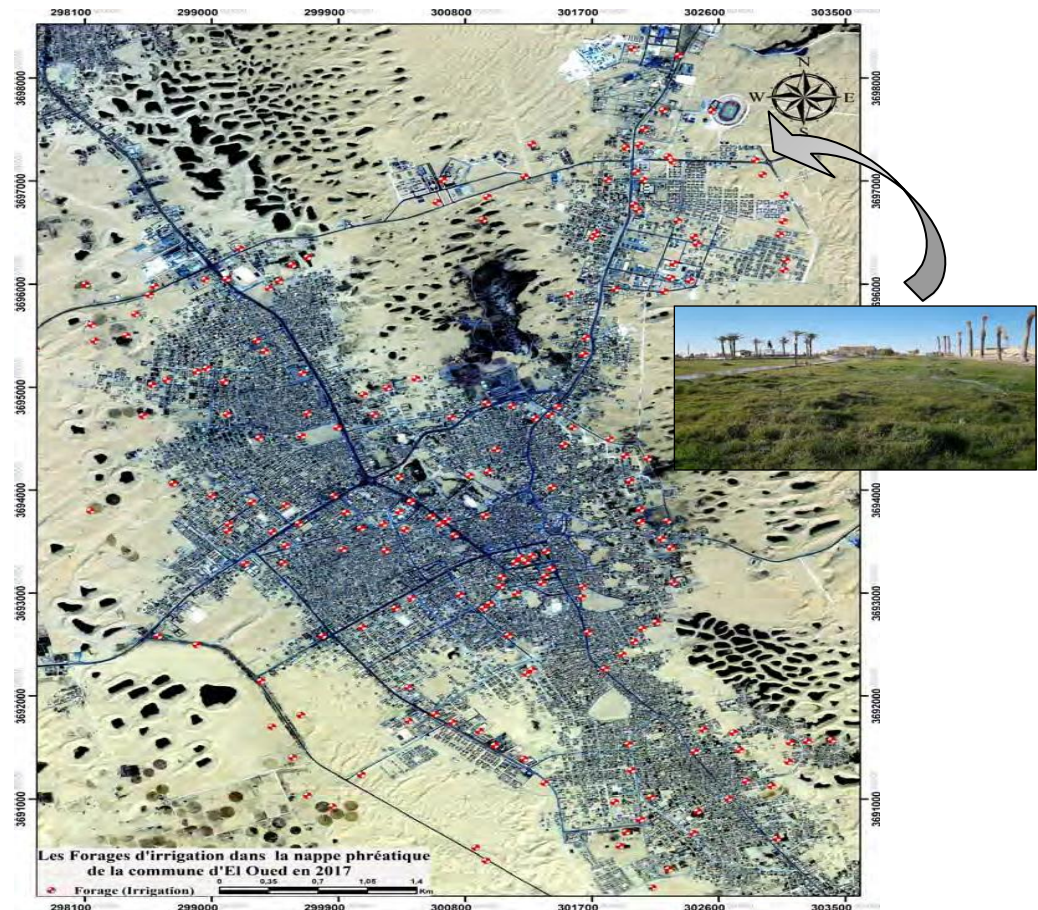


Figure 35: Carte d'inventaire des forages d'irrigation de la commune d'El Oued.

III.5.1.5- Piézométrie de la nappe phréatique de la commune El-Oued en Mars 2018:

Au fur et à mesure que les problèmes discutés s'aggravaient en 2016 et que le manque de solutions appropriées entraînait l'interruption partielle du système de drainage vertical en 2018, ne laissant que 12 drains verticaux en raison des défaillances répétées au niveau du canal véhiculant l'eau traitée, ce qui a obligé le Bureau National de Désinfection à réduire le débit pour terminer les opérations de maintenance et assurer son bon fonctionnement. En plus de la consommation excessive d'eau dans certaines zones, qui a entraîné une augmentation des quantités d'eau souterraine, qui s'écoule inévitablement vers le lieu de notre étude, ce qui a laissé le niveau de l'eau monter dans ce dernier. (Figure 36)

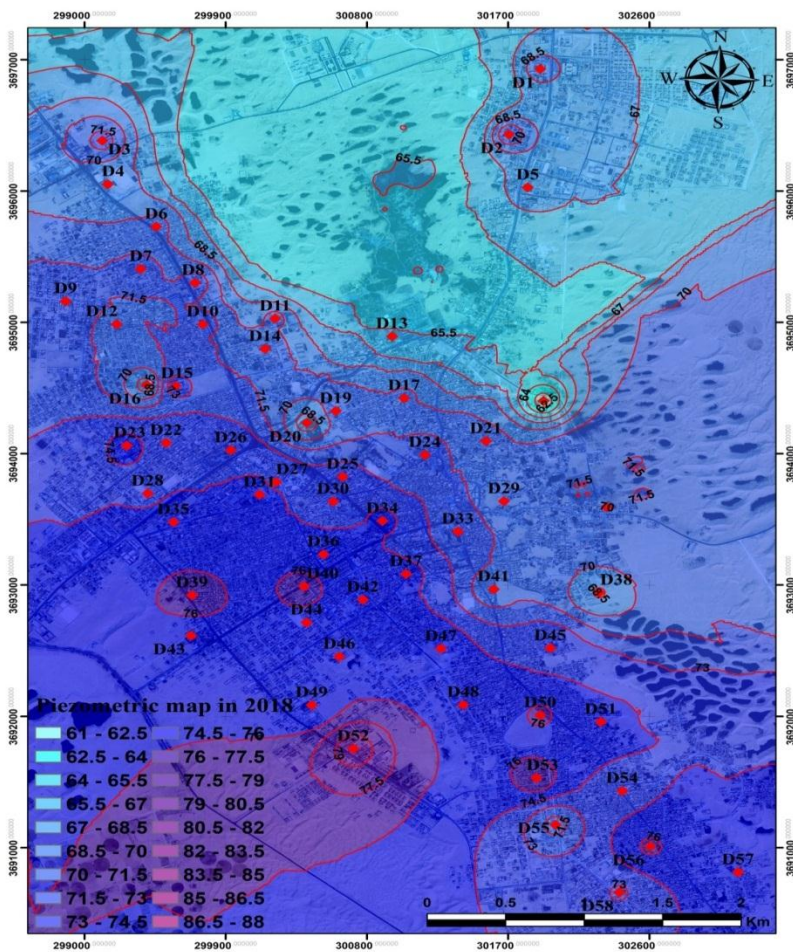
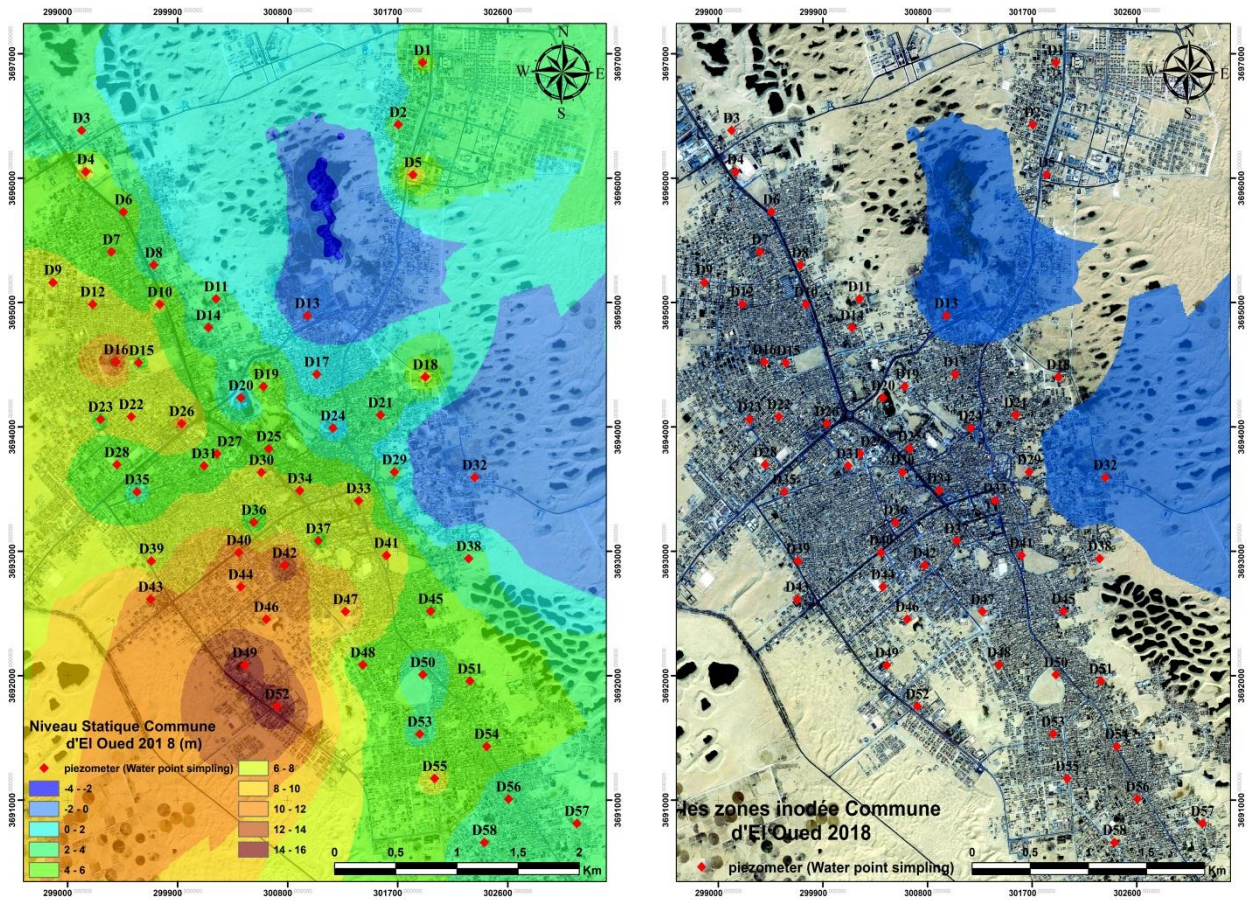


Figure 36: Carte piézométrique de la commune d'El Oued en Mars 2018.

Comme on l'a dit avant, les cartes piézométriques ne montrent pas les zones inondées

ou humides, pour cela la carte de niveau statique et la carte de zones inondées Indique plus clairement les endroits où le niveau d'eau est élevé. (Figure 37).



A- Niveau Statique

-B- Les zones humides

Figure 37: Carte de niveau statique et la carte des zones inondées dans la ville d'El Oued en Mars 2018.

III.5.1.5- Piézométrie de la nappe phréatique de la commune El-Oued en Mars 2022:

À travers Nous avons commencés nos mesures en avril 2023 et nous avons attendu que l'ONA nous donne son approbation pour le début des mesures piézométriques au niveau des 58 drains. Cependant, l'approbation est venue le 04/06/2023 et en raison du retard dans l'expression du consentement, nous souhaitons utiliser les données piézométriques de l'ANRH à 2022

À travers notre étude pour l'année 2018 et les années qui l'ont précédée, comme l'année 2017 et l'année 2016, et comme nous l'avons mentionné précédemment, il y a eu des défauts qui ont conduit à l'arrêt partiel du système de drainage vertical. Au lieu de s'attaquer aux failles et de trouver des solutions aux problèmes qui entravent le bon fonctionnement de ce système, on constate exactement le contraire : avec l'arrivée de l'année 2022, le système de drainage vertical s'est complètement arrêté. Ce qui s'est traduit par une montée notable du niveau de l'eau dans toutes les zones en général, et en particulier sur le lieu de notre étude, d'où la nécessité de modifier d'une manière ou d'une autre le schéma de traitement de ces formes. (Figure 38).

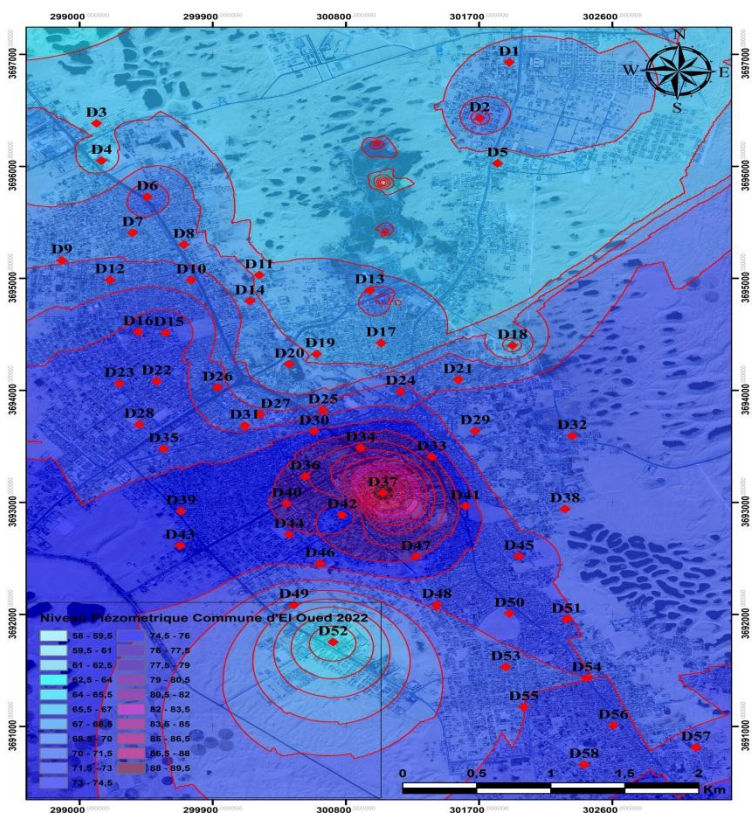


Figure 38: Carte piézométrique de la commune d'El Oued en Mars 2022.

Comme on l'a dit avant, les cartes piézométriques ne montrent pas les zones inondées ou humides, pour cela la carte de niveau statique et la carte de zones inondées Indique plus clairement les endroits où le niveau d'eau est élevé, Dans notre zone d'étude, nous constatons une élévation critique des niveaux d'eau, atteignant des zones de population telles que le quartier de Sidi Mastour et le quartier de Nizhala.. (Figure 39).

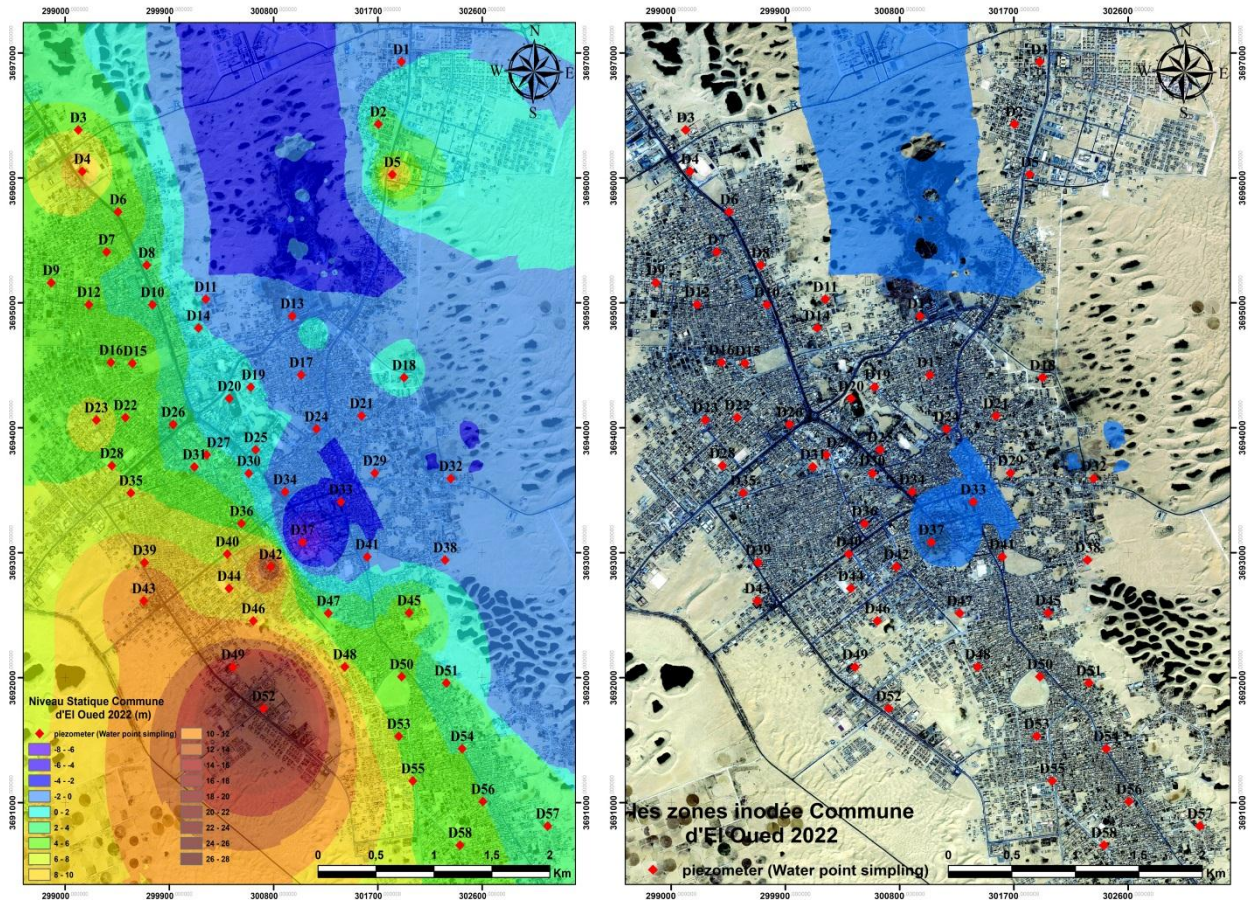


Figure 39: Carte de niveau statique et la carte des zones inondées dans la ville d'El Oued en Mars 2022.

Conclusion du troisième chapitre

Dans ce chapitre, nous avons discuté du phénomène d'augmentation significative du niveau d'eau du lac par rapport aux années précédentes, dû à l'arrêt de nombreux puits, et les solutions nécessaires pour obtenir des résultats idéaux sont soit de maintenir un un plus grand nombre de puits ou leur exploitation à des fins touristiques.

Conclusion Générale

En raison du manque d'études pour la zone du lac Al-chott dans la Wilayat d'El-oued, nous avons essayé de contribuer à l'étude de l'état hydrologique de ce lac en raison de sa situation importante au milieu de la commune de El-oued; où le lac est devenu une source de propagation et de reproduction d'insectes et de moustiques, causant du tort à la population d'une part, et déformant l'image de l'État d'autre part. où notre étude comprenait les raisons du niveau élevé de l'eau dans la région en plus de ses sources; où notre étude comprenait les raisons du niveau élevé de l'eau dans la région en plus de ses sources; parmi les raisons figure la surexploitation des eaux souterraines en surface, avec la diminution des réseaux de drainage verticaux et leur absence totale ces dernières années. cela a aggravé la situation et a nécessité de trouver des solutions de réseaux de drainage verticaux pour réduire le phénomène de crue ou d'exploiter le lac à des fins touristiques, en plus de développer le tourisme dans la région du Souf.

BIBLIOGRAPHIE

- * Agence national de ressources hydrique a el oued (ANRH)
- * Direction hydraulique a El Oued (DRH)
- * Office National de la Metrologies d'El-Oued
- * Direction de pacification et statistique.
- * Office National d'Assainissement (ONA)
- * Mémoires fin d' étude master " La variation de niveau piézométrique de la nappe phréatique dans la commune d'El-Oued à l'aide de (SIG) " université el oued 2019.
- * Mémoires Doctorat " Mécanismes et remèdes de la remontée des eaux dans la région d'Oued SOUF-impact sur l'environnement de la région" UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA 2018-2019