

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 & Génie Civil

## MEMOIRE

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

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

## THEME

Détermination de la piézométrie et la qualité des eaux  
de la nappe phréatique dans la zone urbaine  
(Cas de la commune d'El-Oued)

Présenté par :

SALHI Hala

Soutenu publiquement

Le 26/05/2016

Devant le jury

Mr. MEGA Nabil

M.A.A

Président

Univ. H. Lakhdar El Oued

Mr. ZINE Brahim

Examinateur

Univ. H. Lakhdar El Oued

Mr. MILOUDI A.monem

M.A.A

Rapporteur

Univ. H. Lakhdar El Oued

Promotion : Juin 2016.

# Remerciements

*Louange à Dieu tout puissant pour tout ce qu'il m'a donné afin que je puisse terminer ce travail.*

*Je tiens à exprimer ma reconnaissance à mon promoteur, Monsieur MILOUDI A.monem, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de diriger ce travail. Je le remercie infiniment pour son aide pour ses conseils judicieux et ses orientations, afin que je puisse mener ce travail à terme.*

*Je tiens à remercier également:*

*Mr. MEGA Nabil, d'avoir accepté de présider le jury.*

*Mr. ZINE Brahim ; d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Je remercie d'abord, mon cher époux pour son aide, son amour et son soutien.*

*Je tiens à remercier mes parents, mes enfants (Doua et Nidhal), mes frères et ma sœur, que chacun se sente ici vivement remercié pour son amour et son soutien.*

*Je remercie par la même occasion ma grande famille et tous mes amis.*

*Enfin, que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin la réalisation de ce modeste travail, qu'ils trouvent ici l'expression de mes remerciements les plus sincères.*

# Table des matières

INTRODUCTION GENERAL .....	1
<b>Chapitre I : Présentation générale de la région d'El-Oued</b>	
I.1. Situation géographique de la région d'Oued Souf .....	3
I.2. Cadre géologique de la région de Souf .....	7
I.2.1. Stratigraphie régionale .....	7
I.2.1.1. Formation de l'ère Secondaire.....	7
I.2.1.2. Formations de l'ère Tertiaire .....	10
I.2.1.3. Formations du Quaternaire .....	10
I.2.2. Géomorphologie .....	11
I.3. Le relief .....	12
I.4. Situation topographique .....	13
I.4.1. Nature topographique de la région d'étude .....	13
I.4.2. Pente de terrain .....	13
I.5. Contexte climatique... ..	14
I.5.1. Les paramètres climatiques .....	14
I.5.1.1. Précipitations .....	14
I.5.1.2 : Température .....	15
I.5.1.3. Humidité .....	16
I.5.1.4. Le vent .....	17
I.5.1.5. Insolation .....	17
I.5.1.6. Evaporation .....	18
I.5.2. Type de climat .....	18
I.5.2.1. Diagramme Ombrothermique.....	18
I.5.2.2. Climagramme d'Emberger .....	19
I.6. Calcul des paramètres du bilan hydrique. ....	20
Conclusion.....	23

## **Chapitre II : Diagnostique sur les ressources hydriques du Souf**

II.1. Ressources en eaux souterraines .....	24
II.1.1. La Nappe phréatique .....	24
II.1.2. Complexe Terminal C.T .....	25
II.1.3. Nappe du Continental Intercalaire C.I .....	27
II.2. L'importance des aquifères CT et CI .....	30
II.2.1. Le début d'exploitation des nappes profondes .....	30
II.3. Constat de l'exploitation des nappes CT et CT .....	31
II.3.1. La nappe du Complexe Terminal .....	31
II.3.2. La nappe du Continental Intercalaire .....	34
Conclusion.....	35

## **Chapitre III : La piézométrie et la qualité des eaux de la nappe phréatique de la ville d'El-Oued**

III.1. Description du projet « Remontée des eaux d'Oued Souf » .....	36
III.1.1. Mise en place d'un réseau d'assainissement .....	37
III.1.2. Mise en place de réseau de drainage .....	38
III.2. Piezometrie de la ville d'El-Oued .....	41
III.2.1. La piézométrie de mois de Mai 2008 .....	41
III.2.2. La piézométrie du mois de Mai 2014 .....	42
III.2.3. La piézométrie entre 2008 et 2014 .....	43
III.2.4. La piézométrie du mois de Mai 2016 .....	45
III.2.5. La piézométrie entre 2014 et 2016 .....	46
III.3. La qualité des eaux de la nappe phréatique de la ville d'El-Oued .....	47
III.3.1. Discussion et interprétation des résultats .....	47
III.3.2. Les paramètres physico-chimiques (mesure in situ).....	48
III.3.2.1. La température .....	48
III.3.2.2. Potentiel d'Hydrogène .....	49
III.3.2.3. La conductivité électrique .....	50
III.3.3. Les éléments de la pollution .....	51
III.3.3.1. Cycle de l'azote .....	51

III.3.3.1.1. Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ).....	52
III.3.3.1.2. Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ).....	55
III.3.3.2. Les paramètres de pollution organique .....	56
III.3.3.2.1. La demande Chimique en oxygène (DCO) .....	56
III.3.3.2.2. La demande biologique en oxygène (DBO <sub>5</sub> ) .....	57
III.3.3.2.3. Les matières en suspensions (MES) .....	59
III.3.3.3. Les métaux lourds .....	60
III.3.3.3.1. Le Zinc (Zn) .....	60
III.3.3.3.2. Le Cuivre (Cu) .....	61
III.3.3.3.3. Le Cyanures (CN) .....	63
III.4. L'aptitude des eaux de la nappe phréatique a l'irrigation .....	64
III.4.1. Salinité .....	64
III.4.2. La méthode de Richards .....	65
Conclusion.....	67
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>68</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	
<b>ANNEXES</b>	

# Liste des figures

<b>Figure I.1</b> : Situation géographique de la région d'Oued Souf.....	4
<b>Figure I.2</b> : Découpage administratif de la wilaya d'Oued Souf. ....	5
<b>Figure I.3</b> : Les frontières de la vallée du Souf.....	7
<b>Figure. I.4</b> : La lithostratigraphie du forage F1.....	9
<b>Figure I.5</b> : Carte géologique de la région d'El-Oued .....	12
<b>Figure I.6</b> : Carte topographique de la région de souf.....	13
<b>Figure I.7</b> : Précipitations moyennes mensuelles durant la période 2000/2015.....	14
<b>Figure I.8</b> : Variabilité des précipitations annuelles durant la période 2000/2015.....	15
<b>Figure I.9</b> : Températures moyennes mensuelles durant la période 2000/2015.....	15
<b>Figure I.10</b> : Variabilité des températures annuelles durant la période 2000/2015.....	16
<b>Figure I.11</b> : Humidités moyennes mensuelles durant la période 2000/2015.....	16
<b>Figure I.12</b> : vitesses moyennes mensuelles des vents durant la période 2000/2015.....	17
<b>Figure I.13</b> : Insolation moyennes mensuelles durant la période 2000/2015.....	17
<b>Figure I.14</b> : Evaporations moyennes mensuelles durant la période 2000/2014.....	18
<b>Figure I.15</b> : Diagramme Ombrothermique de la région d'Oued Souf (2000-2015).....	18
<b>Figure I.16</b> : Climagramme d'Emberger pour la région du Souf.....	19
<b>Figure I.17</b> : L'évolution de l'ETP de la station de Guemar .....	21
<b>Figure II.1</b> : Zone d'alimentation de la nappe phréatique et le sens d'écoulement.....	25
<b>Figure II.2</b> : Limites de l'aquifère du Complexe terminale avec les niveaux piézométrique et les sens d'écoulement.....	26
<b>Figure II.3</b> : Limite de l'aquifère du Continental Intercalaire avec les niveaux piézométriques et le sens d'écoulement.....	28
<b>Figure II.4</b> : Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara Septentrionale.....	29
<b>Figure II.5</b> : Les nombres des forages profonds dans la région du Souf à la dernière décennie.....	31
<b>Figure II.6</b> : L'accroissement des volumes soutirés dans la région du Souf à la dernière décennie.....	31
<b>Figure II.7</b> : Carte d'inventaire des Forages du CT et CI sur la vallée d'Oued-Souf (2015)	32
<b>Figure III.1</b> : Schéma général d'assainissement actuel.....	37
<b>Figure III.2</b> : Localisation des 58 forages de réseau de drainage vertical.....	39
<b>Figure III.3</b> : drainage horizontal.....	40

<b>Figure III.4</b> : Carte piézométrique de la nappe phréatique à l'année 2008.....	41
<b>Figure III.5</b> : Carte piézométrique de la nappe phréatique en 2014 .....	42
<b>Figure III.6</b> : Carte d'évolution du niveau piézométrique entre l'année 2008 et l'année 2014 de la ville d'El-Oued.....	44
<b>Figure III.7</b> : Carte piézométrique de la nappe phréatique en Mai 2016.....	45
<b>Figure III.8</b> : Carte d'évolution du niveau piézométrique entre l'année 2014 et l'année 2016 de la ville d'El-Oued.....	46
<b>Figure III.9</b> : Répartition de la température de l'eau de la nappe superficielle (Avril, 2016).....	48
<b>Figure III.10</b> : Carte du PH (Avril ; 2016).....	49
<b>Figure III.11</b> : Carte de la conductivité mesurée à 25°C (Avril ; 2016).....	50
<b>Figure III.12</b> : Cycle de l'azote.....	51
<b>Figure III.13</b> : Carte du Nitrates (juillet ; 2009).....	52
<b>Figure III.14</b> : Carte du Nitrates (Avril, 2016).....	53
<b>Figure III.15</b> : Carte d'évolution du taux des Nitrates entre les années 2009 et 2016.....	54
<b>Figure III.16</b> : Carte du Nitrites (Avril, 2016).....	56
<b>Figure III.17</b> : Carte de Demande Chimique en Oxygène (Avril ; 2016).....	57
<b>Figure III.18</b> : Carte de Demande Biologique en Oxygène à 5 jours (Avril ; 2016).....	58
<b>Figure III.19</b> : Carte de répartition de taux des matières en suspensions (Avril ; 2016).....	59
<b>Figure III.20</b> : Carte de Zinc (Avril ; 2016).....	61
<b>Figure III.21</b> : Carte de Cuivre (Avril ; 2016).....	62
<b>Figure III.22</b> : Carte de Cyanure (Avril ; 2016).....	63
<b>Figure III.23</b> : Le diagramme de Richards des eaux de la nappe phréatique .....	66

# Liste des tableaux

<b>Tableau I.1</b> : Répartition de la superficie et nombre d'habitant de la zone d'étude par commune ..	6
<b>Tableau I.2</b> : Coordonnées géographiques de la station météorologique de la ville d'El-Oued.....	14
<b>Tableau I.3</b> : Résultats de l'ETP issus de la formule de Thornthwaite à Oued Souf.....	21
<b>Tableau I.4</b> : Bilan hydrique de la station de Guemar d'après THORNTWAITE.....	22
<b>Tableau II. 1</b> : Répartition des volumes par usage.....	33
<b>Tableau II.2</b> : Coordonnées et débits des forages au CI de la vallée d'Oued-Souf.....	34
<b>Tableau II.3</b> : Quantité des différents minéraux contenus dans un litre d'eau de l'Albien .....	34
<b>Tableau III.1</b> : Concentrations de zinc, cuivre et cyanure.....	60
<b>Tableau III. 2</b> : Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation.....	64
<b>Tableau III. 3</b> : Récapitulatif des résultats obtenus d'après le diagramme de Richards.....	66

# Liste des abréviations

**ADE** : Algérienne Des Eaux.

**AEP** : Alimentation en Eau Potable.

**ANRH** : l'Agence Nationale des Ressources Hydriques.

**BG** : Bonnard & Gardel.

**BNEDR** : Bureau National d'Etude pour le Développement Rural.

**CT** : Complexe terminal.

**CI** : Continental intercalaire.

**DBO<sub>5</sub>** : Demande Biochimique en Oxygène en 5 jours.

**DCO** : Demande Chimique en Oxygène.

**DHW**: Direction d'hydraulique de la Wilaya.

**DPS** : Direction de planification et statistique.

**DSA** : Direction des Services Agricoles.

**FAO** : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

**MES** : Matières En Suspension.

**OMS** : L'organisation mondiale de la santé.

**ONA** : Office National d'Assainissement.

**ONM** : Office Nationale de Météorologie.

**STEP** : Station d'Épuration.

---

*Introduction  
générale*

---

## INTRODUCTION GENERALE

L'eau, une ressource minérale indispensable pour toutes les créatures vivantes, c'est une nécessité pour la vie. Avec l'accroissement démographique, l'homme a dû vivre loin des rivières et autres plans d'eau, par conséquent, d'autres sources comme l'eau souterraine furent découvertes.

Malheureusement, dans plusieurs régions algériennes, surtout celles situées au Sahara - comme celle de Souf- sont confrontées aujourd'hui à des problèmes liés à des aspects quantitatifs et qualitatifs des ressources en eaux, dues essentiellement à la remontée des eaux provenant des nappes phréatiques, qui sont néfastes pour les cultures et les habitations.

La région de Souf est bien connue par le phénomène de remontée des eaux de la nappe phréatique. En effet, cette nappe superficielle a entraîné l'inondation de la quasi-totalité des Ghouts et des zones basses de la ville d'El Oued et ses périphéries.

Les premières apparitions de ce phénomène à la région de Souf remontent à l'année 1969 et ont pris de l'ampleur dans les années quatre-vingt. Les principales causes de ce phénomène sont : la forte expansion démographique et le développement urbain très rapide et anarchique venant perturber l'équilibre naturel, qui existe auparavant, l'utilisation des eaux des nappes profondes (le Complexe Terminal et le Continental Intercalaire) d'une façon excessive, ce qui a augmenté considérablement le volume des apports, ainsi que les fuites des réseaux d'AEP et l'absence d'un exutoire naturel pour les rejets des eaux d'assainissement, l'utilisation accrue et incontrôlée de la ressource particulièrement dans le secteur agricole, surtout par l'irrigation traditionnelle (submersion, raie,...etc.).

La réunion de tous ces causes est le résultat de plusieurs conséquences sur l'environnement, la santé publique (maladies à transmission hydriques), et sur l'aspect économique (des milliards de dinars sont investis pour trouver une solution adéquate).

Face à cette problématique, divers solutions ont été proposées pour limiter l'ampleur de ce phénomène, le plus important a été le projet régional « Remontée des eaux d'Oued Souf », qui s'étale la majorité des communes de la vallée dont la commune d'El-Oued qui a profité d'un réseau d'assainissement et un réseau de drainage vertical, le premier est pour l'évacuation des eaux domestiques usées vers le point de rejet (Chott El Halloufa) et en but d'améliorer la qualité des eaux souterraines ; et le dernier est pour l'évacuation des eaux de zones inondées.

Dans cette vue ce travail a été axé principalement sur la rentabilité de ces ouvrages hydrauliques par la détermination des origines probables de la pollution et la piézométrie dans cette commune.

En mettant sur pied le plan de travail suivant :

- ❖ Le premier chapitre est consacré à l'identification naturelle de la zone d'étude, en définissant la région, et en présentant les caractéristiques géographiques, géologiques, topographiques et hydro climatologiques.
- ❖ Le deuxième chapitre traite l'hydrogéologie de la région et présente un diagnostic sur ses ressources hydriques.
- ❖ Le troisième chapitre concerne les études piézométriques et hydro chimiques des eaux de la nappe phréatique de la ville d'El-Oued.

---

# *Chapitre I*

*Présentation générale de la  
région d'El-Oued*

---

Le Souf vient du nom berbère désignant rivière ou 'Oued'. La vallée de Oued-Souf est une unité de ressources en eau située au Sud-Est algérien au centre d'une grande cuvette synclinale, appelée aussi région du Bas-Sahara à cause de sa faible altitude.

El Oued: la ville aux mille coupoles, capitale du Souf, son architecture s'y distingue de celle des autres villes sahariennes. Au lieu des terrasses, ce sont des coupoles qui couvrent les maisons. Mais ses efforts ne sont pas vains car l'ensoleillement est maximum.

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

La vallée de Souf 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. Elle occupe une superficie de 44.586 km<sup>2</sup> (Meziani et *al*, 2012). Elle forme une wilaya depuis 1984.

Elle est limitée (**Figure I.1**):

- au Nord par les wilayas de Biskra, Khenchela et Tébessa,
- à l'Est par la Tunisie,
- à l'Ouest par les wilayas de Biskra, Djelfa et Ouargla,
- au Sud par la wilaya d'Ouargla.

La longueur de sa frontière avec la Tunisie est de 300 Km environ. Elle est couverte par le grand Erg Oriental sur les 2/3 de son territoire. La wilaya est divisée en quatre principales sous régions: Région du Souf - Erg - Oued Righ –Régions des dépressions (ANRH, 2005).

La wilaya d'El-Oued compte actuellement 30 communes regroupées en 12 Daïras (**Figure I.2**).

Cette région tire son originalité de son architecture typique, caractérisée par les coupoles et par ses palmeraies plantées dans les Ghouts.

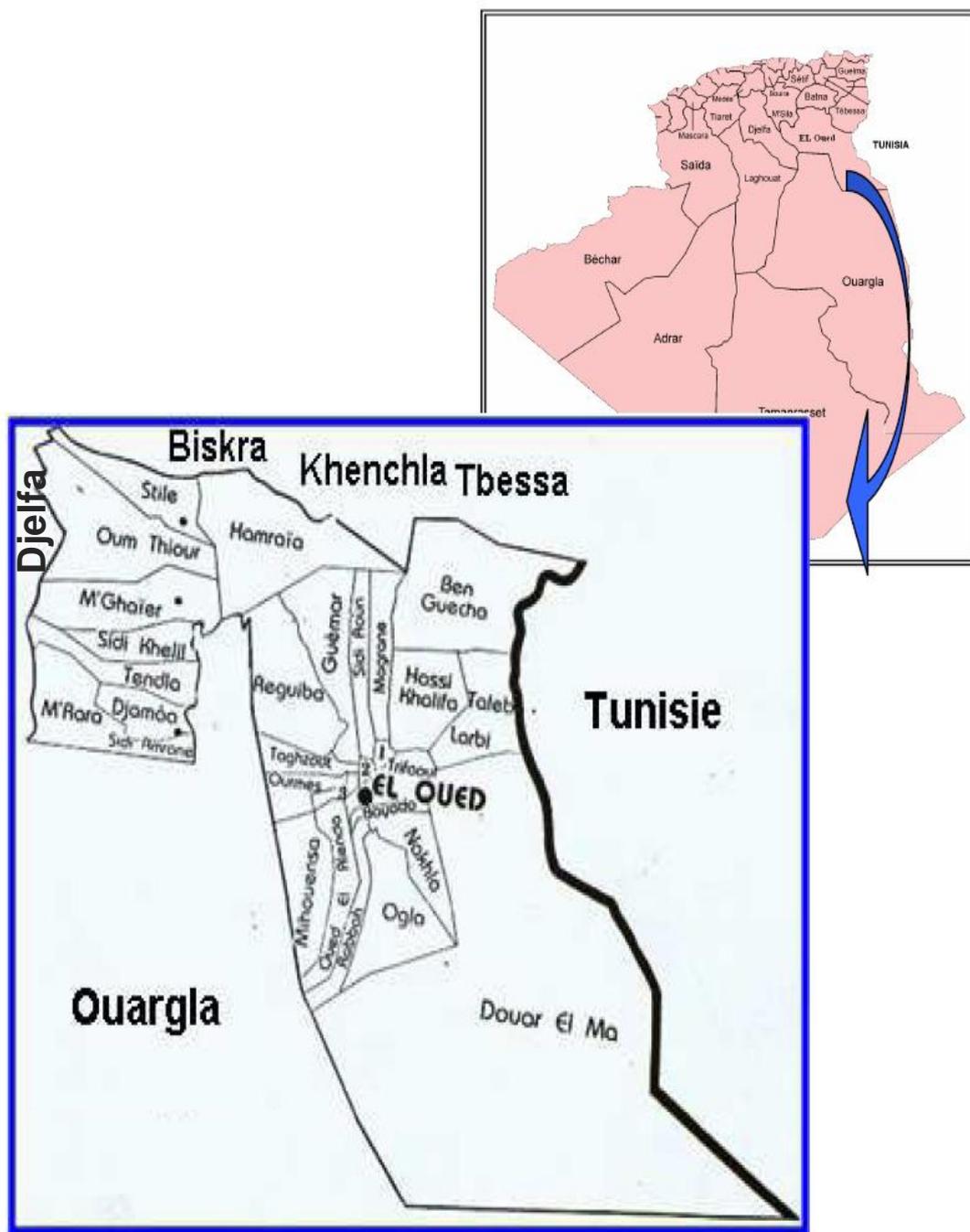


Figure (I.1) : Situation géographique de la région d'Oued Souf

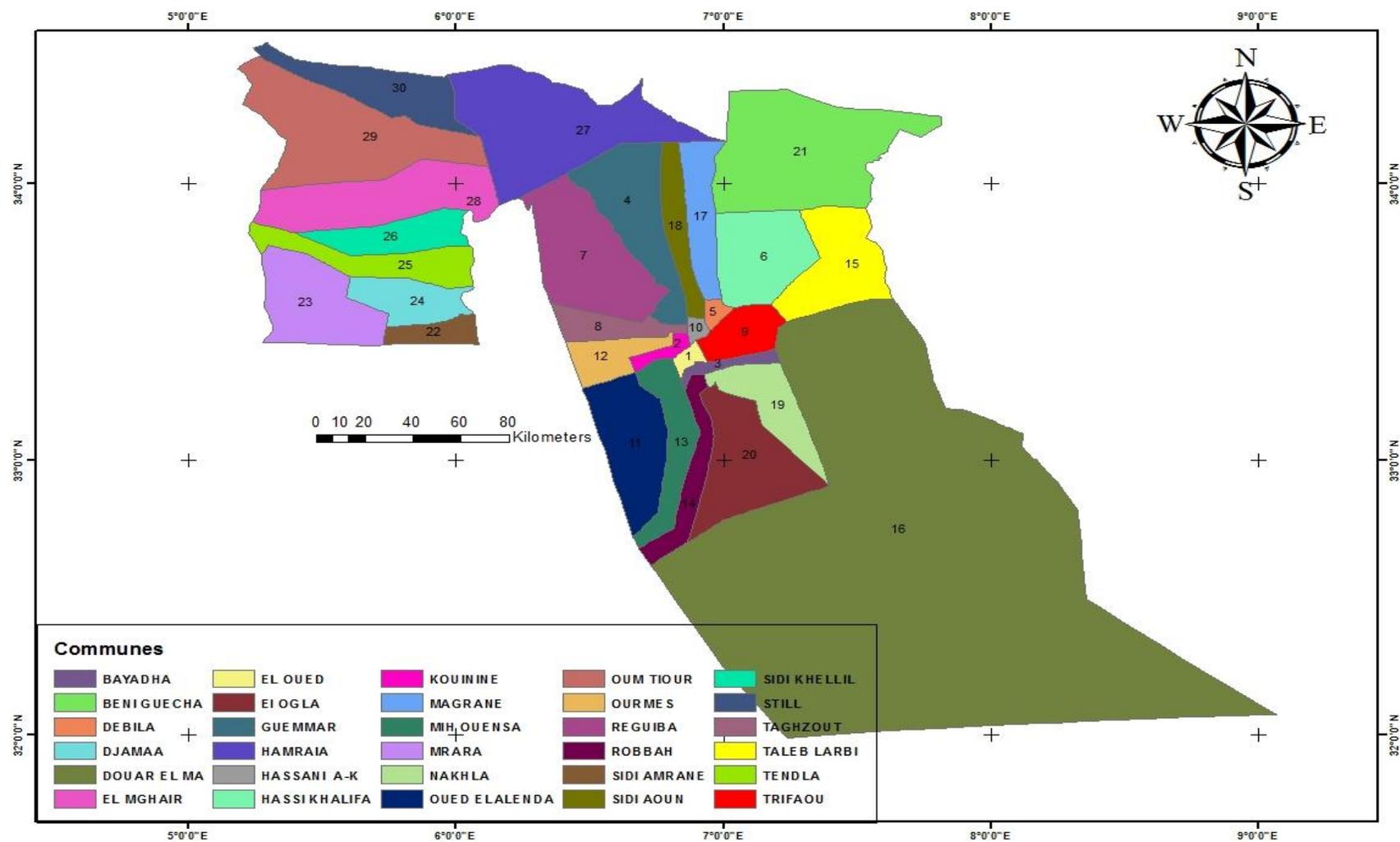


Figure (I.2) : Découpage administratif de la wilaya d'Oued Souf.

La vallée du Souf occupe une superficie de 11738 km<sup>2</sup> (**Tableau I.1**) et avec un nombre de population de 566245 habitants selon la DPS 2015. Elle est limitée (**Figure I.3**):

- Au Sud par la mer de dunes du grand Erg oriental,
- A l'Est par une série des chotts tunisienne
- Au Nord par la zone de dépression de chotts Mélghir et Marouane
- Au Nord-Ouest et l'Ouest par la vallée d'Oued Righ.
- A l'Ouest et Sud-ouest par Ouargla (Touggourt).

Limitée par les coordonnées géographiques suivantes:

Les longitudes 6°14' et 7°21' Est et les latitudes 32°37' et 34°09' Nord (extrait de la carte administrative).

N°	Commune	Population (hab)	Superficie (km <sup>2</sup> )	N°	Commune	Population (hab)	Superficie (km <sup>2</sup> )
01	El Oued	163555	77	10	Bayadha	38990	139
02	Kouinine	12610	116	11	Oued el Alenda	7720	712
03	Réguiba	50460	1966	12	MihOuansa	20650	1111
04	Guemar	49325	1264	13	Trifaoui	10120	474
05	Taghzout	16600	539	14	Magrane	28780	618
06	Ourmés	6655	443	15	Sidi Aoun	14315	480
07	Débila	30015	78	16	Robbah	26570	499
08	Hassani Abdelkrim	28335	58	17	Nakhla	15845	700
09	Hassi Khalifa	38235	1112	18	El Ogla	7465	1352
<b>Superficie total :</b>		<b>11738 Km<sup>2</sup></b>		<b>Population total :</b>		<b>566245 hab</b>	

**Tableau (I.1):**Répartition de la superficie et nombre d'habitant de la zone d'étude par commune (DPS, 2015)

Elle s'étend sur 18 communes (**Figure I.2**) dont la commune d'El-Oued qui est la chef-lieu de la wilaya et la commune la plus agglomérée ; délimité par les communes de Kouinine et Hassani A Krim.au Nord ; par la commune de Bayadha au Sud ; par la commune de Trifaoui; à l'Est et par la commune d'Oued Alenda à l'Ouest.

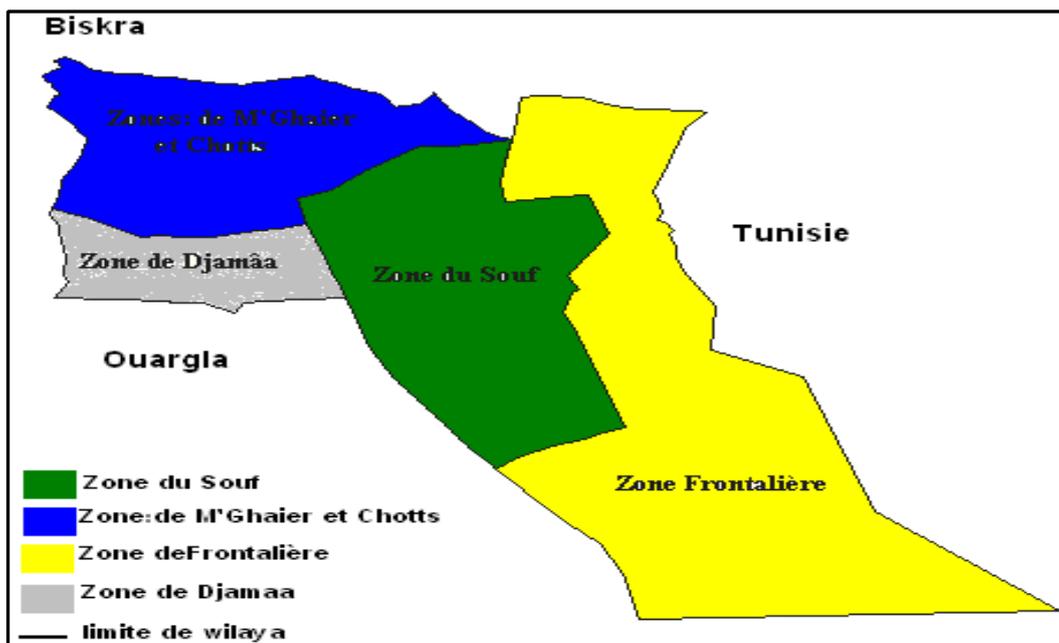


Figure (I.3) : Les frontières de la vallée du Souf. (ANRH 2005)

## I.2. Cadre géologique de la région de Souf :

### I.2.1. Stratigraphie régionale :

La ville d'Oued Souf se situe dans une mer de sable de couleur jaune ocre, issue de dépôts quaternaires. D'après (Cornet 1961 et 1964 et Bel et *al* 1966) et les coupes de sondages établies à partir des forages, les profondeurs des étages varient d'une région à l'autre. Sur la base d'une carte géologique et de la coupe d'un forage de l'Albien (l'ANRH 1993) de la ville d'Oued Souf, nous allons donner les principaux étages repérés dans cette région de la plus ancienne vers la plus récente (**Figure.I.4**).

#### I.2.1.1. Formation de l'ère Secondaire :

- **Le Barrémien :**

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

- **L'Aptien :**

Il est constitué Principalement par des formations dolomitiques, marneuses et marno-calcaires. Selon les coupes géologiques des forages réalisés dans la région, l'Aptien est le seul étage dont l'épaisseur ne dépasse pas les 30 mètres.

- **L'Albien :**

Cet étage est constitué par une alternance de marnes, de grès de sables et par des calcaires

avec passages de silex et d'argile. La limite inférieure est constituée par le toit de la barre aptienne, alors que sa limite supérieure se caractérise par l'apparition des faciès argilo carbonatés. D'après les coupes de sondages des forages Albien, l'épaisseur de cet étage varie de 100 à 150 mètres; dans d'autres endroits elle peut atteindre 200 mètres.

- **Le Vraconien :**

C'est une zone de transition entre l'Albien sableux et le Cénomaniens argilo carbonaté. Cet étage est constitué principalement d'une alternance irrégulière de niveaux argilo dolomitiques. On montre aussi des argiles sableuses et de rares passées de grès à ciment calcaire. Dans la zone d'étude, l'épaisseur de cet étage varie entre 250 et 300 mètres. En raison de l'importance de ses niveaux argileux, il constitue une importante couverture de l'Albien.

- **Le Cénomaniens :**

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

- **Le Turonien :**

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

- **Le Sénonien :**

La plupart des études géologiques effectuées à travers le Sahara algérien montrent que le Sénonien est formé de deux ensembles très différents du point de vue faciès : l'un correspond au Sénonien lagunaire situé à la base et l'autre au Sénonien carbonaté au sommet.

**Sénonien lagunaire :**

La limite de ce sous étage est bien distinguée. Le Sénonien lagunaire est caractérisé par un faciès évaporé avec des argiles où ces derniers sont aisément différenciés de ceux du Turonien. Il est constitué également d'anhydrites, de calcaires dolomitiques d'argiles et surtout les bancs de sel massif dont l'épaisseur avoisine 150 mètres. La limite supérieure de cette formation coïncide avec le toit de la dernière intercalation anhydride.

**Sénonien carbonaté :**

Ce second sous étage est constitué par des dolomies, des calcaires dolomitiques avec des intercalations marno- argileuses et en grande partie par des calcaires fissurés. Son épaisseur

dépasse parfois les 300 mètres. Il faut mentionner par ailleurs l'existence d'une continuité lithologique entre le Sénonien carbonaté et l'Eocène, qui présentent des calcaires de même nature avec présence de nummulites.

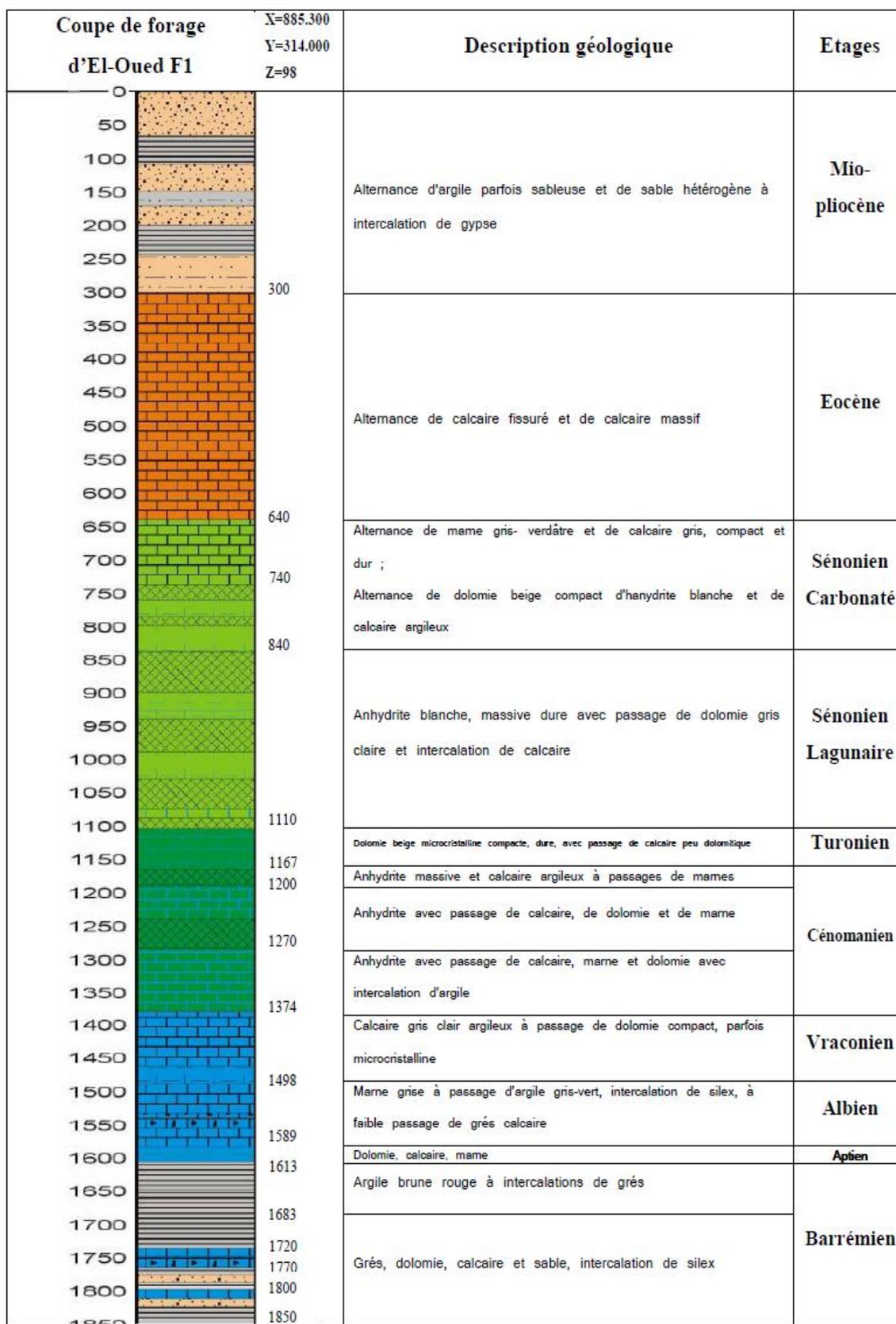


Figure. (I.4) : La lithostratigraphie du forage F1, (ANRH, 1993)

### I.2.1.2. Formations de l'ère Tertiaire :

- **L'Eocène:**

Il est formé par des sables et des argiles, parfois on rencontre des gypses et des graviers. Dans cette région, l'Eocène est carbonaté à sa base, sa partie supérieure est marquée par des argiles de type lagunaire. L'épaisseur de cet horizon varie entre 150 et 200 mètres.

- **Le Miopliocène :**

Il repose en discordance indifféremment sur le Primaire d'une part et sur le Crétacé inférieur, le Turonien, le Cénomaniens et l'Eocène d'autre part, il appartient à l'ensemble appelé communément Complexe Terminale (C.T). La plupart des coupes de sondages captant cet horizon, montrent que le Miopliocène est constitué par un empilement de niveaux alternativement sableux, sablo argileux avec des intercalations gypseuses et des passées de grès. Sur toute l'étendue du Sahara oriental, Bel et Demargne séparent cet horizon en 4 niveaux:

**Niveau argileux :**

Il est peu épais et existe uniquement dans la zone centrale du Sahara oriental. Avec l'Eocène lagunaire, les argiles de la base du Miopliocène constituent une barrière peu perméable entre les nappes du Sénono-Eocène carbonatées et celle du Pontien sableux.

**Niveau grès sableux :**

C'est le plus intéressant sur le plan hydrogéologique, son épaisseur reste presque régulière sur toute l'étendue du Sahara oriental. A sa base, on trouve parfois des graviers alors que le sommet se charge progressivement d'argiles. C'est à ce niveau que se rattache le principal horizon aquifère du Complexe Terminal.

**Niveau argileux :**

Il ne présente pas un grand intérêt du point de vue hydrogéologique, ce niveau renferme des lentilles sableuses qui peuvent former le quatrième niveau (sableux) du Miopliocène.

**Niveau sableux :**

Ce niveau constitue le deuxième horizon aquifère du complexe terminal, du point de vue hydrogéologique, ces niveaux sableux présentent un grand intérêt car ils correspondent à la nappe des sables du Complexe Terminal.

### I.2.1.3. Formations du Quaternaire :

Elles se présentent sous forme des dunes de sable dont le dépôt se poursuit sans doute encore de nos jours. Les terrains quaternaires représentent la couverture superficielle qui se localisent surtout au niveau des dépressions et couvrent la plus grande extension au niveau du bas Sahara, ils sont formés d'un matériel alluvial et éolien d'où on trouve la formation des alluvions sableuses et argileuses.

## I.2.2 Géomorphologie :

Lelubre 1952, admet que s'il y est une région du globe où les formes de relief sont particulièrement nettes et visibles, c'est bien le Sahara et si les processus morphogénétiques (vent, eau, etc.) à l'œuvre dans ce milieu sont caractéristiques, rien n'est étonnant à ce que les formes qui en résultent le soient aussi.

Le sous-sol présente des contrastes frappants. C'est ainsi qu'au Sud, à 6 kilomètres d'El-Oued et jusqu'à El-Ogla à 24 Km plus loin, on remarque l'absence totale de (*Tefza*), tandis que sur un autre axe allant de El-Oued à Ghamra (en passant par Tiksebt, Kouinine et Guemar) la « Tefza » y occupe tous les terrains. Ainsi deux bandes de terrains sédimentaires, de formations différentes, renfermant des roches dissemblables dont dépend la qualité de la nappe aquifère. Dunes Frontière algéro-tunisienne zone des chotts Quaternaire indifférencié Mio-pliocène Pliocène ou Quaternaire

Une coupe dans le sol, nous permet de distinguer (**Figure I.5**) :

### I.2.2.1. Tercha :

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

### I.2.2.2. Louss :

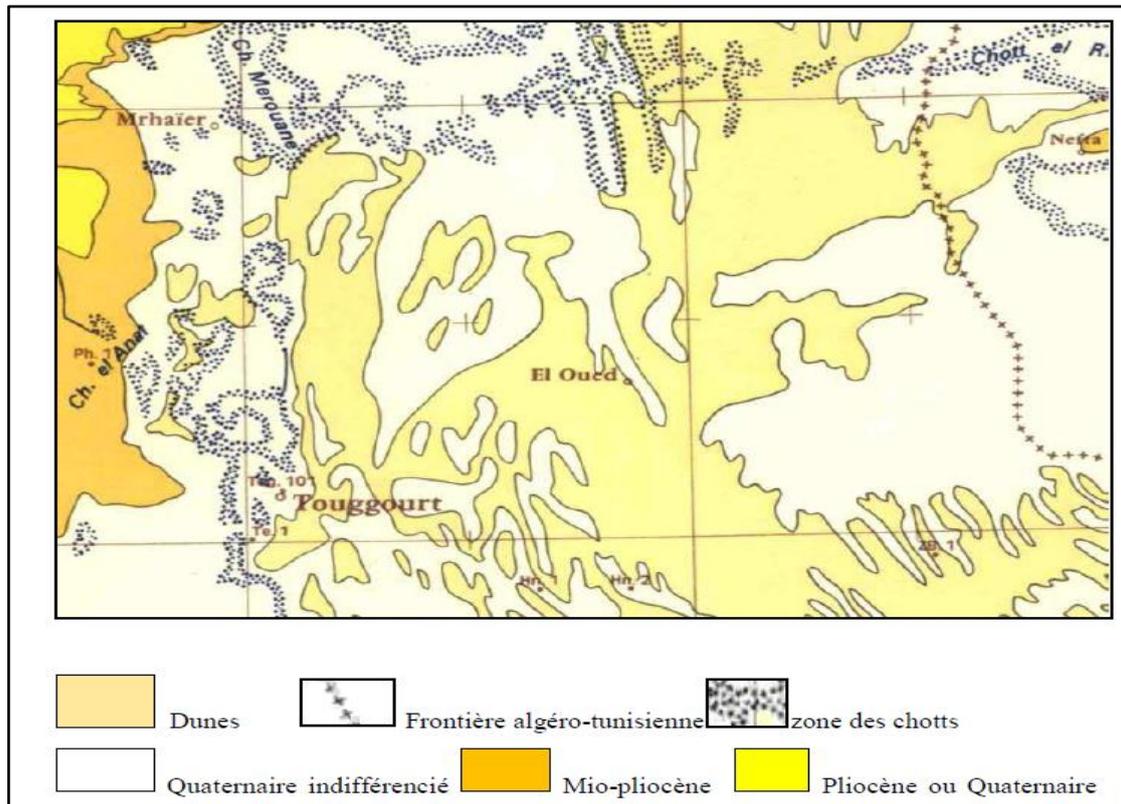
Le Louss est fait de cristaux de gypse en fer de lames imbriqués, il se rencontre sous forme de couches continues, très dures de réseaux mélangés au sable, de bancs isolés ou de colonnes qui semblent être constituées autour d'anciennes racines gypseuses.

### I.2.2.3. Salsala ou Smida :

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

### I.2.2.4. Tefza :

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



**Figure(I.5):** Carte géologique de la région d'El-Oued (extrait de la carte du Sahara septentrional) (Bisson, 1971)

### I.3. Le relief :

Le relief de la wilaya d'El Oued est caractérisé par l'existence de trois principales formes :

- **Les accumulations sableuses:** le sable est un élément essentiel du paysage saharien. Cependant, les dunes sont loin de recouvrir la totalité du Sahara, mais se localisent généralement dans de vastes régions ensablées appelées les ergs ( Serraye ;2014).D'après Gardi 1973, les dunes peuvent avoir des formes différentes en fonction de la direction dominante du vent ; elles couvrent la totalité de la région du Souf, ainsi que les parties Est et Sud de Oued-Righ.
- **Une forme de plateaux rocheux** : elle s'étend vers le Sud avec une alternance de dunes et de crêtes rocheuses.
- **Une zone de dépressions** : elle est caractérisée par la présence d'une multitude de chotts qui plongent vers l'Est et l'altitude diminue du Sud vers le Nord et de l'Ouest vers l'Est pour devenir négative au niveau des chotts (Serraye ; 2014).

Vu la forte salinité de cette région, elle ne présente aucune utilité pour l'agriculture (KHECHANA ; 2007). Les formations quaternaires occupent tous les niveaux bas sédimentaires et forment des sebkhas (centre d'une dépression fermée et salée) ou bien chott (zone entourant une sebkha) (Dulix 1971 in Adamou, 2006).

## I.4. Situation topographique :

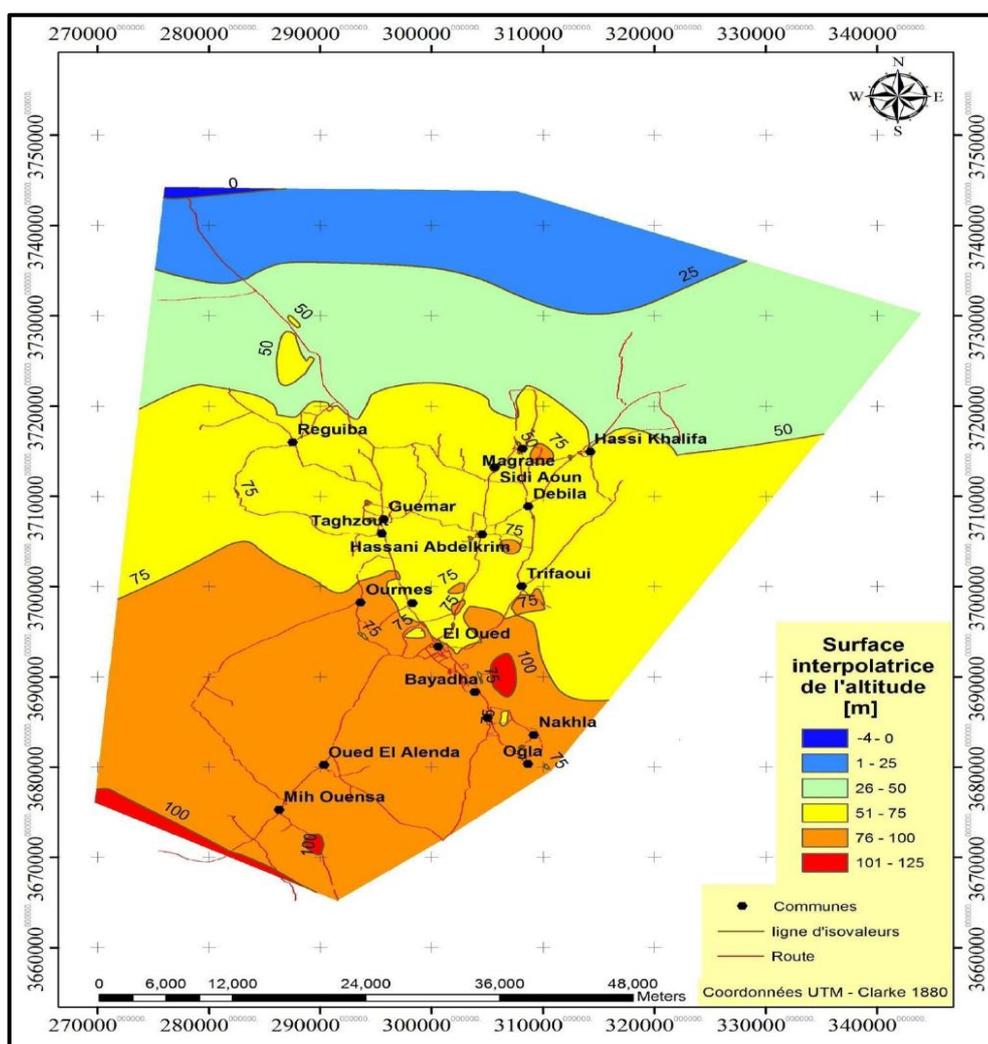
### I.4.1. Nature topographique de la région d'étude :

La région d'Oued Souf appelée aussi région du Bas-Sahara à cause de la faible altitude est située au Sud-Est du pays- Le point le haut se trouve à la cote 125m à la commune de Bayadha (Soualah), (**Figure I.6**) alors que le point le plus bas se trouve à la cote 29m à la commune de Réguiaba (Foulia).

L'altitude moyenne de la région est de 80 mètres et accuse une diminution notable du Sud vers le Nord pour être de 25 mètres au-dessous du niveau de la mer dans la zone des Chotts qui occupent le fond de l'immense bassin du bas Sahara. (ANRH 2005).

### I.4.2. Pente de terrain :

Le pendage général de la zone d'étude est orienté Sud/Nord, avec une pente moyenne très faible (au mieux de l'ordre de 0,002 m/m à 0,003 m/m) et des incidents liés à la présence des dunes. (ANRH ; 2005).



**Figure (I.6) :** Carte topographique de la région de souf

## I.5. Contexte climatique :

L'Algérie, est 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.

L'analyse des paramètres climatiques se fait sur la base des données de la station météorologique de l'aéroport d'El-Oued située dans la daïra de Guemar au nord de la ville. Cette station est exploitée par l'ONM, ayant les caractéristiques géographiques suivantes (**Tableau I.2**)

Station	Code A.N.R.H	Altitude (m)	Longitude	Latitude
Guemar	13 04 09	64	6°47'E	33°30'N

**Tableau(I.2) :** Coordonnées géographiques de la station météorologique de la ville d'El-Oued (ONM, 2016)

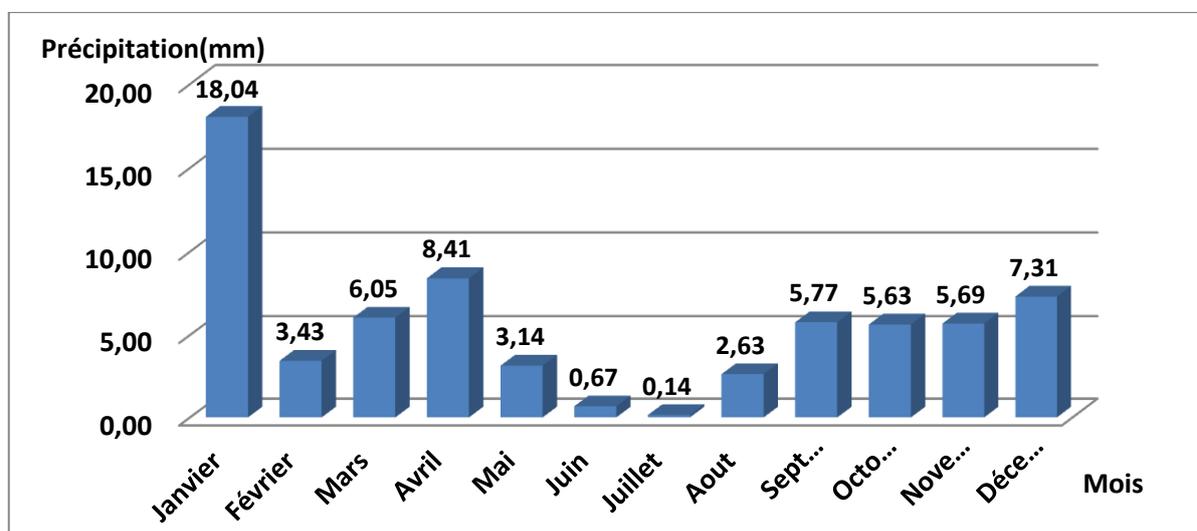
La station nous a permis d'exploiter une série de 16 ans (2000-2015) pour l'ensemble des paramètres mesurés.

### I.5.1. Les paramètres climatiques :

#### I.5.1.1. Précipitations :

##### A) Répartition moyenne mensuelle des pluies :

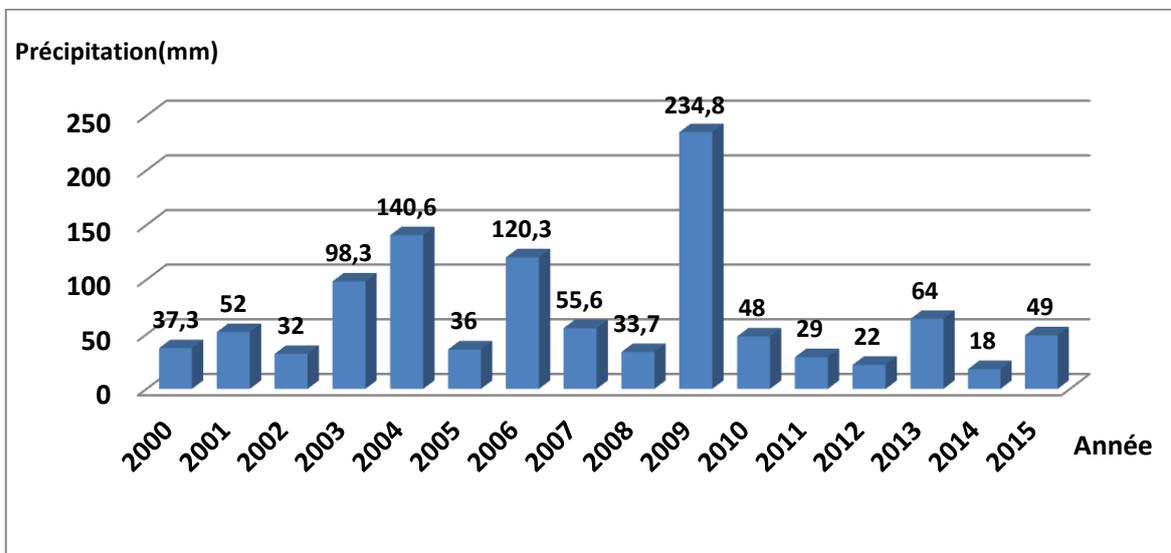
Nous observons que tout au long de ces 16 ans, une grande irrégularité des précipitations moyennes mensuelles : les pluies connaissent leur maximum en janvier avec 18.04 mm et un minimum de l'ordre de 0.14 enregistré pendant le mois de juillet. (**Figure I.7**). Les précipitations mensuelles permettent d'apprécier le régime pluviométrique.



**Figure(I.7) :** Précipitations moyennes mensuelles durant la période 2000/2015

## B) Répartition moyenne annuelle des pluies :

Les précipitations relevées au niveau de la station de Guemar montrent une grande variabilité d'une année à une autre (**Figure I.8**). L'année la plus arrosée était celle de (2009) avec 234,8 mm/an et l'année la plus sèche était celle de (2014) avec 18 mm/an. La moyenne interannuelle est de 66,91mm ce qui indique le domaine saharien de cette région.

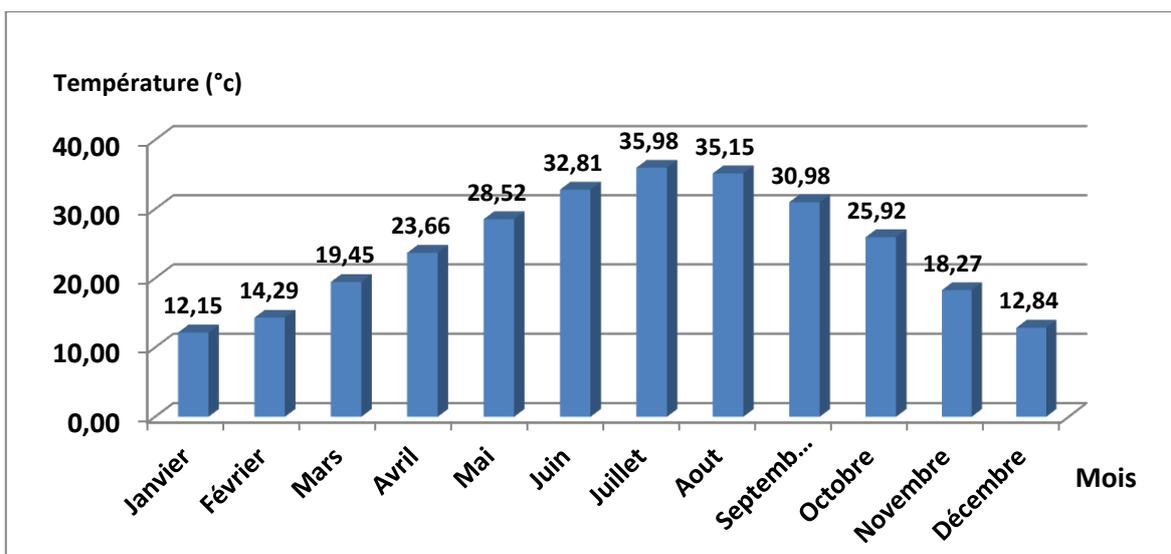


**Figure (I.8) :** Variabilité des précipitations annuelles durant la période 2000/2015

### I.5.1.2 : Température :

#### A) Température moyenne mensuelle interannuelle :

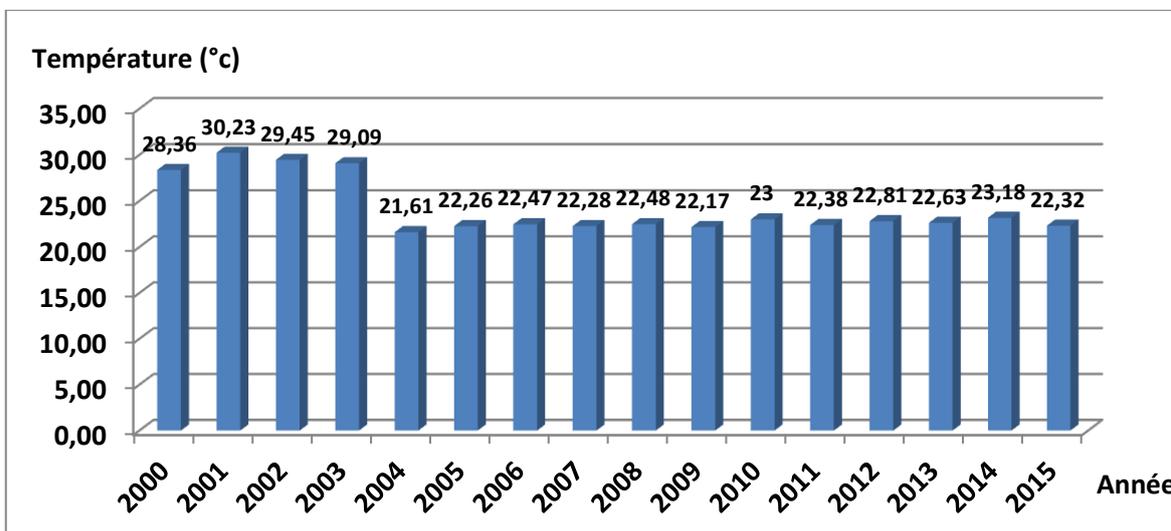
A partir la **Figure (I.9)** des variations mensuelles des températures ; on peut tirer que la valeur maximale est de 35,98°C au mois de juillet et la valeur minimale est de 12,15°C au mois de janvier.



**Figure (I.9):** Températures moyennes mensuelles durant la période 2000/2015

### B). Température moyenne annuelle :

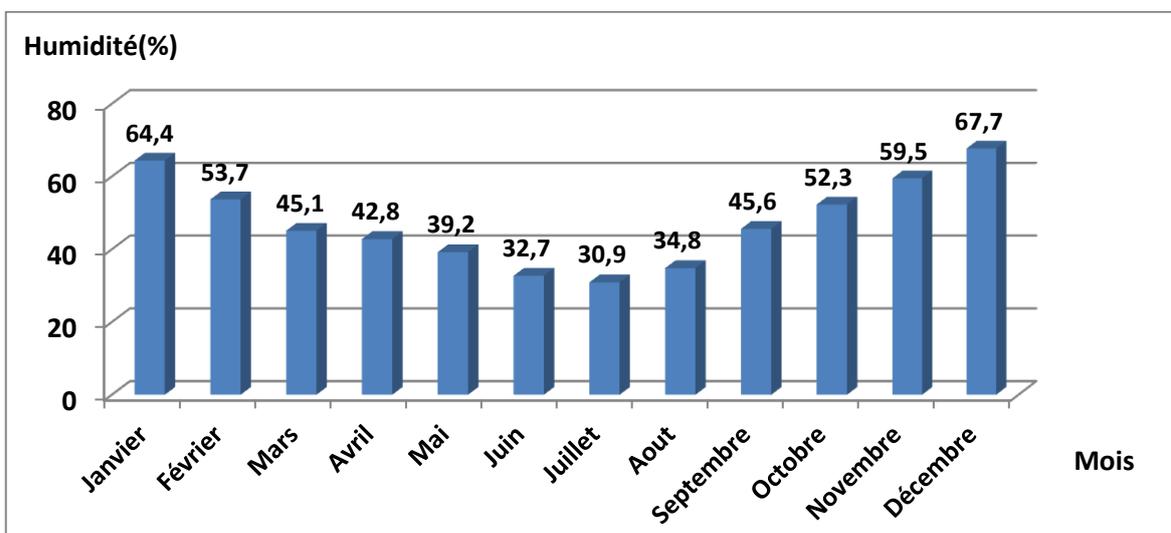
La variation moyenne annuelle des températures de la période étudiée (**Figure I.10**) montre que l'année la plus froide est celle de 2004 avec une valeur de 21.61°C, l'année la plus chaude est celle de 2001 avec une valeur 30.23°C. La valeur moyenne interannuelle de la période d'étude est de 24.17°C.



**Figure (I.10) :** Variabilité des températures annuelles durant la période 2000/2015

### I.5.1.3. Humidité :

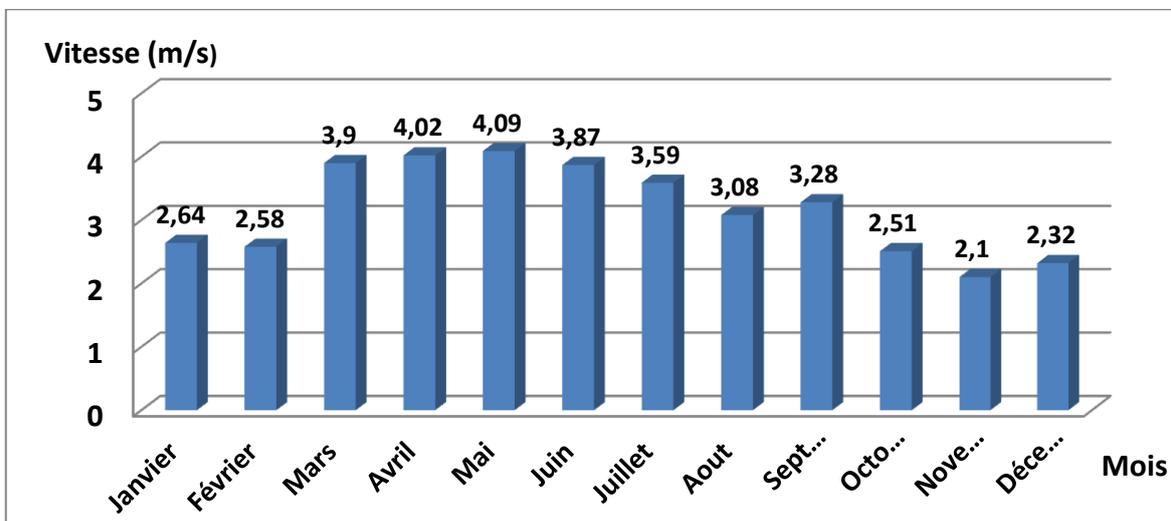
L'humidité représente la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air, sans compter l'eau liquide et la glace (Vincent Luyet et *al*, 2010). Dans la région d'El-Oued, l'humidité de l'air est faible ; la moyenne annuelle de l'humidité relative est de 47.39%. Cette humidité varie sensiblement en fonction des saisons. En effet, pendant l'été, elle chute jusqu'à 30.9% pendant le mois de Juillet (**Figure I.11**) ; et ceci sous l'action d'une forte évaporation et des vents chauds, alors qu'en hiver, elle s'élève et atteint une moyenne maximale de 67.7 % au mois de Décembre



**Figure (I.11):** Humidités moyennes mensuelles durant la période 2000/2015

#### I.5.1.4. Le vent :

Au niveau de la région, les vents sont fréquents durant toute l'année. Les vitesses les plus élevées sont enregistrées durant la période allant du mois de Mars jusqu'au mois d'Aout (**Figure I.12**), avec un maximum de 4.09 m/s durant le mois de Mai.

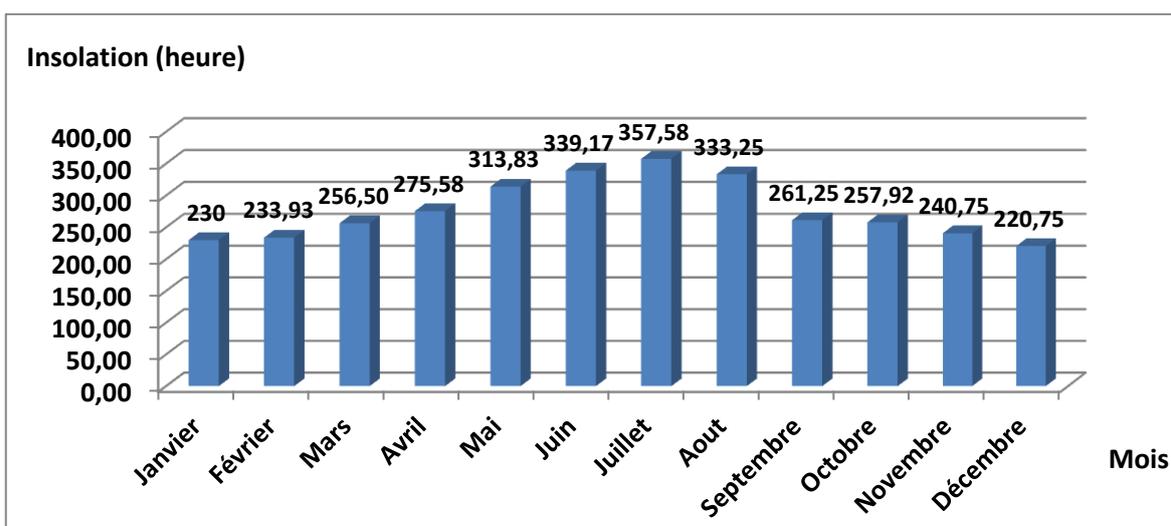


**Figure (I.12) :** vitesses moyennes mensuelles des vents durant la période 2000/2015.

#### I.5.1.5. Insolation :

La répartition des moyennes mensuelles d'insolation nous permet de constater que la brillance du soleil est maximale au cours du mois de juillet avec une moyenne de 357.58 heures, et un minimum enregistré pendant le mois de décembre (220.75 heures) (**Figure I.13**).

Dans la région d'El-Oued, le rayonnement solaire est excessif durant l'année avec une moyenne de 3328,17 heures ce qui se traduit par un pouvoir évaporant très élevé



**Figure(I.13):** Insolations moyennes mensuelles durant la période 2000/2015.

### I.5.1.6 Evaporation :

Les plans d'eau (sebkhas et chotts) situés dans des zones arides présentent une forte évaporation puisque l'ensemble des facteurs se trouvent réunis; une température de l'air souvent élevée pendant les saisons sèches, une forte insolation presque continue durant toute l'année et une présence considérable de vents secs (grande vitesse) surtout durant l'automne et le printemps (Remini, 2005).

Les volumes d'eau perdus par évaporation atteignent leur maximum au mois de Juillet (Figure I.14) avec 334.4 mm contre un minimum de 76.7 au mois de Janvier

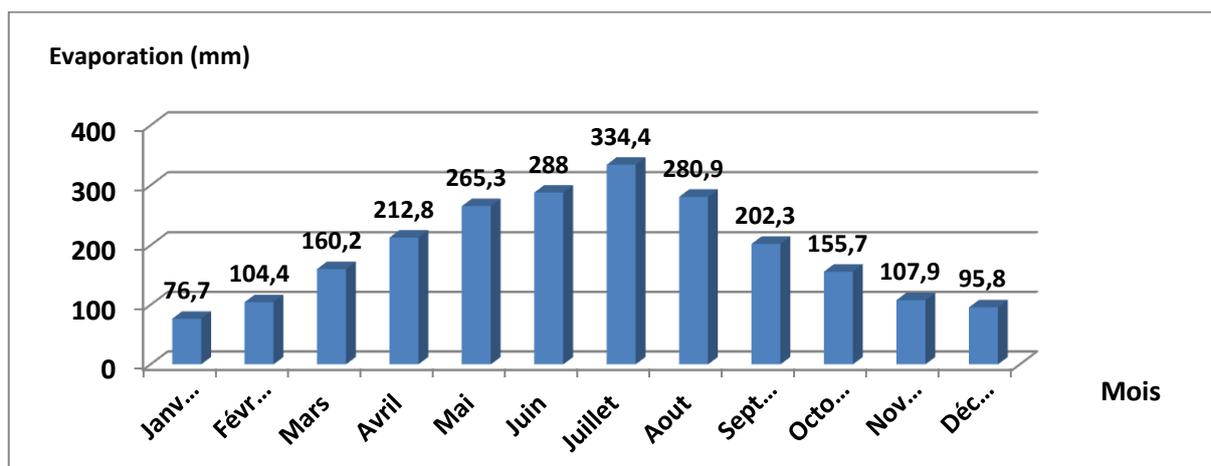


Figure (I.14): Evaporations moyennes mensuelles durant la période 2000/2014.

### I.5.2.Type de climat :

#### I.5.2.1. Diagramme Ombrothermique :

Le but du diagramme Ombrothermique est de déterminer la période sèche et la période humide d'une région donnée. L'examen de ce diagramme, montre que la région d'étude est caractérisée par une période sèche qui s'étale sur toute l'année (Figure I.15) ; la détermination de cette période a une importance primordiale pour les besoins en eau d'irrigation des plantes.

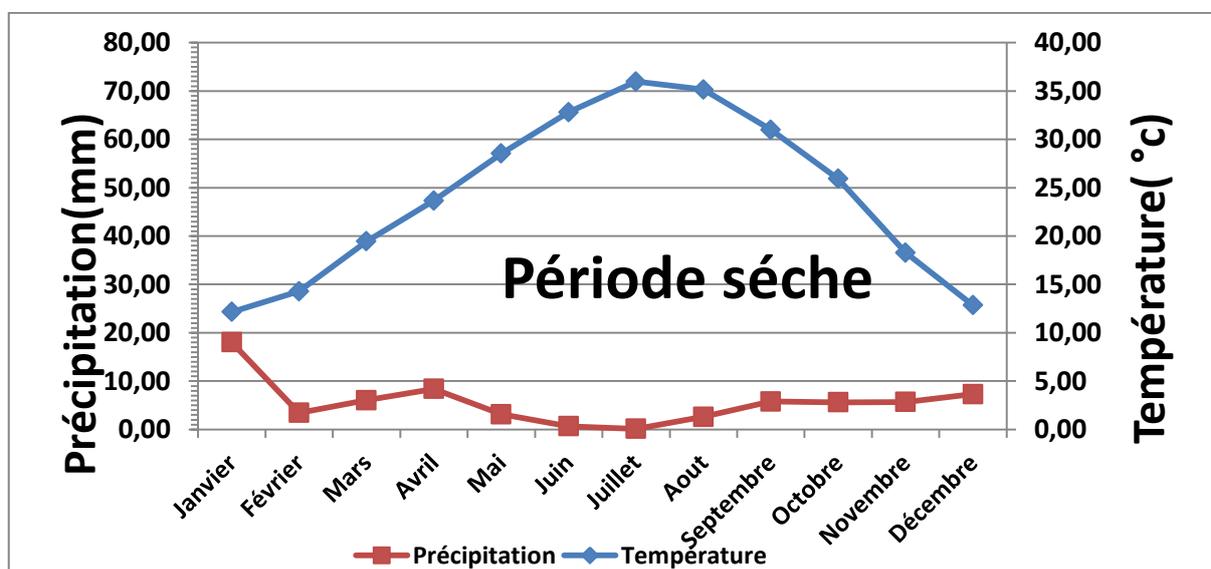


Figure (I.15): Diagramme Ombrothermique de la région d'Oued Souf (2000-2015).

### I.5.2.2. Climagramme d'Emberger :

Pour classer le bioclimat, nous avons utilisé la formule de **Stewart (1969)** adaptée à l'Algérie qui a la forme suivante :

$$Q_2 = 3.43 P / (M - m)$$

Avec :

$Q_2$ : Quotient pluviométrique d'Emberger.

P: Précipitation moyenne annuelle (mm).

M: Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en (c°).

m: Moyenne des températures minimales du mois le plus froid en (c°).

Pour notre cas :

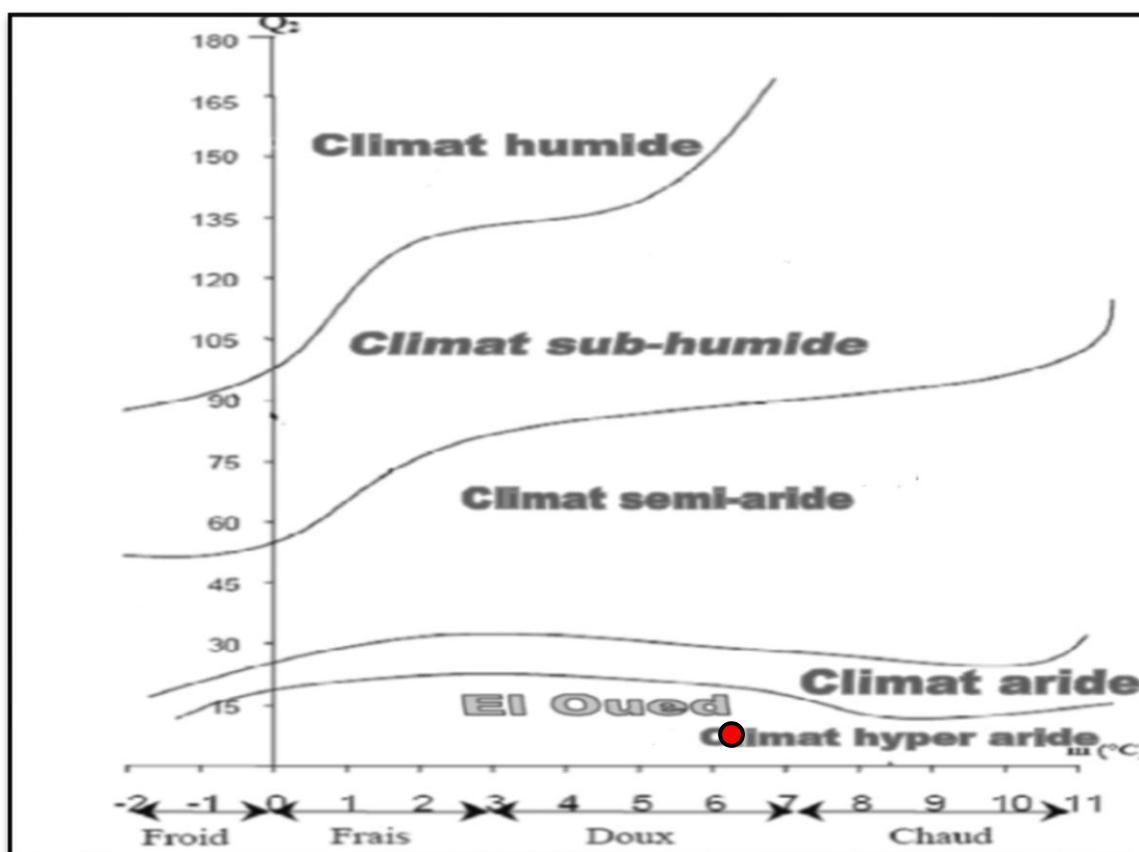
$$P = 66.91$$

$$M = 41.10^\circ\text{C}$$

$$m = 6.26^\circ\text{C}$$

$$\text{Donc : } Q_2 = 3.43 * 66.91 / (41.1 - 6.26) = 6.59$$

Selon le climagramme d'Emberger (**Figure I.16**), le climat de la région d'étude est de type hyper-aride à hiver doux.



**Figure (I.16) :** Climagramme d'Emberger pour la région du Souf.

## I.6. Calcul des paramètres du bilan hydrique :

Le bilan hydrique permet d'évaluer la répartition des précipitations entre leurs différents composants (pluie, température, évapotranspiration potentielle et réelle...etc). La formule du bilan est la suivante :  $P = ETR + R + I$

P : désigne la précipitation moyenne annuelle en mm.

ETR : désigne l'évapotranspiration réelle en mm.

R : désigne le ruissellement en mm.

I : : désigne L'infiltration en mm.

L'évapotranspiration:

L'émission de la vapeur d'eau dans l'atmosphère ou évapotranspiration (exprimée en mm), résulte de deux phénomènes : l'évaporation, qui est un phénomène purement physique, alors que la transpiration des êtres vivants est un phénomène biologique. La recharge des nappes phréatiques par les précipitations tombant en période d'activité du couvert végétal peut être limitée. En effet, la majorité de l'eau est évapotranspirée. Elle englobe la perte en eau due au climat, les pertes provenant de l'évaporation du sol et de la transpiration des plantes.

L'évapotranspiration potentielle (ETP) est la quantité d'eau pouvant être restituée à l'atmosphère par la transpiration des êtres vivants et l'évaporation du sol et des surfaces d'eaux libres, si celui-ci contient en permanence la quantité d'eau suffisante, alors que l'évapotranspiration réelle (ETR) correspond à la quantité d'eau effectivement transpirée et évaporée.

Nombreuses formules ont été établies pour calculer l'ETP à partir de quatre éléments climatiques fondamentaux: température, humidité relative, insolation et vitesse du vent. Pour notre cas on utilise les formules de Thornthwaite. Les données climatiques utilisées sont celles de la station de Guemar sur une période de 16 ans (2000-2015). Il existe plusieurs formules empiriques qui permettent de calculer l'évapotranspiration potentielle mais leur application sont sujettes à des conditions et doivent subir certaines corrections locales.

### Calcul de l'ETP suivant la formule de CW Thornthwaite :

La formule utilisée pour le calcul est la suivante :  $ETP = 16 \left( \frac{10T}{I} \right)^a K$

L'application de cette formule à la station de Guemar a permis d'obtenir les résultats qui ont été notés dans le (Tableau I.3) et reportés dans le (Figure I.17).

Avec :

ETP : évapotranspiration potentielle (mm).

T : température moyenne mensuelle de l'air (°C).

I: indice thermique annuel.

$$a = \left(\frac{1.6}{100}\right)I + 0.5$$

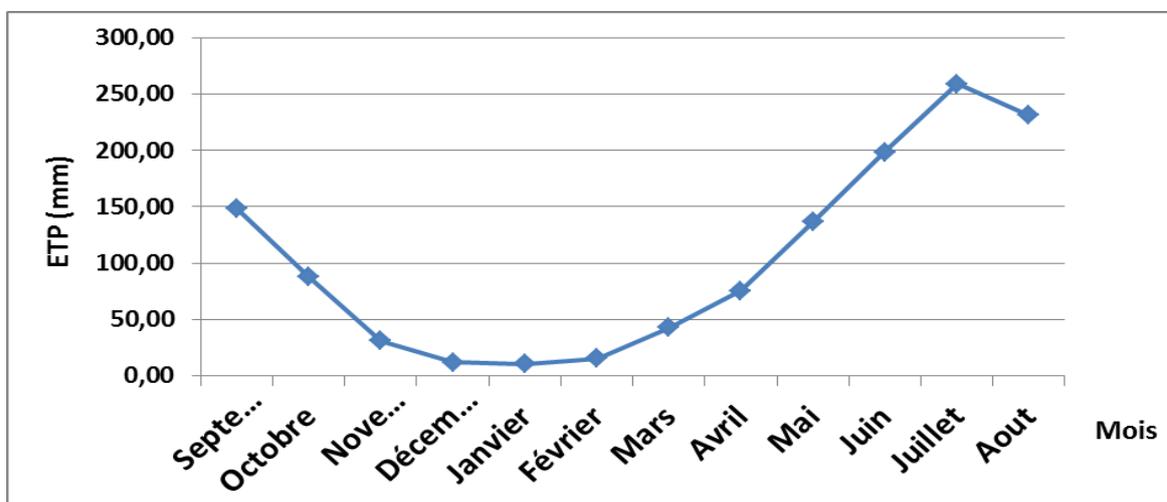
Calcul de l'indice thermique mensuel  $i$  :

$$i = \left[\frac{T}{5}\right]^{1.514} \quad \text{D'où} \quad I = \sum i$$

$K$  : coefficient d'ajustement mensuel.

Paramètre Mois	T (°C)	i	K	ETP (mm)
Septembre	30,98	15,83	1,03	148,78
Octobre	25,92	12,08	0,98	87,70
Novembre	18,27	7,11	0,89	31,14
Décembre	12,84	4,17	0,88	11,96
Janvier	12,15	3,84	0,90	10,55
Février	14,29	4,90	0,87	15,74
Mars	19,45	7,82	1,03	42,66
Avril	23,66	10,52	1,08	75,67
Mai	28,52	13,96	1,18	136,44
Juin	32,81	17,26	1,18	198,69
Juillet	35,98	19,84	1,20	258,85
Août	35,15	19,16	1,14	231,06
<b>Total</b>	<b>290,03</b>	<b>136,48</b>	-	<b>1249,22</b>

**Tableau (I.3) :** Résultats de l'ETP issus de la formule de Thornthwaite à Oued Souf



**Figure (I.17) :** L'évolution de l'ETP de la station de Guemar selon la formule de Thornthwaite

**Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR) suivant la formule de CW Thornthwaite:**

Pour le calcul de l'évapotranspiration réelle, on utilise la méthode de C.W Thornthwaite, Elle est basée sur la notion de réserve d'eau facilement utilisable (RFU). On admet que la hauteur d'eau stockée dans le sol qui est reprise par l'évapotranspiration est de 100 mm au maximum.

Les résultats des calculs sont résumés dans le **Tableau (I.4)**.

Le bilan hydrique établi par la méthode de Thornthwaite a montré que l'ETP atteint le maximum au mois de juillet (258.85 mm) et son minimum au mois de janvier (10.55mm).

La constitution de la RFU ne s'effectue qu'au mois de janvier avec une valeur de 7.5 mm et le reste de l'année est épuisée.

Le bilan hydrologique pour une période de 16 ans (1985-2007) de la région de Oued Souf est déficitaire (DA= 1182.31 mm) et donc avec un excédent nul.

Mois	T(°C)	i	K	ETP (mm)	P (mm)	P-ETP (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DA (mm)	EX (mm)
Sep	30,98	15,83	1,03	148,78	5,77	-143,01	00	5,77	143,01	00
Oct	25,92	12,08	0,98	87,70	5,63	-82,07	00	5,63	82,07	00
Nov	18,27	7,11	0,89	31,14	5,69	-25,45	00	5,69	25,45	00
Déc	12,84	4,17	0,88	11,96	7,31	-4,65	00	7,31	4,65	00
jan	12,15	3,84	0,90	10,55	18,04	7,50	7,5	10,55	0,00	00
Fév	14,29	4,90	0,87	15,74	3,43	-12,31	00	10,93	4,81	00
Mar	19,45	7,82	1,03	42,66	6,05	-36,61	00	6,05	36,61	00
Avr	23,66	10,52	1,08	75,67	8,41	-67,26	00	8,41	67,26	00
Mai	28,52	13,96	1,18	136,44	3,14	-133,30	00	3,14	133,30	00
Juin	32,81	17,26	1,18	198,69	0,67	-198,02	00	0,67	198,02	00
Juill	35,98	19,84	1,20	258,85	0,14	-258,70	00	0,14	258,70	00
Août	35,15	19,16	1,14	231,06	2,63	-228,44	00	2,63	228,44	00
<b>Total</b>	290,03	136,48	-	1249,22	66,91	-143,01	00	66,91	1182,31	00

**Tableau (I.4) : Bilan hydrique de la station de Guemar d'après THORNTWAITE**

**Formules de vérification :**

$$1. \Sigma P = \Sigma ETR + \Sigma EX$$

$$\text{On a } \Sigma ETR + \Sigma EX = 66.91 + 00 = 66.91$$

$$2. \Sigma ETP = \Sigma ETR + \Sigma DA$$

$$\text{On a } \Sigma ETR + \Sigma DA = 66.91 + 1182.31 = 1249.22$$

**Ruissellement (R) :**

D'après la formule de Tixeront-Berkaloff, on peut estimer le ruissellement à partir de la précipitation moyenne annuelle et l'évapotranspiration potentielle calculée d'après la formule de Thornthwaite, mais comme l'excédent est nul il ne peut pas y avoir d'infiltration et de ruissellement du point de vue théorique

**Conclusion :**

El' Oued c'est un coin de désert, un morceau de Sahara, sables, dunes, Oasis et palmiers ; située au Sud-Est Algérien au centre d'une grande cuvette synclinale.

Elle est caractérisée par l'existence de trois principales formes de relief qui sont : les accumulations sableuses ; la forme de plateaux rocheux et la zone de dépressions ; et une topographie plane, monotone et sans exutoire (Messekher et Menani, 2010).

Selon la coupe d'un forage de l'Albien, les principaux étages repérés dans cette région sont :

Le Barrémien, L'Aptien, L'Albien, Le Vraconien, Le Cénomaniens, Le Turonien, Le Sénonien, L'Eocène et Le Mio-pliocène. Parmi ces étages, seuls le Cénomaniens et l'Eocène jouent le rôle d'écran imperméable.

La synthèse des données climatiques nous permet de dire que la région est caractérisée par un climat hyper-aride, caractérisé par une irrégularité pluviométrique annuelle et interannuelle.

Ce climat est caractérisé par l'existence de deux périodes différentes : L'une sèche et chaude, qui s'étale de mars à novembre et l'autre humide et froide pendant le reste de l'année.

Le mois le plus humide est décembre, il est caractérisé par une forte humidité (environ 67.7%) et d'un faible rayonnement solaire (environ 220.75 heures). Le mois le plus sec est juillet, il est caractérisé par une faible humidité (30.9 % environ). La brillance du soleil est très élevée avec 357.58 heures, ce qui traduit un pouvoir évaporant excessif.

L'établissement du bilan hydrique et l'estimation de ses paramètres nous permettent de ressortir les résultats suivants:

Le bilan est déficitaire ; l'excédent est nul et la RFU est épuisée durant toute l'année ; elle ne représente que 7.5 mm pendant le mois de janvier.

---

# *Chapitre II*

*Diagnostic sur les  
ressources hydriques du Souf*

---

La vallée du Souf, regroupe un certain nombre d'oasis au sein du Grand Erg oriental, et comme dans la plupart des oasis du Sahara septentrional, les seules disponibles pour l'irrigation, sont les nappes souterraines. Celles de la région du Souf, sont contenues dans des formations aquifères de natures différentes. A l'échelle régionale et du pays, les auteurs (Baba SY, 2005 ; BRL-BNEDER, 1992; Cornet, 1961; Castany, 1982 ; UNESCO, 1972a) distinguent généralement deux ensembles géologiques qui contiennent les ressources en eau souterraine d'épaisseur et de caractéristiques hydrogéologiques variables.

## **II.1. Ressources en eaux souterraines :**

La wilaya d'El Oued présente des potentialités en eau assez importantes, représentées par trois types d'aquifères, l'un libre correspondant à la nappe phréatique, les deux autres sont captifs, correspondant aux nappes multicouche du complexe terminal et la nappe du continental intercalaire.

### **II.1.1. La Nappe phréatique :**

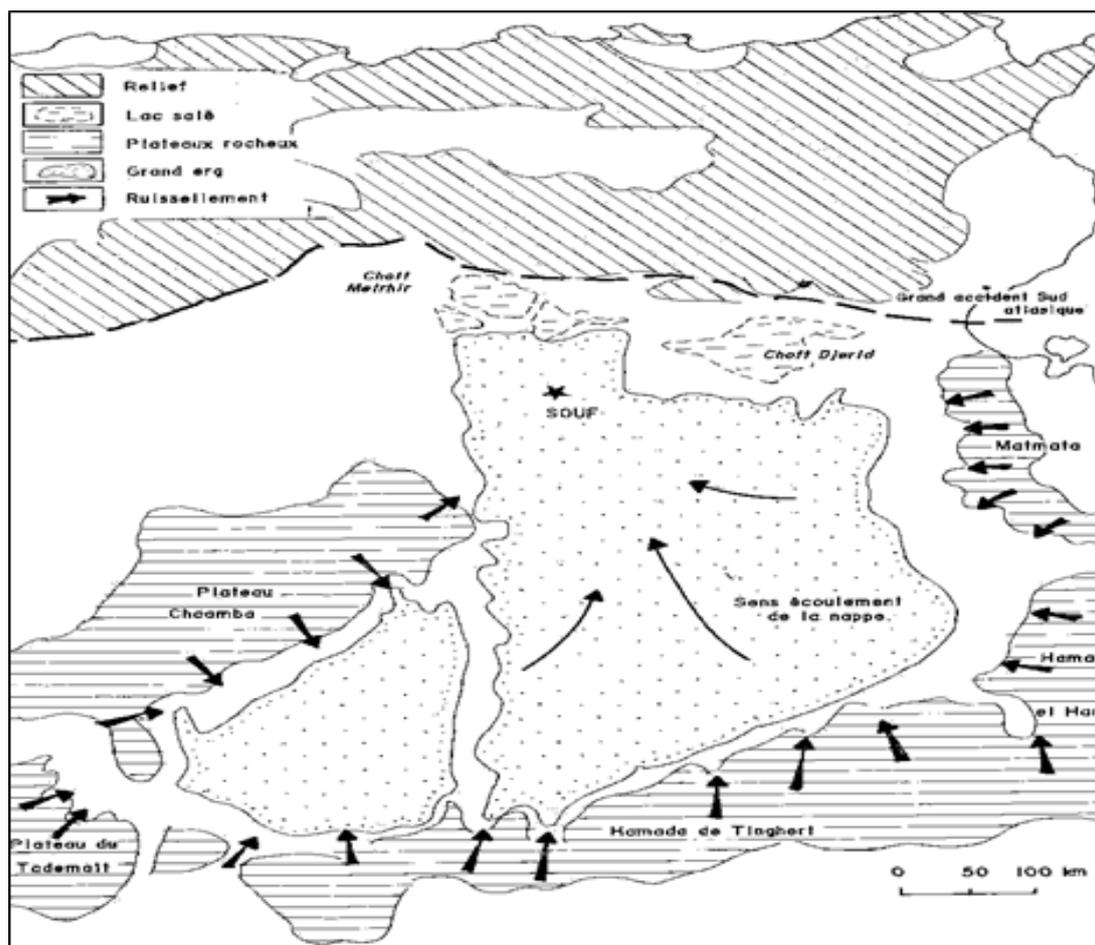
L'eau phréatique partout dans le Souf, repose sur le plancher argilogypseux du Pontien supérieur. La zone d'aération qui sépare la surface de cette eau de la surface du sol, ne dépasse pas une profondeur moyenne de plus de 40 m de sable non aquifère (Voisin A.R, 2004).

L'alimentation de la nappe phréatique dans la zone d'étude est assurée par l'infiltration des eaux de forages profonds (CT et CI) et par les rares et faibles précipitations typiquement sahariennes.

Les études passées montrent d'une manière générale, comme d'ailleurs dans tout le Bas-Sahara que le sens de l'écoulement des eaux de la nappe libre est du Sud vers le Nord (**Figure.II.1**).

L'aquifère quaternaire du Souf présente une épaisseur moyenne de 40 m. Son substratum est structuré en de nombreuses dépressions, dômes et sillons. Il affleure au Nord-ouest de la région de Foulia et se situe à moins de 10 m de profondeur à l'extrémité Nord-Est de la région d'étude. (Zaiz ; 2015).

Cette nappe a engendré un problème néfaste pour l'environnement dans certaines zones de la région de la vallée.



**Figure (II.1):** Zone d'alimentation de la nappe phréatique et le sens d'écoulement

(Cote Marc, 2006)

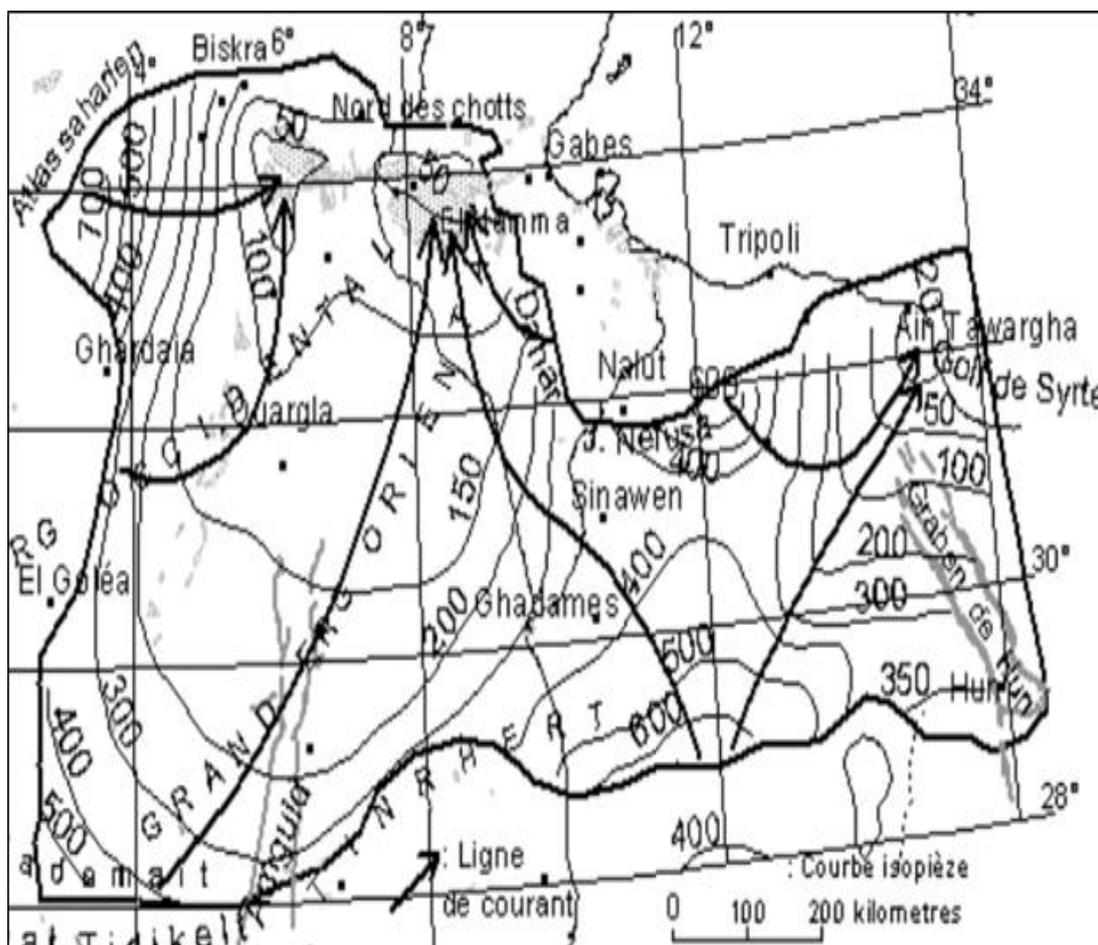
### II.1.2. Complexe Terminal C.T :

Selon la définition de Kilian C (1931), le terme « Continental terminal » désignait les formations continentales, argileuses et sableuses du Miopliocène. Mais d'après BEL et DEMARGNE (1966) : « La nappe du Continental Terminal 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 Continental Terminal, par opposition au Continental Intercalaire».

C'est avec le projet ERESS que l'on verra apparaître la notion du «Complexe Terminal», appellation publiée pour la première fois par BEL et Cuche ; 1969 : ce terme de « nappe du Complexe Terminal » qui groupe sous une même dénomination plusieurs aquifères situés dans des formations géologiques différentes, a été retenu car ces nappes font bien partie d'un même ensemble hydraulique. Les intercommunications entre Sénonien, Eocène et Miopliocène sont

évidentes sur l'ensemble du Bassin, à l'exception de la région des Chotts où l'Eocène moyen et supérieur imperméable vient s'intercaler. La nappe turonienne est plus individualisée par suite de la couverture imperméable du Sénonien lagunaire. Cependant, ces niveaux concordent avec ceux du Sénonien ou du Miopliocène sur la bordure du bassin.

Les terrains constitutifs du Complexe Terminal s'étendent sur une superficie de 350 000 km<sup>2</sup> d'environ (**Figure II.2**) en Algérie et en Tunisie couvrant ainsi essentiellement la majeure partie du bassin oriental et l'ensemble du Sahara septentrional, depuis la Saoura à l'Ouest jusqu'au Graben de Hun (et même jusqu'au Golfe de Syrte) à l'Est, depuis l'accident Sud-Atlantique au Nord jusqu'au flanc Nord des plateaux de Tademaït et du Tinhert en Algérie, de Gargaf (Nord du Fezzan) en Libye. Son extension longitudinale est donc au moins égale à celle du Continental Intercalaire (1600 km), tandis que sa hauteur dans le sens Nord-Sud est plus réduite (600 km) (BRL-BNEDER, 1992).



**Figure (II.2):** Limites de l'aquifère du Complexe terminale avec les niveaux piézométrique et les sens d'écoulement (Baba SY et al. 2006)

L'écoulement dans le bassin Occidental se produit dans des zones d'affleurement du piedmont vers le Sud (limite Sud du Grand Erg et zone d'affleurement du Continental Intercalaire). A l'extrême Ouest, une partie de cet écoulement est interceptée vers le sillon de la Saoura. Et à partir de la dorsale du M'Zab, l'ensemble de l'écoulement converge vers la zone des Chotts (c'est-à-dire qu'il se renverse et s'effectue du Sud vers le Nord sous le Grand Erg Oriental).

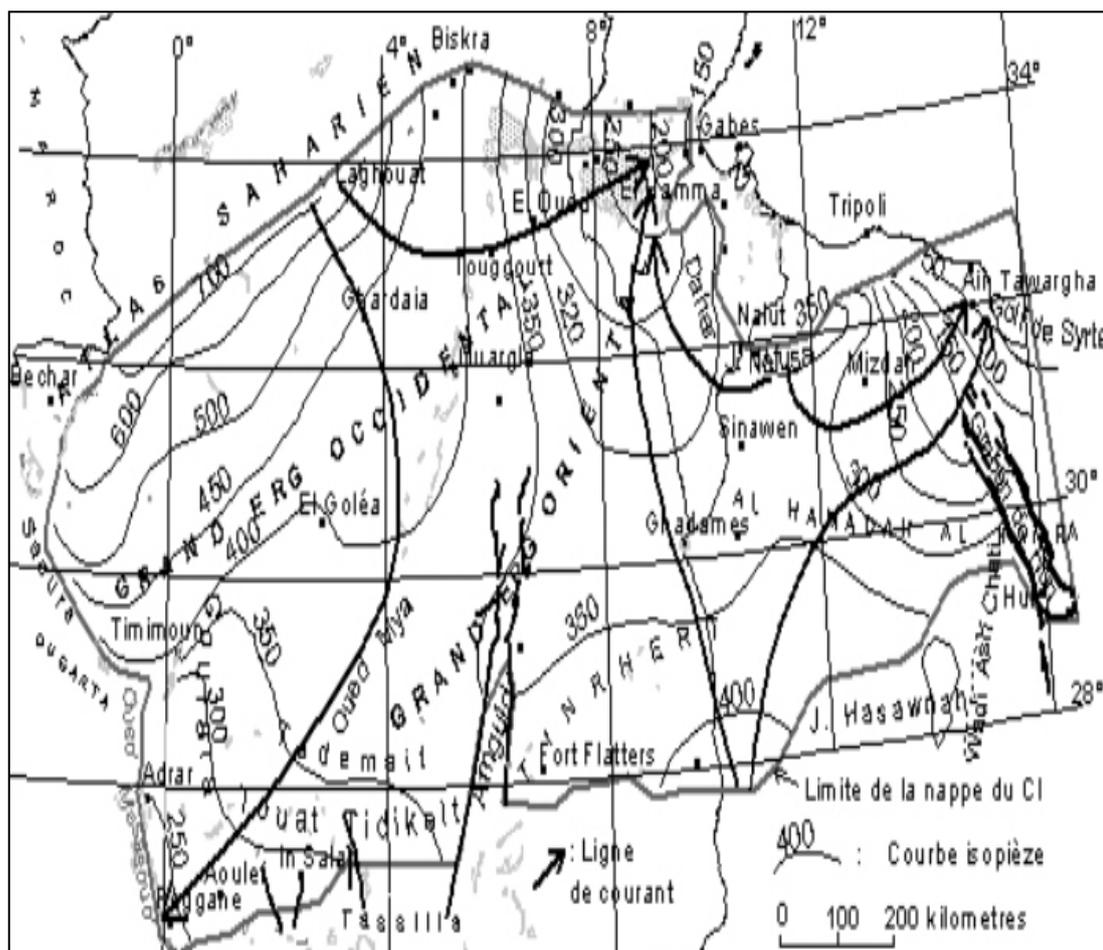
Dans le Sud tunisien et en Libye cette direction d'écoulement vers le Nord-Ouest puis vers le Nord se poursuit, avec un fort gradient en Libye par suite de la réduction de transmissivité du réservoir (BRL-BNEDER ; 1992).

D'après Baba SY ; 2005, les nappes du Complexe Terminal sont essentiellement alimentées sur les bordures relativement arrosées du bassin, par infiltration directe sur les affleurements calcaires (Sénonien, Eocène inférieur, Turonien), ou à travers des nappes d'inféoflux des oueds : bordure Sud- Atlasique, M'Zab, Jebel Tebaga, Dahar, Jebel Nefousa. Dans les deux grands ergs (Occidental et Oriental), par infiltration de pluies exceptionnelles à travers des formations dunaires perméables (BRL-BNEDER ; 1992). Et à l'Est du Djérid, la partie nord de la "chaîne" des Chotts est considérée comme source de recharge potentielle.

Les zones d'exutoire sont principalement centrées sur les Chotts Algéro- Tunisiens et sur le Golfe de Syrte, où les nappes sont artésiennes sous couverture semi-perméable peu épaisse (**Figure II.4**). Les sources constituent également un autre exutoire. La plupart d'entre elles ont aujourd'hui disparu à cause de la baisse du niveau des nappes, et les seules qui subsistent, se localisent dans les chotts.

### II.1.3.Nappe du Continental Intercalaire C.I :

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 km<sup>2</sup> (**Figure II.3**). 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. 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 N-W du bassin, jusqu'à la ville de Hun ((sud-est de Libye). Les premiers aillissements de l'eau obtenus en genèse de l'Albien.

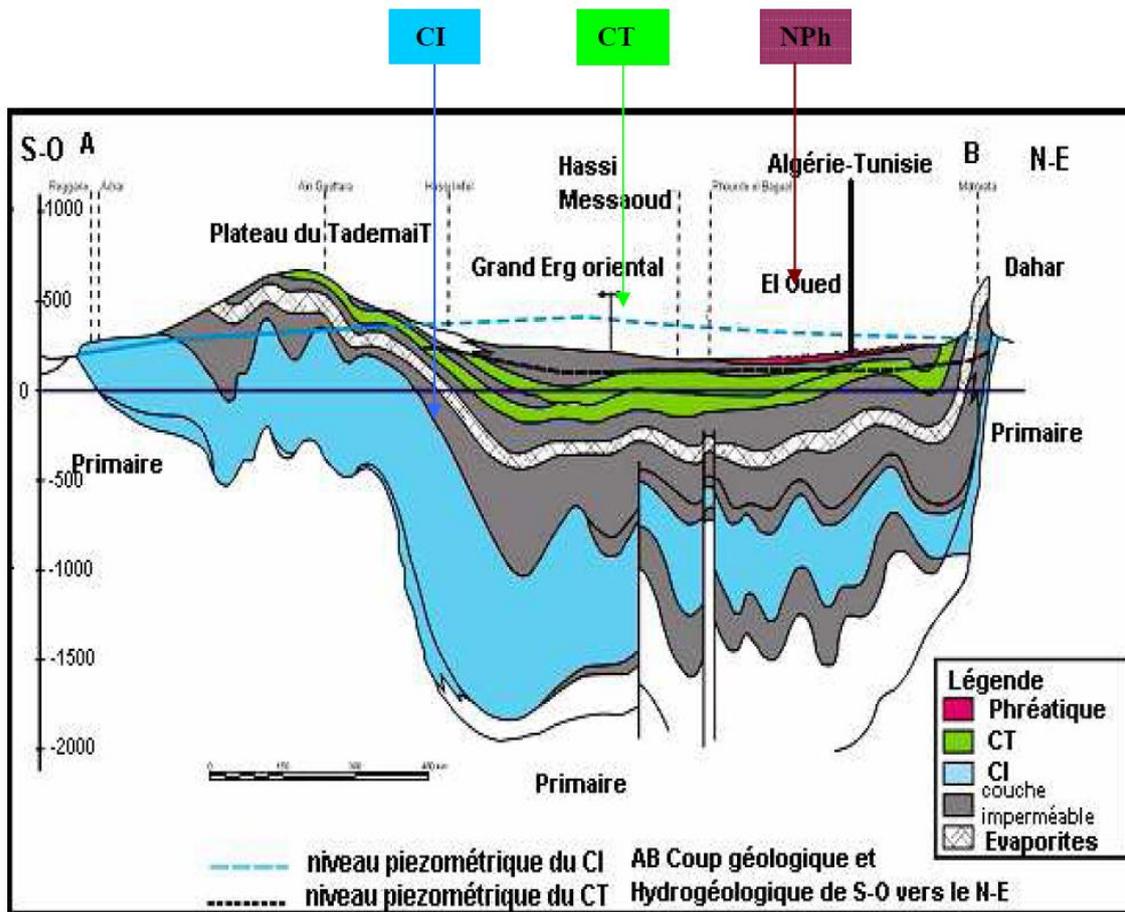


**Figure (II.3)** : Limite de l'aquifère du Continental Intercalaire avec les niveaux piézométriques et le sens d'écoulement (Baba SY et al. 2006).

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)Jebel Nafusa au Nord-est, e) Jebel Hassawna au Sud, où la nappe du Cambri Ordovicien est drainée vers le Nord par la nappe du Continental Intercalaire (**Figure II.3**).

L'exutoire naturel principal de l'aquifère est situé en Tunisie. Il consiste en des remontées verticales par failles dans la zone du Chott Fedjaj et à un écoulement vers la nappe de la Geffara tunisienne par l'intermédiaire des failles d'El Hamma et de Medenine. Et les bordures occidentales et méridionales du Tademaït constituent aussi une zone d'exutoire naturelle importante, probablement jalonnée anciennement par des sources, dont les foggaras ont pris la relève. L'eau non captée s'évapore dans un chapelet de sebchas qui occupent le fond des dépressions du Gourara, du Touat et du Tidikelt. Par ailleurs, des transferts verticaux à partir du Continental Intercalaire vers le Complexe Terminal existent peut-être à la faveur des fractures qui jalonnent la dorsale d'Amguid-El Biod. Sur le reste du domaine, mis à part la zone de communication possible avec le Complexe Terminal sur le Grand Erg Occidental (**Figure II.4**),

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<sup>e</sup> Siècle (Cornet, 1961; UNESCO, UNESCO 1972a ; BRL-BNEDER1992)



**Figure (II.4) :** Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara Septentrionale (UNESCO, 1972)

Avant l'utilisation des deux nappes CT et CI, les fellahs Soufis exploitent la nappe phréatique qui a pour profondeur dans l'Oasis du Souf entre 02 et 60 m, cette nappe superficielle a permis l'entretien de plusieurs palmiers, elle est exploitée dans toute la cuvette du bas Sahara par des puits traditionnels. Par exemple : dans l'Oasis du Souf, cette nappe est exploitée par plus de 31000 puits. (DSA 2016).

Les différents développements populaires et agricoles dans la région du Souf nécessitent l'exploitation des nappes profondes pour satisfaire ces besoins augmentés

## II.2.L'importance des aquifères CT et CI:

L'importance de ces aquifères représente à la satisfaire des besoins en eaux qui sont provenus de l'augmentation de la population et l'extension des cultures après le rabattement de niveau de la nappe traditionnelle.

Selon (Miloudi ; 2008) ; La cause principale qui pousse à réaliser les forages profonds artésiens dans la région du Souf, c'est le manque de l'eau et par un autre mot la baisse de la nappe phréatique à cause du développement de débit extrait par l'agriculteur pour l'irrigation.

### II.2.1.Le début d'exploitation des nappes profondes :

En 1953 à Sif El Menadi (90 Km N.O d'El Oued) fut exécuté le premier forage profond artésien de prospection. Foré à 435 m de profondeur, il a débité quelques 4 m<sup>3</sup> par minute et a permis la première plantation de palmiers irrigués (Najah A, 1970).

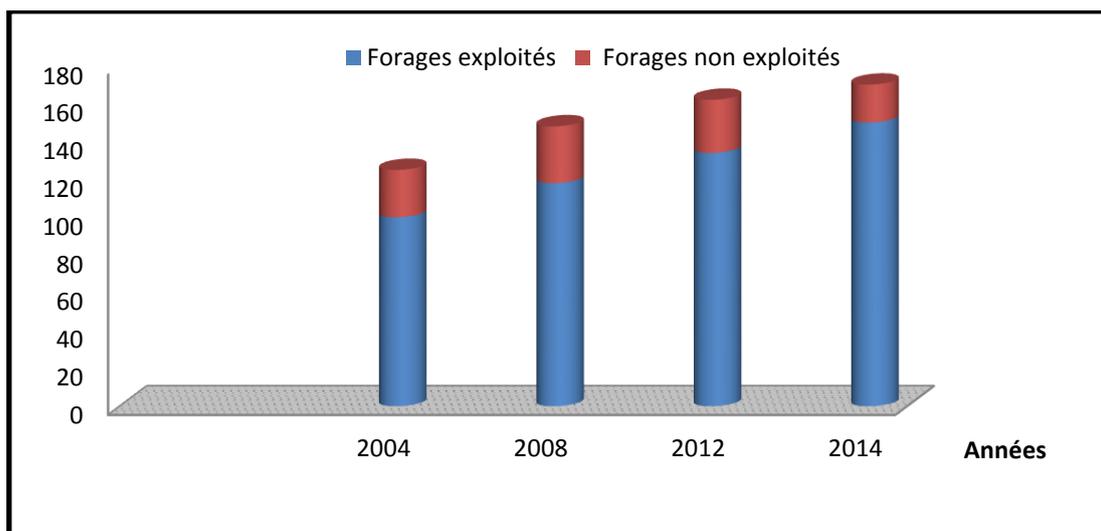
Dans la région du Souf, l'eau jaillit depuis le printemps 1956 d'un forage exécuté à El-Oued, à près de 300 m de profondeur; le débit est assez faible (3,3 litres/seconde) et la pression au sol est assez réduite (+2,4 mètres) (Voisin A.R, 2004).

De 1957 à 1969, un nouveau forage par année a été exécuté dans le Complexe Terminal ; et, environ de 2 forages par année de 1970 à 1980.

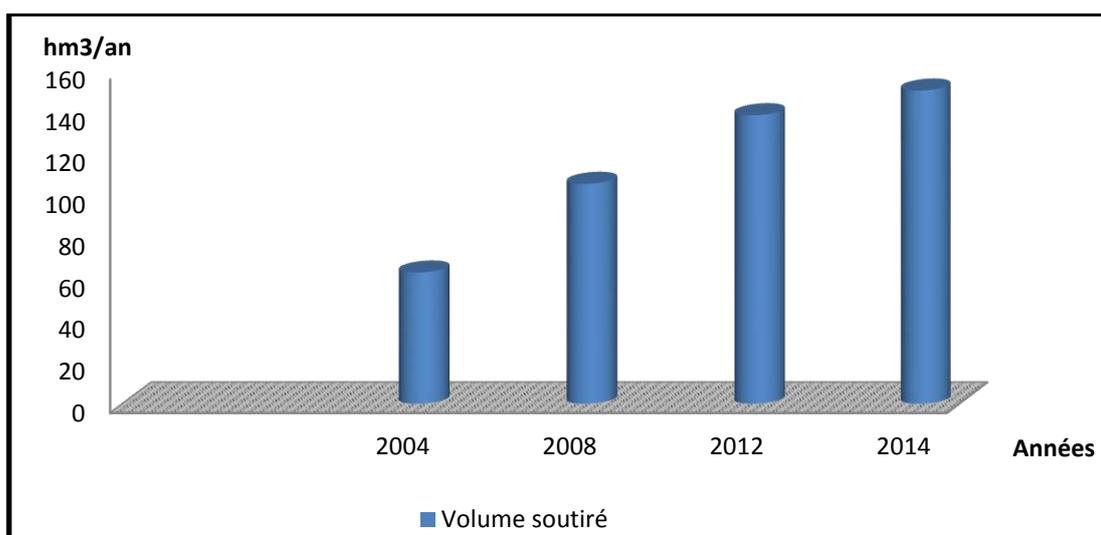
Entre 1980 et 1997, une centaine de nouveaux forages sont réalisés dans le Complexe Terminal.

En 1986 et 1987, trois forages profonds, au Continental Intercalaire (C.I.), ont été exécutés, deux d'entre eux sont exploités pour l'AEP d'El Oued, le troisième Hassi-Khalifa, pour l'agriculture, Ils sont fortement artésiens, sont de 5 à 10 fois plus importants que ceux des forages dans le CT (Khechana ; 2007).

Avec le temps, le nombre des forages étendus pour atteindre à l'année 2014 ,146 forages exploités la nappe de CT et 4 forages exploités la nappe de CI. **Les Figures (II.5) ;(II.6)** exposent l'accroissement rapide de nombre des forages profonds ; ainsi que les volumes soutirés dans la région du souf.



**Figure (II.5) :** Les nombres des forages profonds dans la région du Souf à la dernière décennie (DHW, 2016).



**Figure (II.6) :** L'accroissement des volumes soutirés dans la région du Souf à la dernière décennie (DHW, 2016).

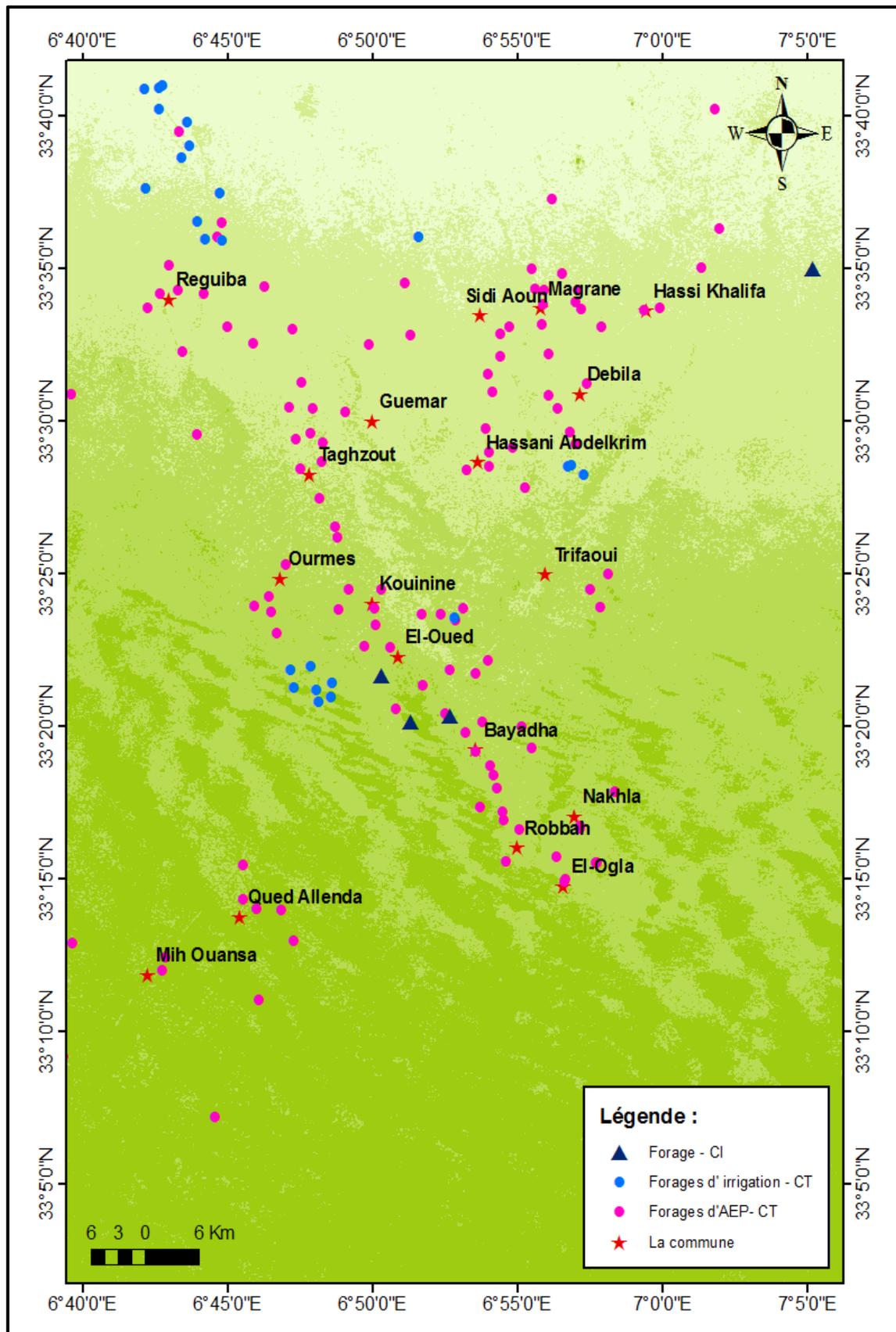
### II.3.Constat de l'exploitation des nappes CT et CT :

#### II.3.1.La nappe du Complexe Terminal :

Dans la région d'El-Oued le faciès chimique dominant des eaux de la nappe du CT est sulfaté magnésien. Les eaux de cet aquifère présentent un résidu sec variant entre 1.6 à 2.7g/l. Sa zone de production se situe entre 200 et 500 m, le débit moyen par forage varie entre 25 et 35 l/s. (ANRH 2005).

La nappe du complexe terminal (CT) dans la vallée d'Oued-Souf est très sollicitée notamment pour l'AEP, l'inventaire 2015(DHW ; 2016) a montré qu'il y'a 146 forages captés

cette dernière dont 122 sont utilisés pour l'alimentation en eau potable et 24 forages sont utilisés pour l'irrigation. **Figure (II.7)**



**Figure (II.7) :** Carte d'inventaire des Forages du CT et CI sur la vallée d'Oued-Souf (2015)

**Volumes soutirés :**

Afin d'évaluer le volume d'eau total soutiré des nappes par le biais des forages en exploitation, il a été jugé utile de scinder le territoire de la wilaya d'El-Oued selon la densité des forages dans les zones. La répartition des forages par usage avec les volumes fréquentiels sont indiqués dans le tableau suivant.

Commune	AEP	IRR	Volume soutiré (m <sup>3</sup> /an)
	V (m <sup>3</sup> /an)	V (m <sup>3</sup> /an)	
<b>El-oued</b>	11103826	4304664	15408489,6
<b>Kouinine</b>	2479781	/	2479781
<b>Ourmes</b>	18112702	/	18112702
<b>Tagzout</b>	1460064	/	1460064
<b>Guemar</b>	57666730	2641140	60307870
<b>Reguiba</b>	4997668	5441274	10438942
<b>Hassani A K</b>	2491081	/	2491081
<b>Trifaoui</b>	967235	/	967235
<b>Hassi Khalifa</b>	1764702	/	1764702
<b>Magrane</b>	4530541	/	4530541
<b>Sidi Aoun</b>	1794661	65700	1860361
<b>Bayadha</b>	3770313	/	3770313
<b>Robbah</b>	3632947	/	3632947
<b>Nakhla</b>	2513682	/	2513682
<b>Ogla</b>	1620950	/	1620950
<b>Oued Allanda</b>	1036089	/	1036089
<b>Mih Ouensa</b>	2387407	/	2387407
<b>Debila</b>	4291918	1879020	6170938
<b>Totaux</b>	126622296	14331798	140954094

**Tableau (II. 1) :** Répartition des volumes par usage.

Source : (DHW, 2016)

Les résultats de cet inventaire permettent de déterminer le volume soutiré de la nappe CT à travers la vallée d'Oued-Souf qui est de l'ordre de 140.95 millions de m<sup>3</sup>/an ; 90 % du ce volume d'eau mobilisé destiné à l'AEP et 10 % destiné à l'irrigation.

### II.3.2. La nappe du Continental Intercalaire :

C'est un système aquifère multicouches dont la profondeur atteint localement 2000 mètres Elle est captée par quatre forages artésiens (3forages sont en exploitation et un nouveau forage est non exploité jusqu'à maintenant) (**Tableau II.2**), d'une profondeur de 1850 m. La pression en tête de forage est de 22 à 23 bars et le débit artésien de 222 l/s. La température et la pression des eaux sont élevées, elles sont estimées respectivement à 60°C et 26 bars à la sortie du forage. (Khechana ; 2007)

Nom du forage	Commune	Coordonnées		Débit extrait (L/S)	Usage
		X	Y		
<b>El-Oued DW 101</b>	<b>El-Oued</b>	6,839°	33,361°	100	AEP
<b>Chauhada DW 102</b>	<b>El-Oued</b>	6,878°	33,339°	100	AEP
<b>19 mars</b>	<b>El-Oued</b>	6,855°	33,336°	-	AEP
<b>Sahn Berry</b>	<b>Hassi Khalifa</b>	7,087°	33,583°	120	AEP
<b>Débits total</b>	-	-	-	320	-

**Tableau (II.2):** Coordonnées et débits des forages au CI de la vallée d'Oued-Souf

Source : (DHW ,2016)

A partir le tableau ci-dessus, les prélèvements de cette nappe atteint 320 l/s. Donc le volume mobilisé de cette nappe est de l'ordre de 10091520 m<sup>3</sup>/an

Les réserves de cette nappe peuvent permettre l'irrigation de 100 000 hectares pendant 200000 ans ; les prélèvements actuels sont de l'ordre de 5 m<sup>3</sup>/s (Cote ; 2006).

Le tableau suivant expose les différents minéraux contenus dans un litre d'eau de l'Albien Prélevée a partir les forages DW101 et DW102

Sels dessous	DW101	DW102
<b>Conductivité (mS/cm)</b>	2.46	2.39
<b>Ca<sup>+2</sup> (mg/l)</b>	153	163
<b>Mg<sup>+2</sup> (mg/l)</b>	93	100
<b>Na<sup>+</sup> (mg/l)</b>	263	228
<b>K<sup>+</sup> (mg/l)</b>	34	34
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l)</b>	120	134
<b>Cl<sup>-</sup> (mg/l)</b>	462	374
<b>SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> (mg/l)</b>	825	790
<b>F<sup>-</sup> (mg/l)</b>	0.38	0.36

**Tableau (II.3) :** Quantité des différents minéraux contenus dans un litre d'eau de l'Albien

Source : (ADE, 2016)

**Conclusion:**

La croissance démographique a conduit à une consommation importante en ressources hydriques aussi bien pour satisfaire les besoins urbains que les besoins agricoles (passage du système traditionnel des ghouts au système d'irrigation par pivots utilisant des débits importants en provenance de forage).

Le volume extrait à partir les nappes du Complexe Terminal et Continental Intercalaire estimé à 151.05 millions m<sup>3</sup>/an ; 90 % du ce volume d'eau obtenu destiné à l'AEP et 10 % destiné à l'irrigation.

Cette surconsommation d'eau à générer des excédents hydriques ayant contribués au phénomène de remontée de la nappe phréatique.

---

# *Chapitre III*

*La piézométrie et la qualité des  
eaux de la nappe phréatique de  
la ville d'El-Oued*

---

Les oasis du Sahara algérien ont conduit à un recours de plus en plus important à l'exploitation des nappes d'eau souterraine, l'absence d'exutoire naturelle, l'accroissement des besoins en eau, l'agrandissement de la superficie agricoles et l'absence d'un réseau d'assainissement collectif (le réseau est partiel à El-Oued et absent dans les autres communes de la région où les eaux utilisées sont collectées individuellement dans les fosses septiques) sont les principales causes qui ont provoqué l'élévation des eaux de la nappe phréatique suivie par une dégradation environnementale.

Dans le but de maîtriser et limiter l'ampleur de la remontée de la nappe phréatique, l'État a mis en place un grand projet d'assainissement en 2005 contre la remontée de la nappe phréatique suivant un système approprié composé de 2 compartiments : réseau de drainage vertical, réseau d'assainissement des eaux usées.

La commune d'El-Oued a bénéficié d'un réseau d'assainissement et un réseau de drainage vertical, le premier est pour l'évacuation des eaux domestiques usées vers le point de rejet (Chott El Halloufa) et en but d'améliorer la qualité des eaux souterraines ; et le dernier est pour l'évacuation des eaux de zones inondées. Avec tous ces investissements ; est-ce que la ville d'El-Oued peut sortir de cette critique situation ?

Seule l'étude de la piézométrie et la qualité des eaux de la nappe phréatique avant et après la mise en service de ces ouvrages hydrauliques peut répondre à ce questionnaire au ce chapitre actuel.

Préalablement ; on va décrire le projet « Remontée des eaux de Oued Souf » avant de s'approfondir dans notre étude.

### **III.1. Description du projet « Remontée des eaux d'Oued Souf »:**

Le projet est l'une des principales solutions envisagées pour lutter contre la remontée de la nappe phréatique dans la vallée de Oued – Souf. Son principe consiste à traiter les causes directes de cette remontée ainsi que ses impacts négatifs. Le projet concerne les agglomérations de 18 communes (Bayadha, Robbah, El Oued, Kouinine, Guemar, Taghzout, Hassani Abdelkrim, Debila, Sidi Aoun, Magrane, Hassi Khelifa, Reguiba Mihouensa, Oued Alenda, Oglia, Nakhla, Ourmes et Trifaoui) situées dans la vallée de souf.

Après une étude qui a été réalisée par deux entreprises : le groupement algéro-chinois, Sinohydro-Cosider TP qui s'occuperait du réseau de drainage et d'assainissement ainsi que du collecteur principal, et GCB (génie civil, bâtiment, filiale de Sonatrach) qui a réalisé la station d'épuration. Le suivi des travaux est assuré par un bureau d'étude algéro-suisse BG (Bonard et

Gardel). Au cours de la réalisation de ce projet, le rôle de maître d'ouvrage a été confié à l'ONA. Selon (Serraye ; 2014), la réalisation de ce grand projet a pour but de :

- Rabattre ou stabiliser le niveau de la nappe ;
- Réutilisation agricole des eaux drainées ;
- Augmentation du pouvoir épurateur du sol ;
- Maintient écologique et sanitaire du site de rejet

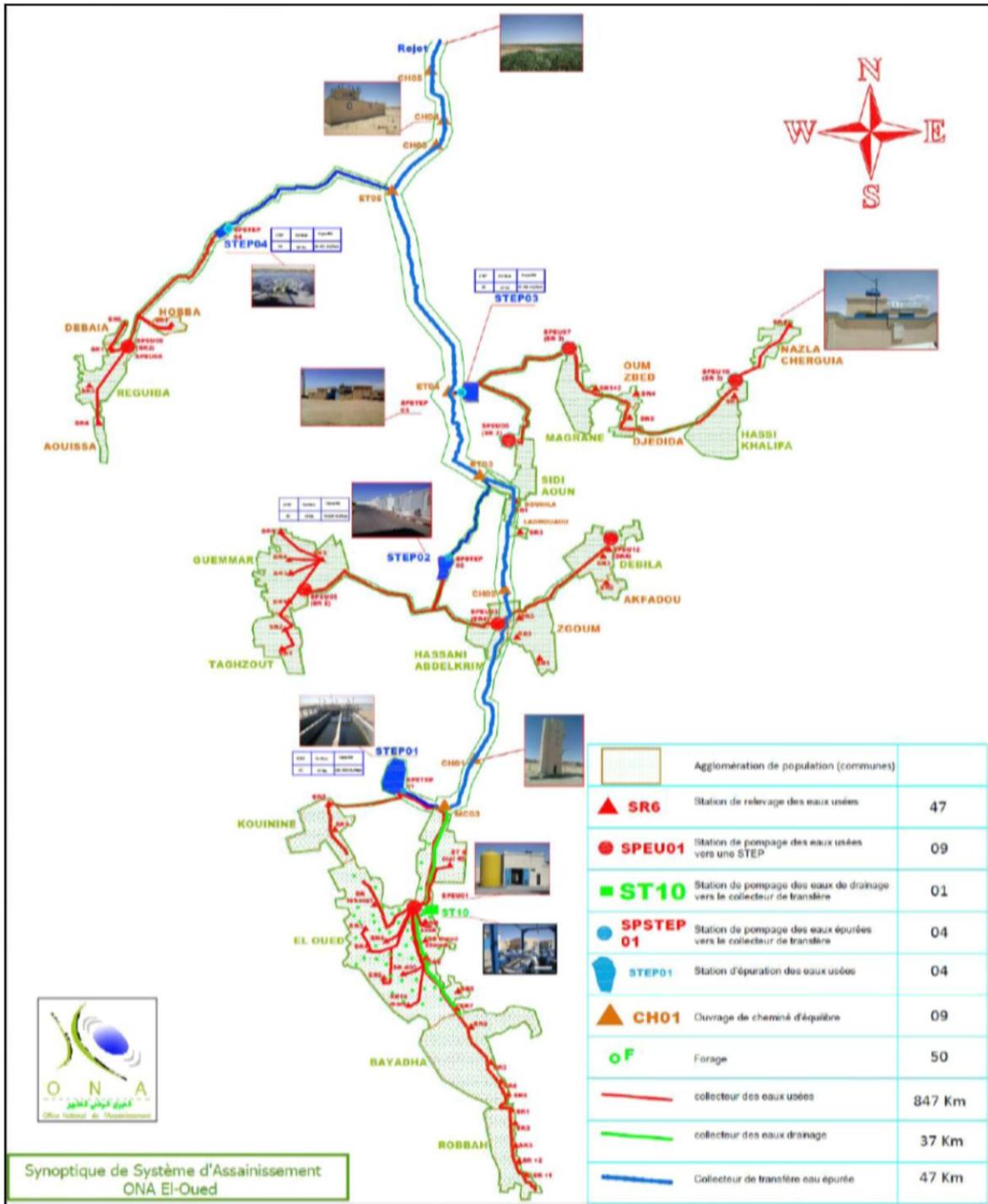


Figure (III.1): Schéma général d'assainissement actuel (ONA ; 2011)

### **III.1.1. Mise en place d'un réseau d'assainissement :**

Le nouveau réseau d'assainissement de la vallée du Souf est constitué par différents ouvrages permettant la collecte des eaux usées par groupes de localités limitrophes dans des stations d'épuration (STEP) par lagunage aéré où elles subissent un traitement. A la fin de cette opération l'eau traitée est renvoyée vers le collecteur principal pour être rejetée à 45Km au Nord de la vallée du Souf (**Figure III.1**). Et Le groupement des agglomérations entrant dans le cadre de nouveau réseau d'assainissement est comme suit :

- Groupe 1: Robbah, Bayada, El Oued et Kouinine. (STEP 1).
- Groupe 2: Taghzout, Guemar, Hassani Abdelkrim et Debila. (STEP 2).
- Groupe 3: Sidi Aoun, Magrane et Hassi Khalifa. (STEP 3).
- Groupe 4: Reguiba. (STEP 4).

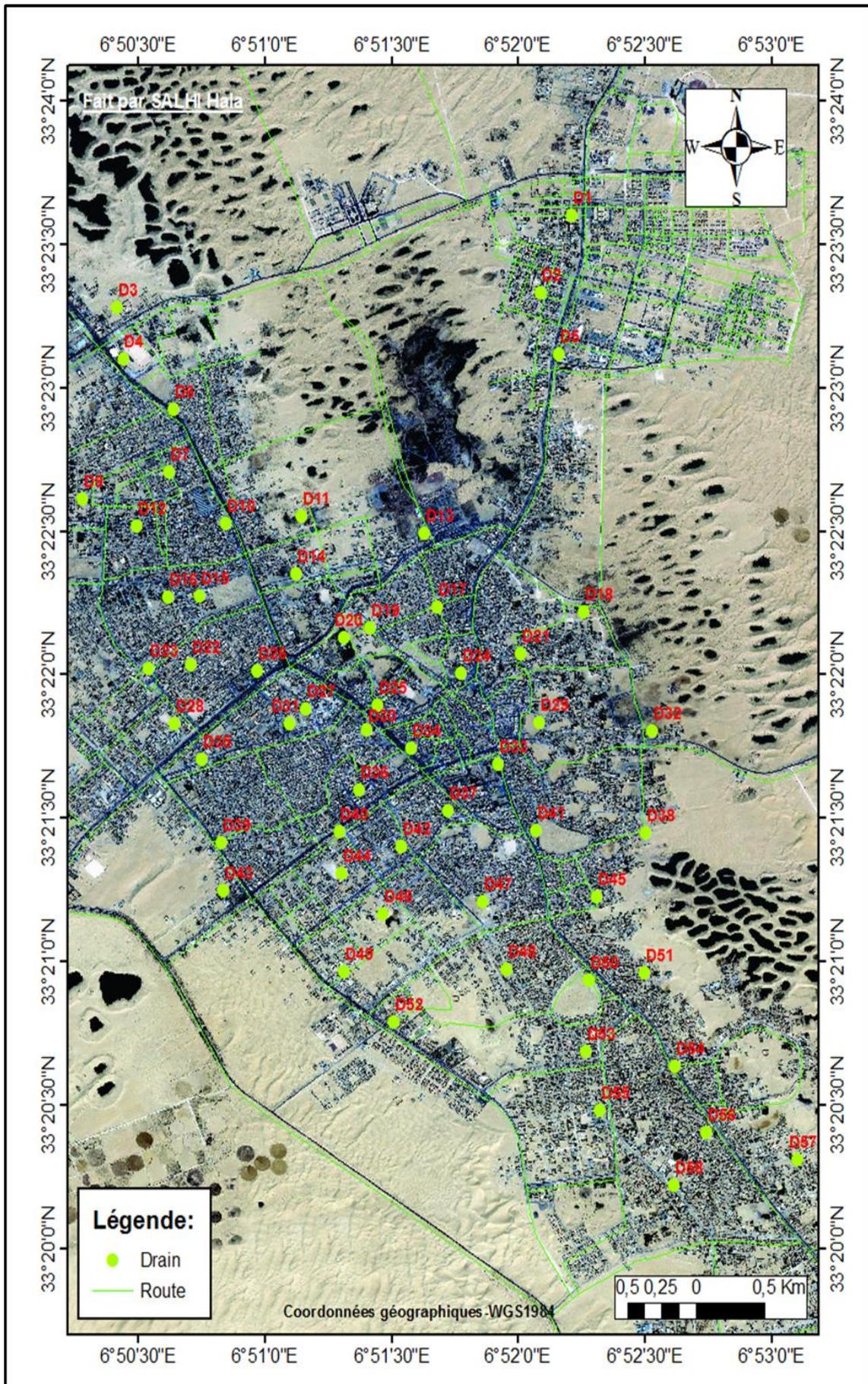
### **III.1.2.Mise en place de réseau de drainage :**

#### **A) Réseau de drainage vertical :**

C'est un système complémentaire de drainage considéré comme une solution appliquée dans le projet d'assainissement contre la remonté de la nappe phréatique. Il consiste à évacuer les eaux excédentaires agricoles par un réseau de 58,(dont 51 sont fonctionnels) puits forés de 21 à 40 mètres de profondeur (les coordonnées, les profondeurs des ouvrages des captages sont à l'annexé) , équipés de pompes submersibles pouvant débiter 6 l/s, à une distance de 500 mètres entre eux (**Figure III.2**), connectés à 37 km de conduites dans le but : d'équilibrer le bilan d'eau au niveau de la ville d'El-Oued ; stabiliser et assurer une profondeur minimum de la nappe phréatique de 1,5m dans les quartiers inondés et inverser le phénomène de remontée dans le reste de la ville et éviter que de nouvelles zones ne soient pas inondées , assurer un rabattement général entre 5 et 10m de profondeur, ce qui autorise l'assainissement autonome des zones non raccordables. (BG, 2004).

Actuellement le réseau de drainage est géré par l'Office National d'Assainissement d'El-Oued. Il a été mis en service en Octobre 2011.

Le principe du drainage est de récupérer l'ensemble des eaux d'infiltration sous l'agglomération d'El Oued par pompage dans 58 puits forés, d'utiliser une part aussi grande que possible de ces eaux sur place pour l'irrigation d'espaces verts, de collecter le solde des eaux au niveau de la station de pompage ST 10, puis de les refouler sur environ 4200 m jusqu'à le collecteur des eaux usées traitées (CET) (**Figure III.1**), au point MC3 où ce dernier collecteur, en provenance de la station d'épuration STEP 1, entame son tracé sur la route principale. (BG ; 2004)



Figure(III.2): Localisation des 58 forages de réseau de drainage vertical

Il faut noter qu'il existe un réseau de drainage horizontal.

**B) Réseau de drainage horizontal :**

Au début des années 90 ; on a enregistré le démarrage des travaux de réalisation du réseau de drainage horizontal, ce réseau du drainage est destiné essentiellement pour les zones touchées par l'inondation (cité Choot, El-coutar, Nazla et Sidi mestour). Le réseau de drainage horizontal présente 4050 m de longueur, les collecteurs sont des conduites d'amiantes ciments des trous perforés. La collecte est gravitaire et aboutit à un puits équipé par deux pompes qui ont refoulé les eaux vers la bache à eaux de la station de relèvement ST10 pour les eaux usées (**Figure III.3**), à partir de laquelle les eaux de drainage sont évacuées vers l'extérieur de la ville via une canalisation de 600 mm parallèle à celle des eaux usées.



(a) Conduite d'amiante ciment utilisée dans le réseau de



(b) Puisard



(c) L'entrée de bache à eau de station (ST10)

Conduite de refoulement de puisard

**Figure (III.3) : drainage horizontal**

### III.2. Piezometrie de la ville d'El-Oued :

#### III.2.1. La piézométrie de mois de Mai 2008 :

Les mesures piézométriques qui ont été réalisées en 2008 par l'ONA, nous ont permis d'établir une carte piézométrique. On remarque que la nappe phréatique est caractérisée par l'existence de deux zones importantes :

Une zone haute située au Sud-Ouest de la ville ; celle de la cité 19 Mars, Errimel, El-Moudjahidine, 300 et 400 logs, Amir A.k, 17 octobre et Ennour ,El-Gara (**Figure III.4**) Cette zone est caractérisée par la présence d'un dôme piézométrique d'une altitude allant de 74 à 77 m.

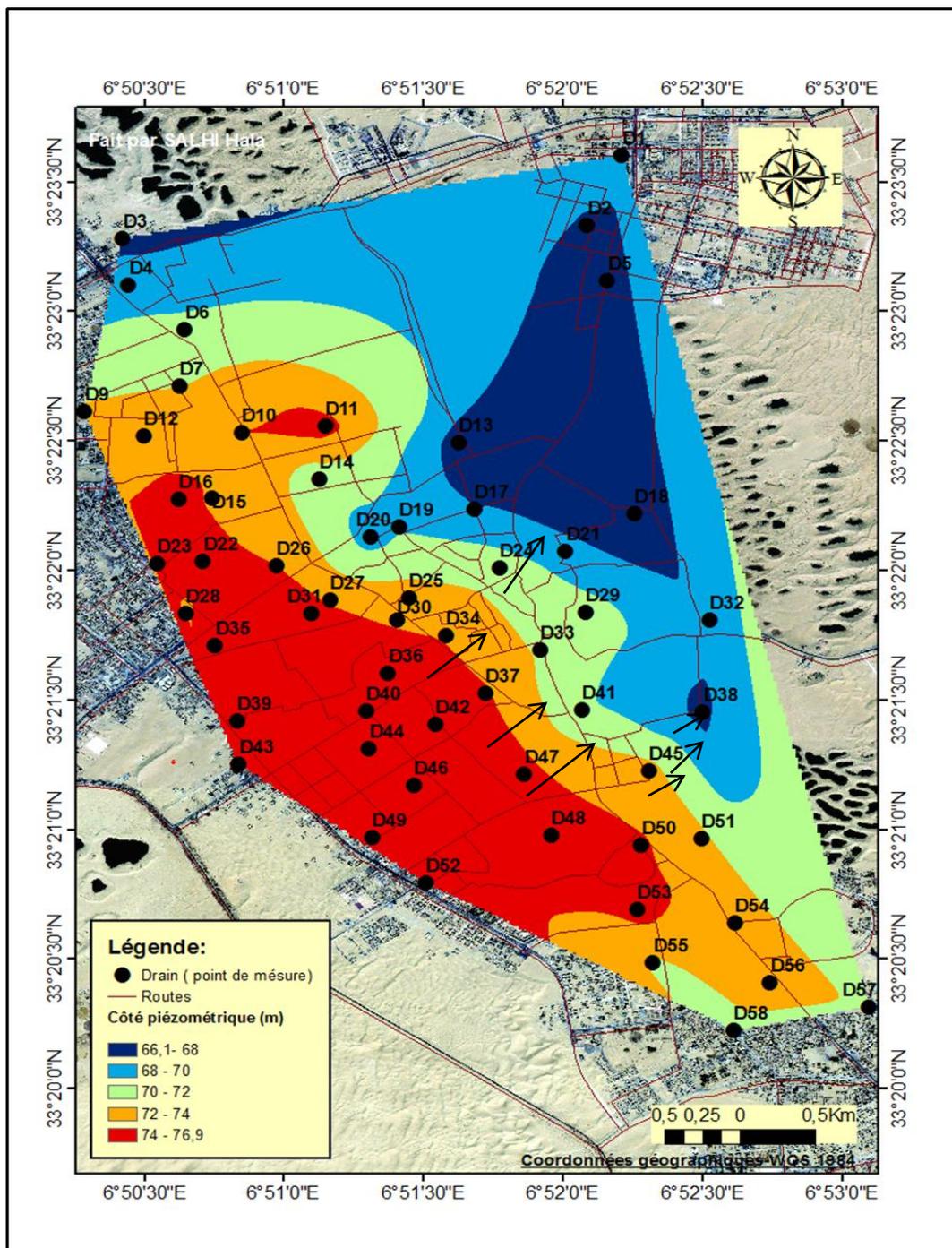


Figure (III.4) : Carte piézométrique de la nappe phréatique à l'année 2008

Une zone basse se trouve à l'entour de Chott, la périphérie de la ST10 et cité Sidi Mestour à l'Est et le N-E de la ville, avec une altitude oscille entre 66 m et 68m.

La nappe phréatique de la ville d'El-Oued présente une direction générale du Sud-Ouest vers le Nord-Est.

### III.2.2. La piézométrie du mois de Mai 2014 :

Pour suivre l'évolution de la nappe phréatique, nous avons utilisé les mesures piézométriques qui ont été déjà fait en mai 2014 par l'ONA, après la mise en marche de réseau de drainage vertical. Elles nous ont permis d'établir une carte piézométrique (Figure III.5).

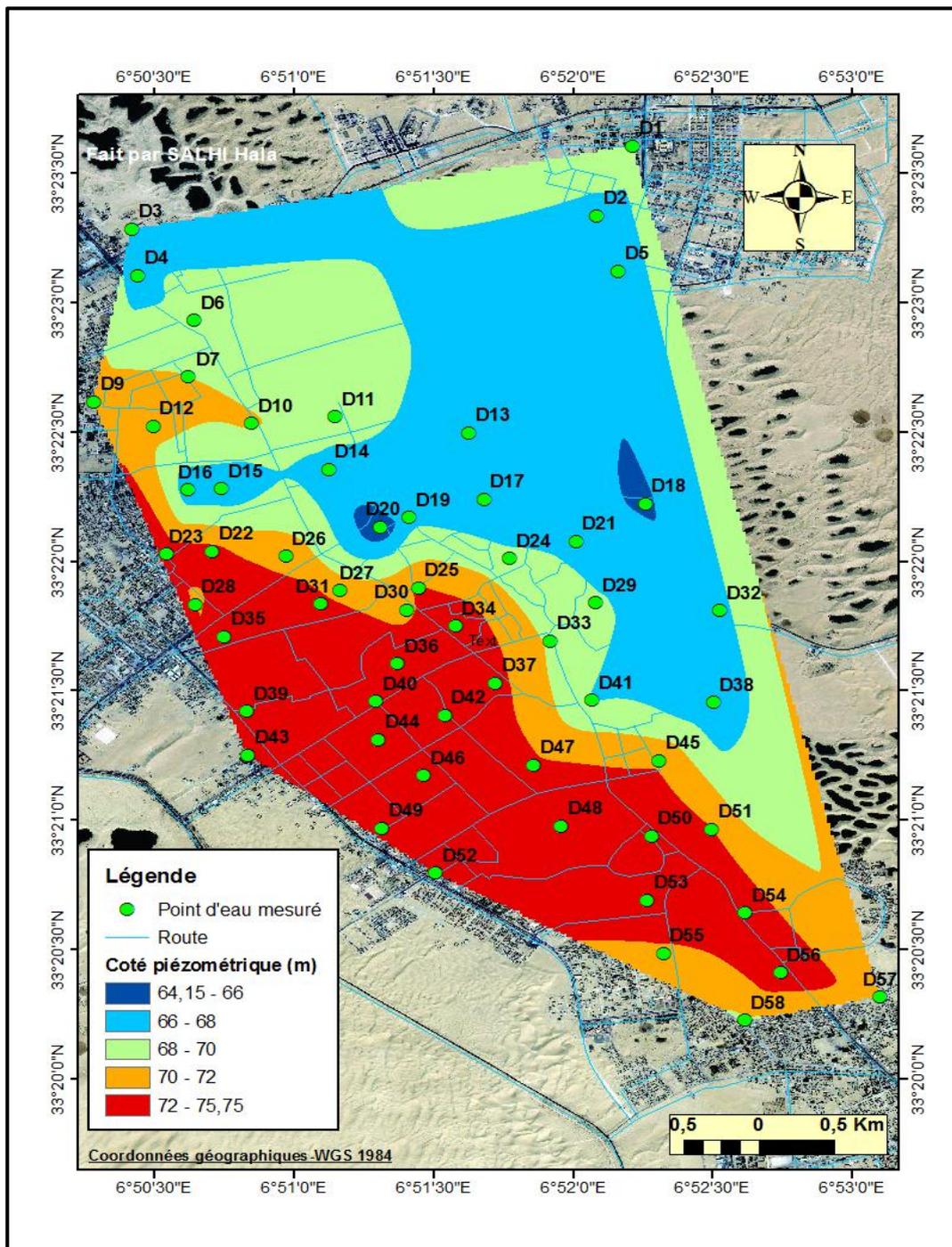


Figure (III.5) : Carte piézométrique de la nappe phréatique en 2014

L'examen de la carte montre qu'elle est caractérisée par l'existence de deux grandes zones :

La première zone, se recouvre les cités suivants : Tiksebt-Est, Chott, El-Kauthar, Nazla, El-Isteklal, El Gara-Ouest, Sidi Mestour et Ouled Ahmed caractérisée par un côté piézométrique oscille entre 64.15 et 68 m.

La deuxième zone celle de la cité d'Ennour, El-Moudjahidine, 300 Logements, Errimel, 19 Mars, El-Sahane et Chouhada caractérisée par l'existence d'un dôme piézométrique d'une altitude varie entre 72 et 75.75 m.

### **III.2.3. La piézométrie entre 2008 et 2014 :**

La carte ci-dessous (**Figure III.6**) exprime l'évolution au niveau piézométrique entre l'année 2008 et l'année 2014, un rabattement général au niveau de la nappe phréatique a été constaté. Il a atteint 8.71 m à la cité d'El-Gara. Ce rabattement est dû à la mise en service de réseau de drainage vertical, et l'augmentation du taux de raccordement au réseau d'assainissement.

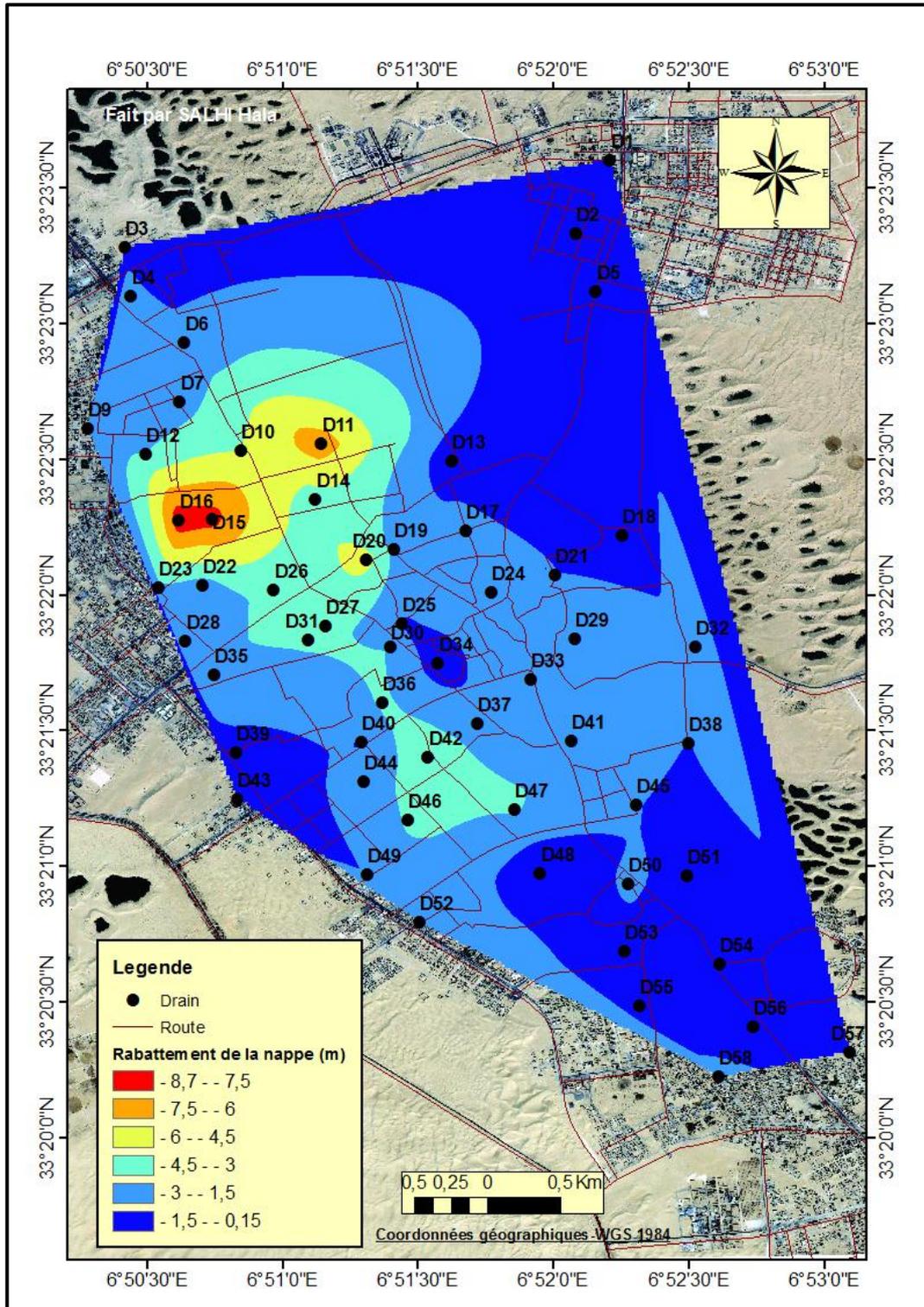


Figure (III.6) : Carte d'évolution du niveau piézométrique entre l'année 2008 et l'année 2014 de la ville d'El-Oued

III.2.4. La piézométrie du mois de Mai 2016 :

Pour suivre l'évolution de la nappe phréatique, nous avons fait des mesures piézométriques en Mai 2016 (Figure III.7). L'examen de la carte en 2016 montre que le côté le plus bas se trouve autour d'Hôtel Louss au niveau de drain D20 avec un côté piézométrique de 64.1m ; et le côté le plus haut se situe au niveau de drain D34 avec un côté atteint le 78.9m

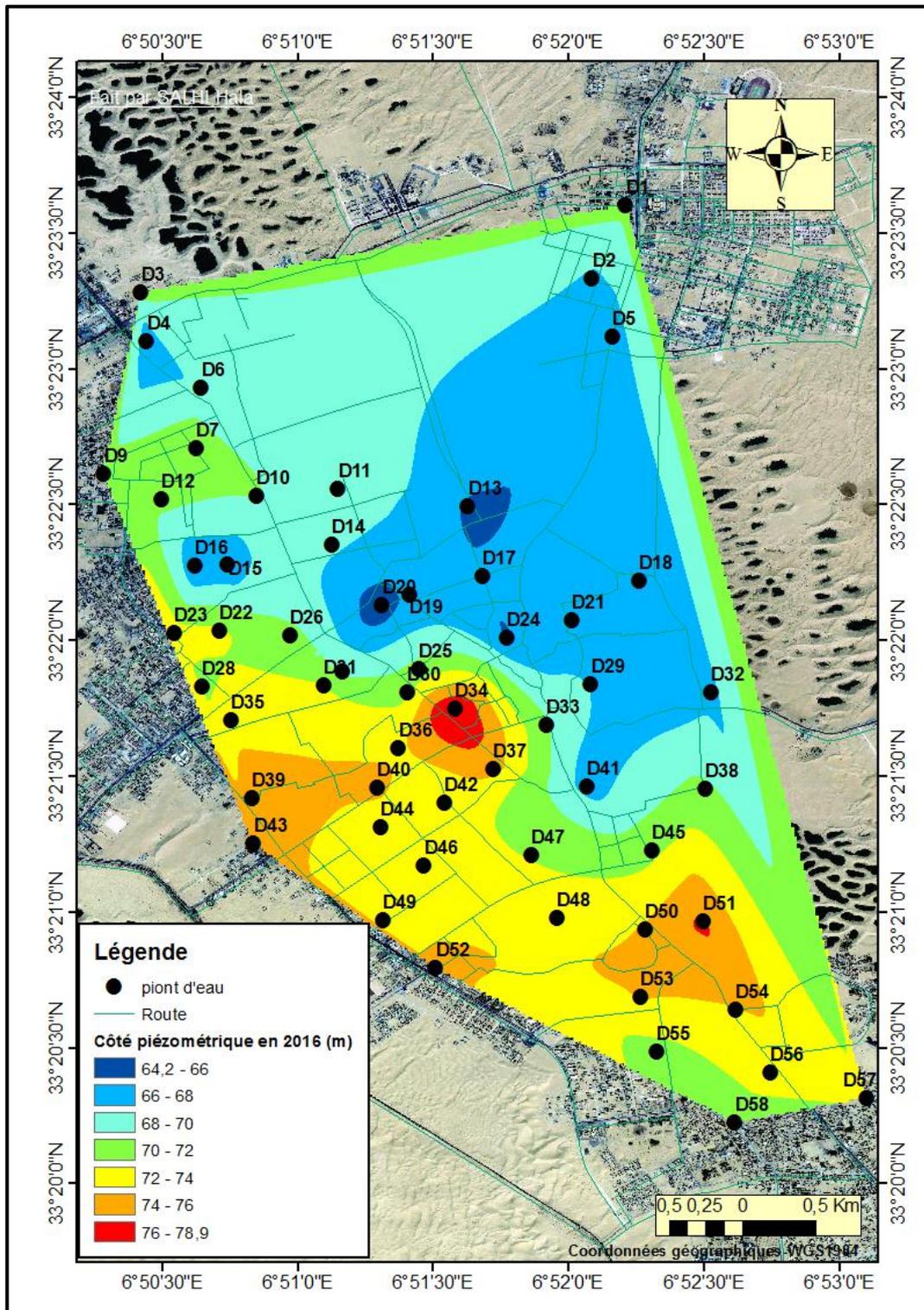
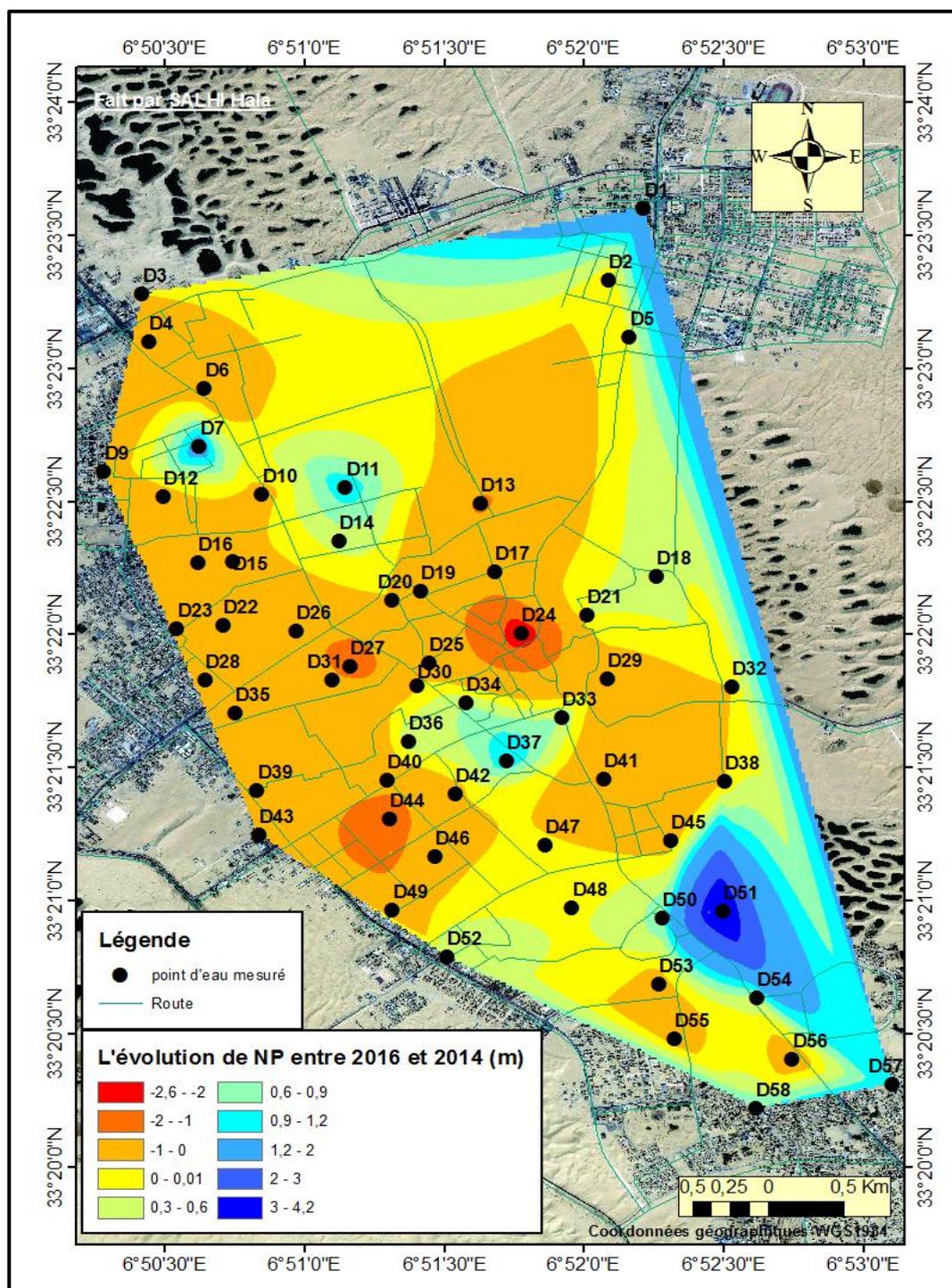


Figure (III.7) : Carte piézométrique de la nappe phréatique en Mai 2016.

### III.2.5. La piézométrie entre 2014 et 2016 :

Parmi la carte d'évolution de NP entre l'année 2016 et 2014 (**Figure III.8**), on relève l'apparition de trois catégories intéressantes :

La 1<sup>ère</sup> catégorie caractérise le groupe des drains qu'a connu un rabattement qui a atteint le 1m en certains points. (Le cas de D4, D12, D41, D49...etc.)



**Figure (III.8) :** Carte d'évolution du niveau piézométrique entre l'année 2014 et l'année 2016 de la ville d'El-Oued

La 2<sup>ème</sup> catégorie caractérise le groupe des drains qui a gardé la même structure que précédemment (gardé le même niveau que celle de l'année 2014), comme les drains D2, D3, D20...etc.

La 3<sup>ème</sup> catégorie caractérise les forages qui ont connu une remontée plus de 3m, cette remontée peut s'expliquer par la diminution du débit de pompage (D51) ou par l'alimentation en eaux d'irrigation et des rejets domestiques

Généralement, la remontée au niveau de la nappe dans les autres points (drains) est générée par l'arrêt des drains pour des raisons techniques (D1, D34, D7) ; l'absence des équipements de pompage (le forage n'est pas équipé de pompe et des conduites depuis sa réalisation) comme le cas de drains D18 ; la diminution du taux de raccordement au réseau d'assainissement (D58, D57, D50...); l'alimentation par les nappes profondes ( fuites des canalisations d'AEP ; irrigation intensive).

### **III.3. La qualité des eaux de la nappe phréatique de la ville d'El-Oued :**

Dans le cadre de cette étude, on a effectué un échantillonnage au niveau de quarante points d'eau sélectionnés dans le réseau de drainage vertical durant le mois d'Avril 2016. Ces analyses ont été effectuées au sein de laboratoire de l'Office National d'Assainissement (ONA)

Les paramètres analysés sont :

- La conductivité, la température, PH et la Salinité,
- Les indicateurs de pollution : DBO<sub>5</sub>, DCO, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> et MES,
- Les métaux lourds : Zn, Cu et CN

Les prélèvements sont effectués dans des flacons bien propres en polyéthylène stérilisés, étiquetés sur lesquels on a mentionné le lieu, la date et l'heure du prélèvement de l'eau. Après l'étiquetage des prélèvements, ils sont transportés au laboratoire dans une glacière à une température comprise entre 4°C et 6°C dans les 24 heures afin d'assurer une conservation satisfaisante du Sud-Ouest vers le Nord-Est.

#### **III.3.1.Discussion et interprétation des résultats:**

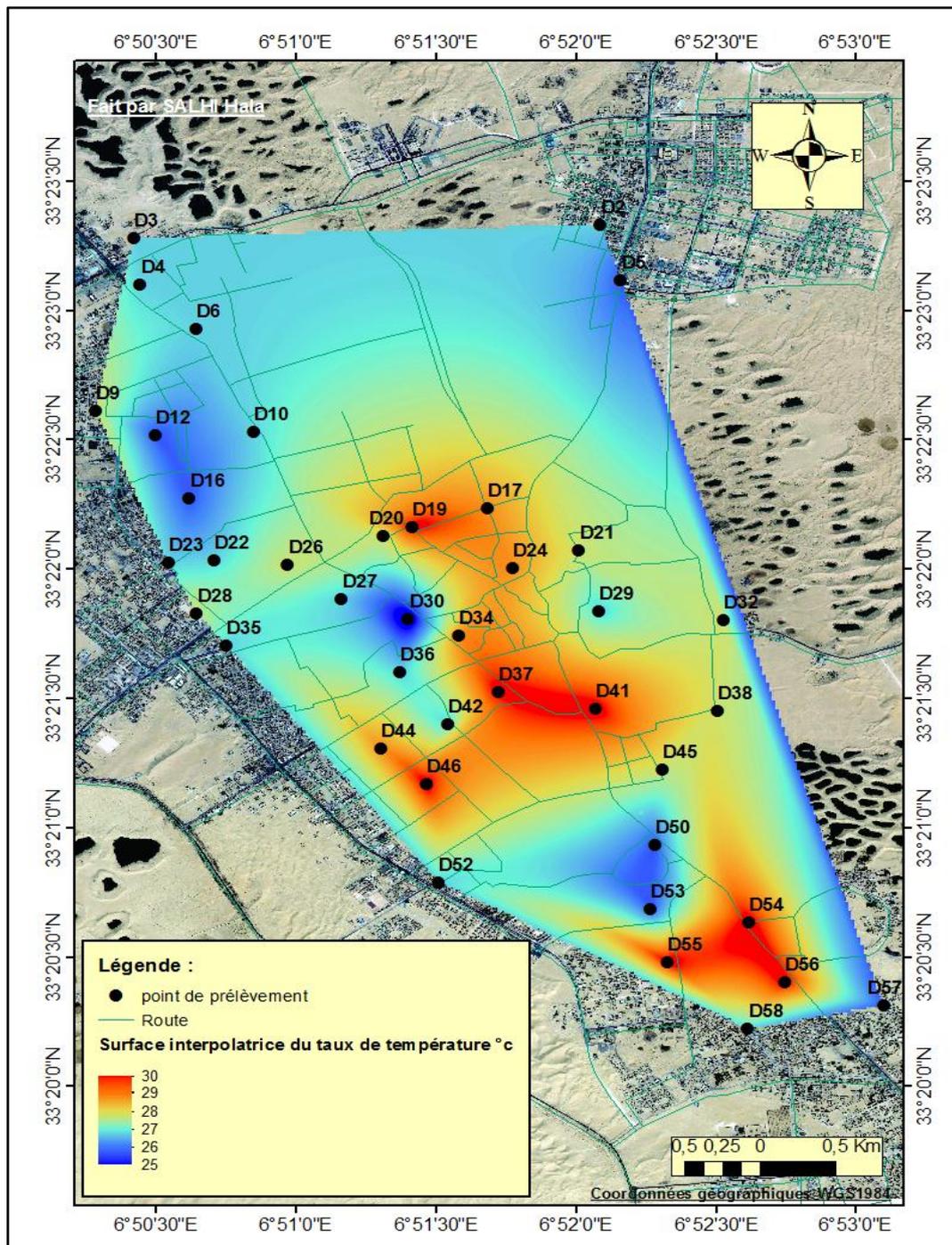
L'outil cartographique reste un outil très appréciable, pour visualiser l'évolution spatiale d'un polluant, ou d'un constituant chimique quelconque. A cet effet, nous avons, dans notre cas, choisi ce mode de représentation, pour montrer la variabilité des éléments chimiques qui ont un rapport avec la remontée des eaux souterraines.

### III.3.2. Les paramètres physico-chimiques :

#### III.3.2.1. La température :

Les valeurs mesurées de la température dépendent essentiellement de l'heure de la mesure, de la saison et de l'ensoleillement lorsque la nappe est peu profonde. Des variations apparaissent encore, selon le mois de l'année ou la saison.

Nous avons remarqué que la température varie entre 25 et 30°C (**Figure.III.9**).



**Figure (III.9) :** Répartition de la température de l'eau de la nappe superficielle (Avril, 2016)

Les températures élevées ont été remarquées au centre et au sud de la zone d'étude où il y a une infiltration à travers les canalisations d'alimentation en eau potable provenant des forages albiens ; par contre les valeurs minimales sont concentrées au contour externe de la ville.

### III.3.2.2. Potentiel d'Hydrogène :

Le pH est une mesure de l'activité des ions hydrogènes (H+) dans une solution aqueuse exprimée en moles /litre. L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcaline). La valeur médiane 7 correspond à une solution neutre.

Le pH des échantillons d'eau prélevés varie entre 6.8 et 7.36 (Figure.III.10) ; elle est conforme aux normes algériennes (Arrêté du 02/01/2012) et aux normes internationales (FAO, 2003) ( $6,5 < \text{pH} < 8,5$ ) de réutilisation en irrigation.

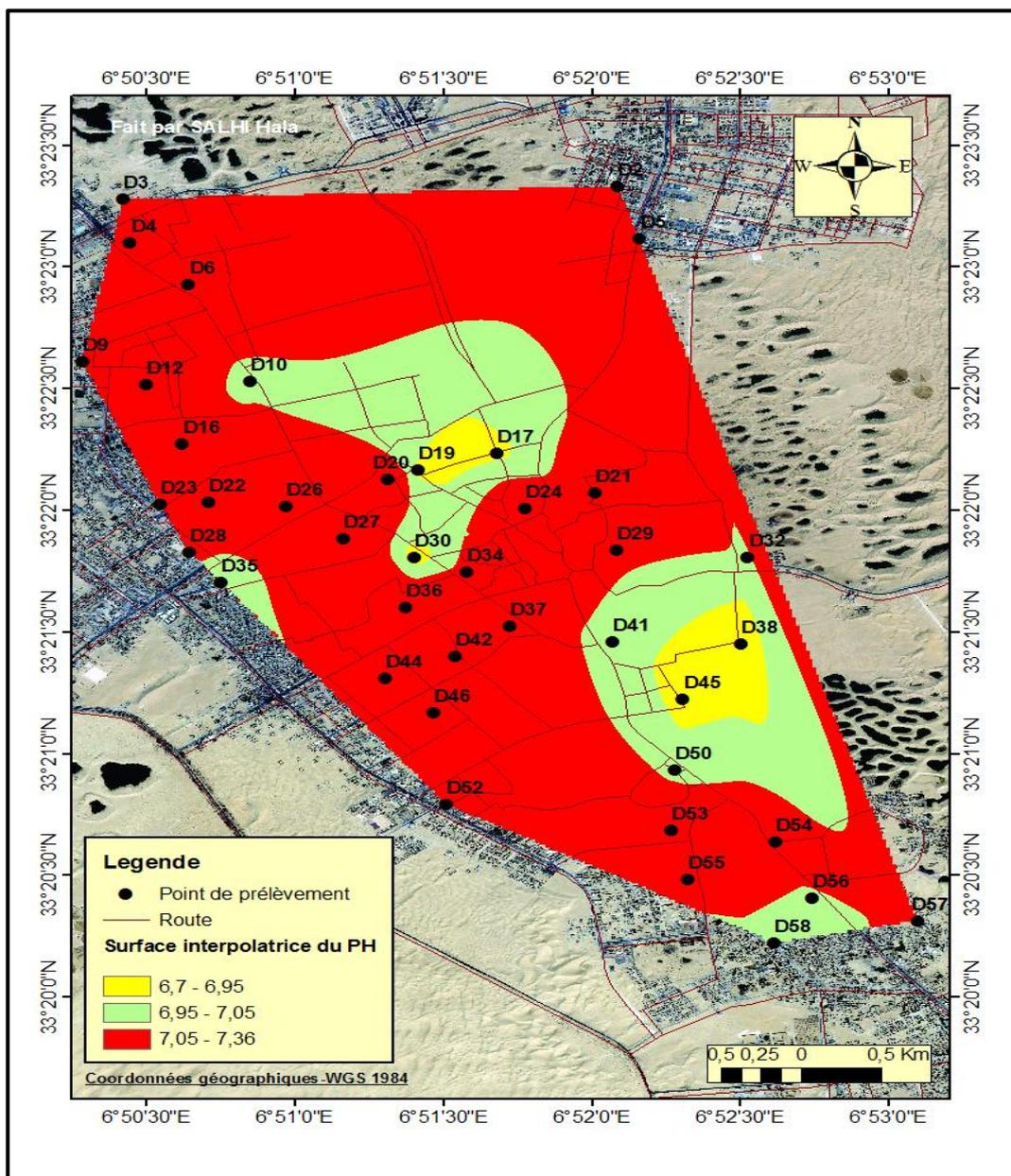


Figure (III.10) : Carte du PH (Avril ; 2016).

III.3.2.3. La conductivité électrique:

La conductivité électrique d'une eau caractérise sa faculté à laisser passer le courant électrique, elle augmente avec la concentration des ions en solution et la température. Elle correspond à la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm<sup>2</sup> de surface, séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est exprimée en  $\mu\text{S} / \text{cm}$ .

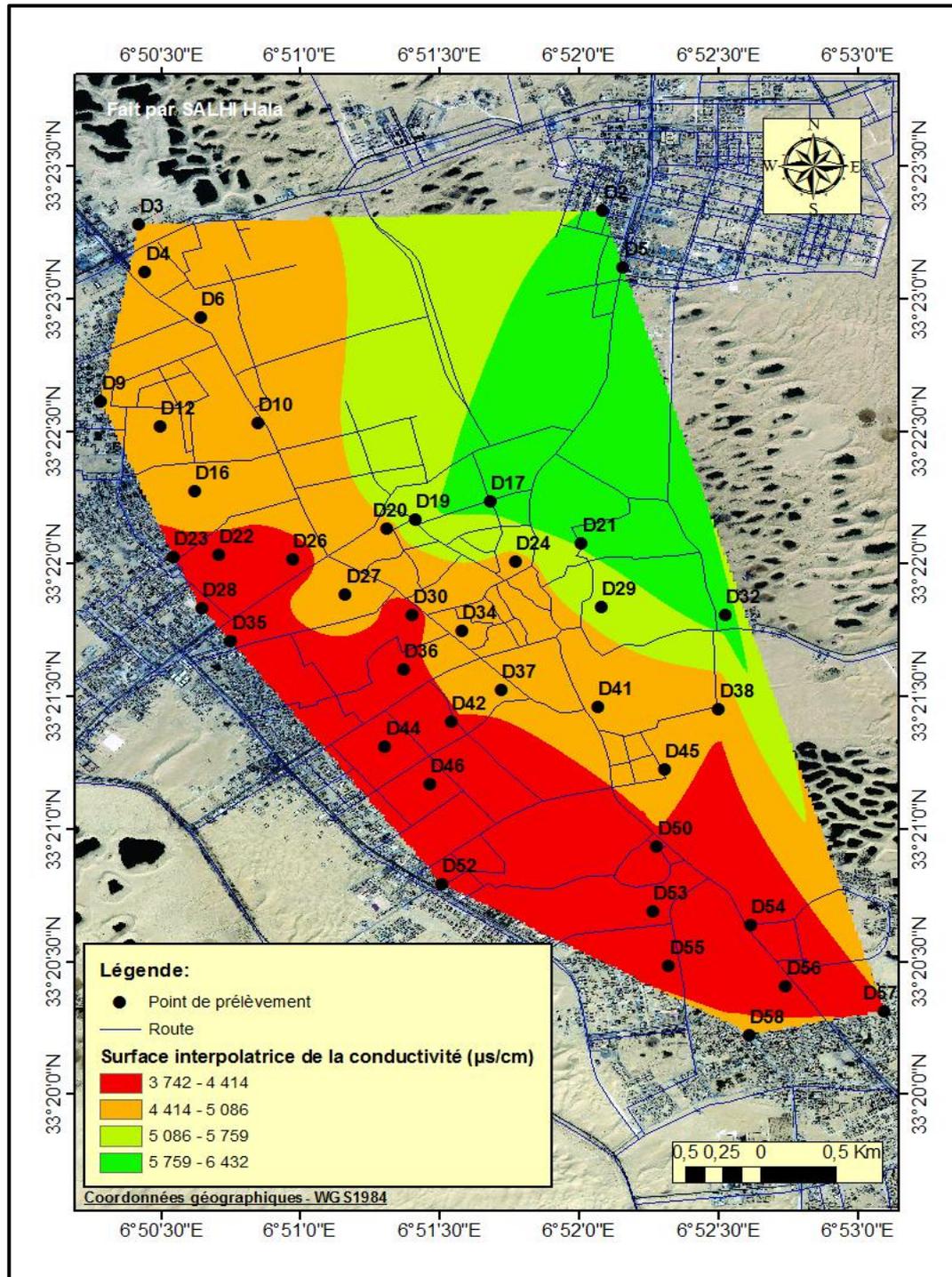


Figure (III.11) : Carte de la conductivité mesurée à 25°C (Avril ; 2016).

La conductivité, ou son inverse la résistivité, permet donc une estimation de la minéralisation d'une eau. Elle dépend de la force ionique de l'eau et augmente en fonction de

teneur en ions dissous, de la nature des différentes substances dissoutes, à leurs concentrations réelles et relatives et à la température à laquelle elle est mesurée ; généralement les valeurs sont ramenées à 25°C.

Les valeurs mesurées de la conductivité varient entre 3742  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à l'Ouest de la ville au niveau du drain D46 et 6432  $\mu\text{S}/\text{cm}$  au N-E qui est enregistrée au drain D5 (Figure.III.11). La conductivité électrique de l'eau de la nappe phréatique montre un dépassement de la norme recommandée pour les eaux d'alimentation en eau potable ( $>200\mu\text{S}/\text{cm}$  selon OMS) et la norme de réutilisation agricole aussi ( $>300 \mu\text{S}/\text{cm}$  selon le FAO et l'Arrêté du 02/01/2012) de ce fait, ces eaux ne conviennent pas à la consommation humaine ou à l'irrigation.

### III.3.3. Les éléments de la pollution :

#### III.3.3.1. Cycle de l'azote :

Le cycle de l'azote est caractérisé par trois réservoirs : azote organique (acides aminés, protéines...), azote minéral ( $\text{NO}_3^-$ ...) et composés gazeux ( $\text{N}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ...) et est régi par des processus chimiques et biologiques permettant le passage d'une forme azotée à l'autre

(Figure III.12). Le transfert de la forme ammonium vers les nitrites et les nitrates se fait par oxydation, cette réaction est rapide en présence de l'oxygène. La forte teneur en  $\text{CO}_2$  et la faible teneur en oxygène accroissent la concentration en ammonium dans l'eau. (Rodier et al ; 2005)

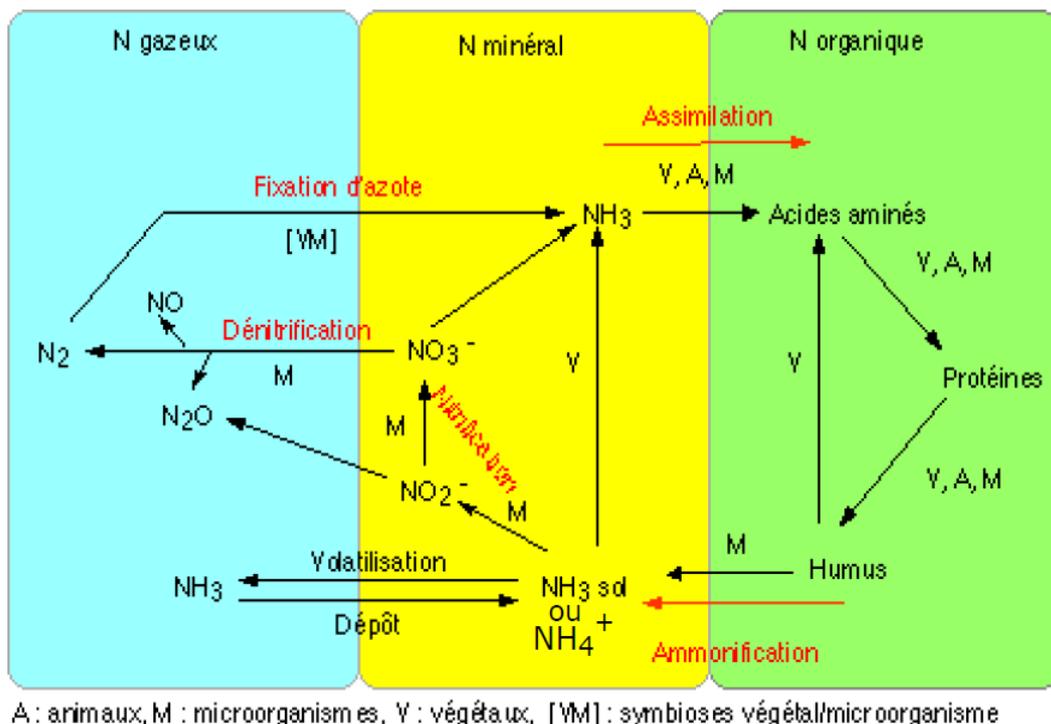


Figure (III.12) : Cycle de l'azote.(Derouiche ;2014)

III.3.3.1.1.Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ):

Les nitrates résultent de l'oxydation de l'azote organique et sont donc présents à l'état naturel dans les sols et dans les eaux. L'augmentation du taux de nitrates dans les eaux superficielles et souterraines est due pour une large part à l'enrichissement des sols par des engrais chimiques ou organiques, ainsi qu'aux rejets d'eaux usées ou mal traitées dans les cours d'eau. Les nitrates en eux-mêmes ne présentent pas de danger particulier pour la santé, c'est leur transformation en nitrites dans l'estomac qui peut être toxique.

- Le taux du Nitrates dans les eaux la nappe phréatique en 2009 :

D'après les résultats des analyses sur les échantillonnages effectuées par Mr Zine Brahim en 2009 ; on a établi une carte qui a exposé la répartition du taux de nitrates dans la commune d'El-Oued. (Figure III.13)

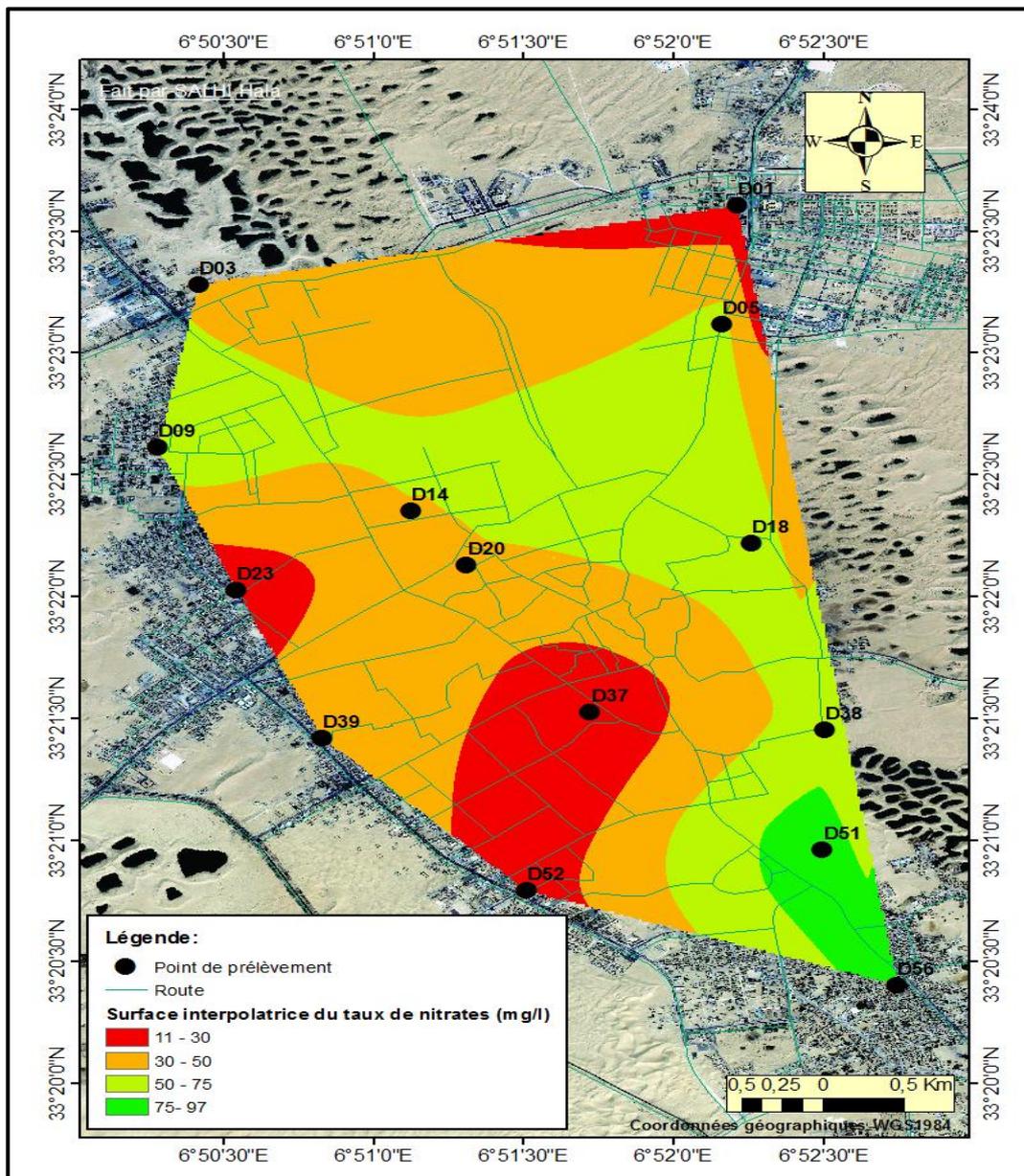


Figure (III.13) : Carte du Nitrates (juillet ; 2009).

L'examen de la carte des nitrates montre que dans le Sud-est et le centre de la zone d'étude les concentrations dépassent la norme (50 mg/l). La présence des nitrates dans les eaux souterraines est liée à l'utilisation des engrais chimiques, des eaux usées domestiques rejetées directement dans la nappe.

- Le taux du Nitrates dans les eaux la nappe phréatique en 2016:

L'examen de la carte des nitrates (**Figure III.14**) montre que les valeurs du taux de nitrates varient entre 29.1mg/l au forage D58 (cité Chouhadaa) et 0.26 mg/l au forage D5 (cité 1<sup>er</sup> Novembre).

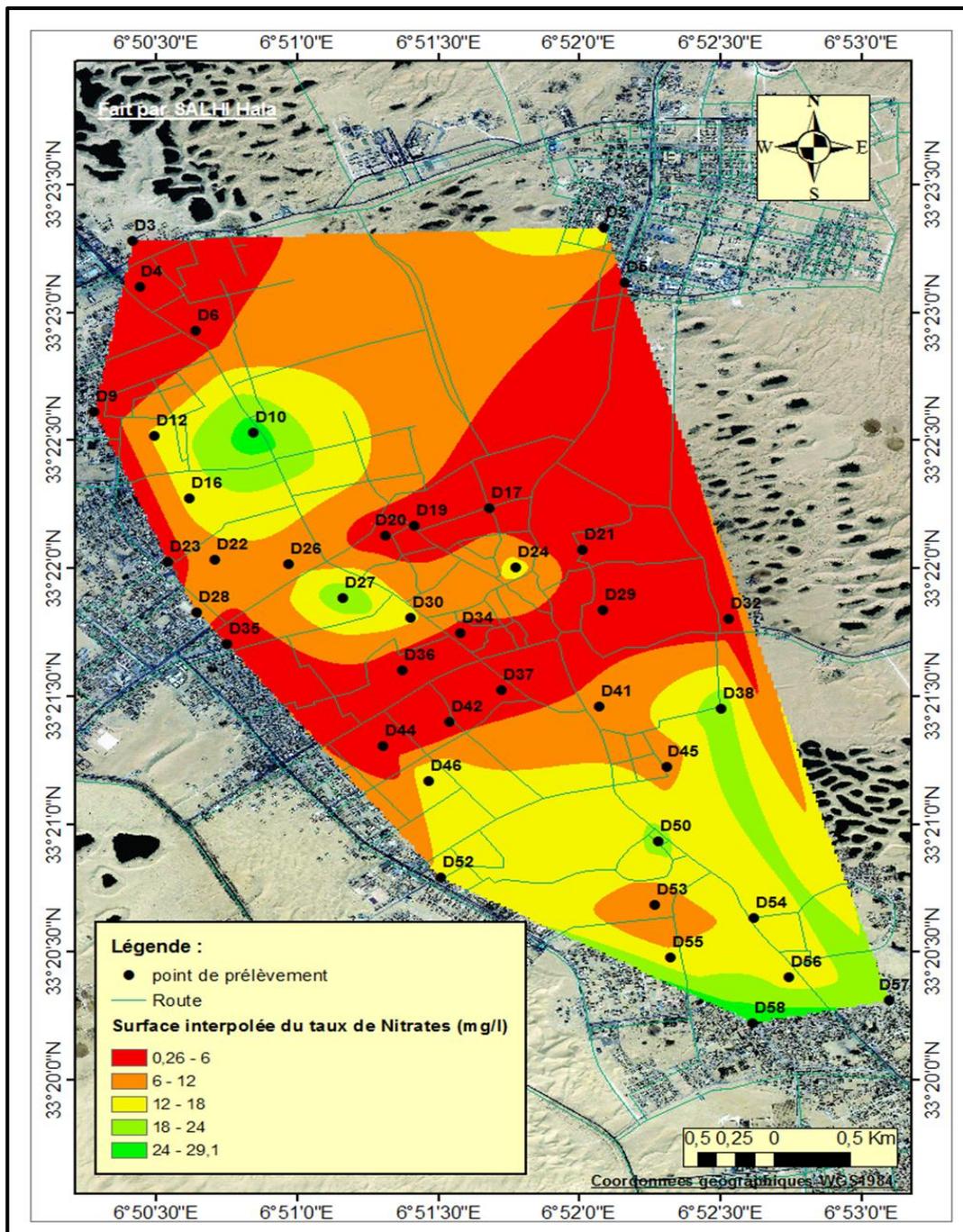


Figure (III.14) : Carte du Nitrates (Avril, 2016).

Les régions du N-O, N-E et le centre de la ville présentent un faible taux de nitrates, par contre la zone sud présente un taux assez important.

On a remarqué que toutes les valeurs mesurées sont au-dessous des normes algériennes (Arrêté du 02/01/2012) et internationales (l’OMS et le FAO, 2003) (<30 mg/l), de ce fait, ces eaux peuvent être utilisées dans l’irrigation.

- L'évolution du taux des nitrates entre les années 2009 et 2016 :

L'examen de la carte d'évolution du taux des Nitrates (**Figure III.15**) montre qu'il y'a une importante baisse du charge en nitrates touchant toutes les zones de la ville.

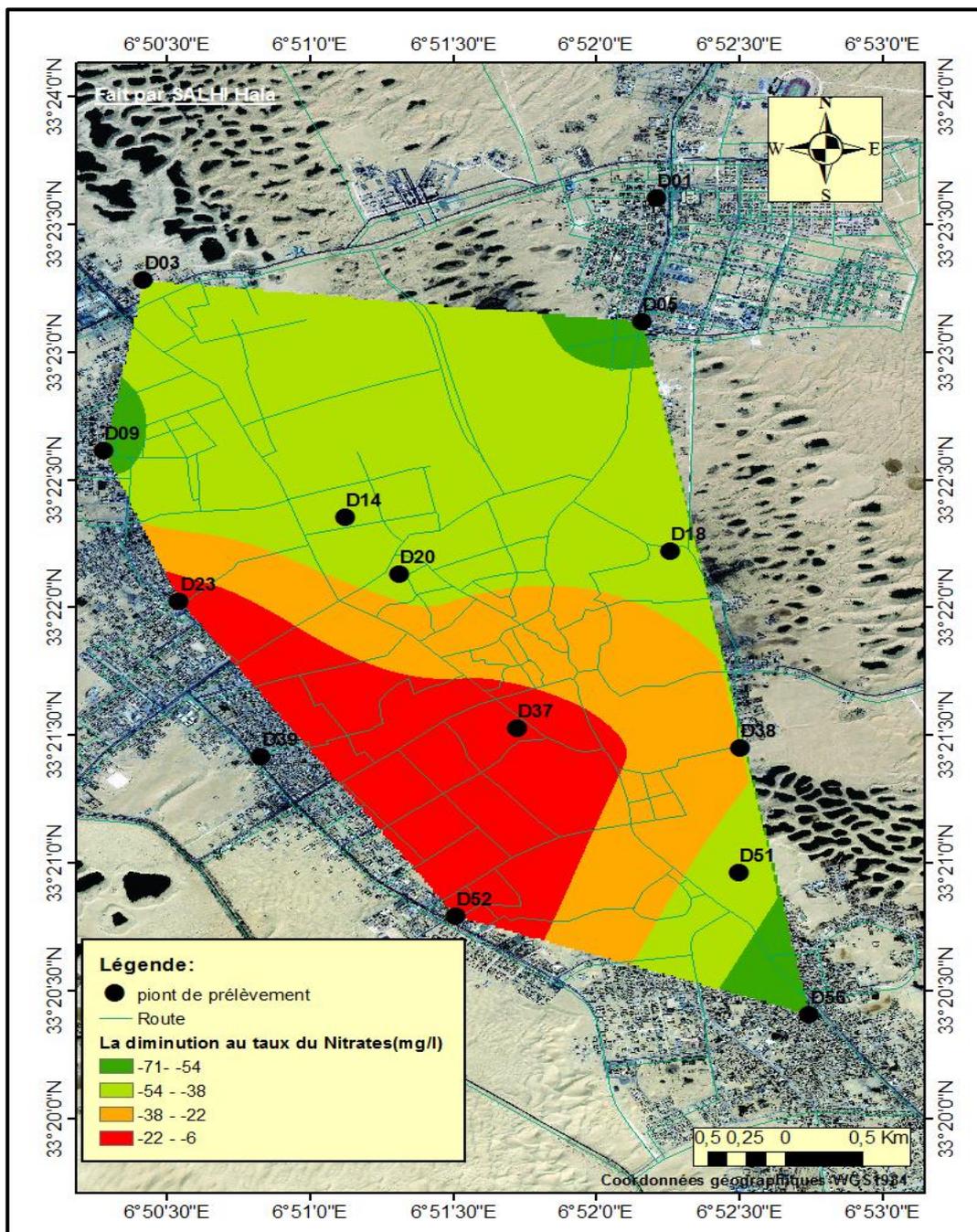


Figure (III.15) : Carte d'évolution du taux des Nitrates entre les années 2009 et 2016.

La plus grande réduction oscille entre 54 et 71 mg/l à la périphérie. Cette baisse est due à la mise en service de réseau d'assainissement et l'augmentation du taux de raccordement.

#### **III.3.3.1.2. Nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>):**

Les nitrites sont instables au plan biochimique. Entre le remplissage des flacons et l'analyse au laboratoire, une importante dégradation biologique peut se produire durant le transport. En présence de fortes concentrations en ammonium dans l'échantillon, les nitrites peuvent également apparaître par nitrification ; c'est la raison pour laquelle les échantillons devrait être réfrigérés (< 4°C et >6°C) et analysés rapidement après prélèvement (Rodier et al ; 2009). Les nitrites sont très toxiques pour la santé. Des concentrations élevées en nitrites peuvent être observées par suite de la transformation biologique de l'ammonium en nitrates ou, en condition anaérobies lors de la dénitrification des nitrates en NO<sub>2</sub><sup>-</sup> ou N<sub>2</sub> gazeux. (Derouiche ; 2014).

L'examen de la carte des nitrites (**Figure III.16**) montre que la majorité des valeurs de nitrites sont supérieures aux normes de potabilité (0.1 mg/l) ; mais, elles sont conformes aux normes de rejet Selon l'OMS 1999 (>1mg/l), excepté les valeurs enregistrées aux drains suivants: D6, D28, D30 et D53 les quelles dépassent tous les normes. Cette augmentation due à la réduction de la forme nitrates durant de la période de l'analyse, les travaux de réhabilitation du réseau d'assainissement ou déversement des rejets urbains directement à la nappe.

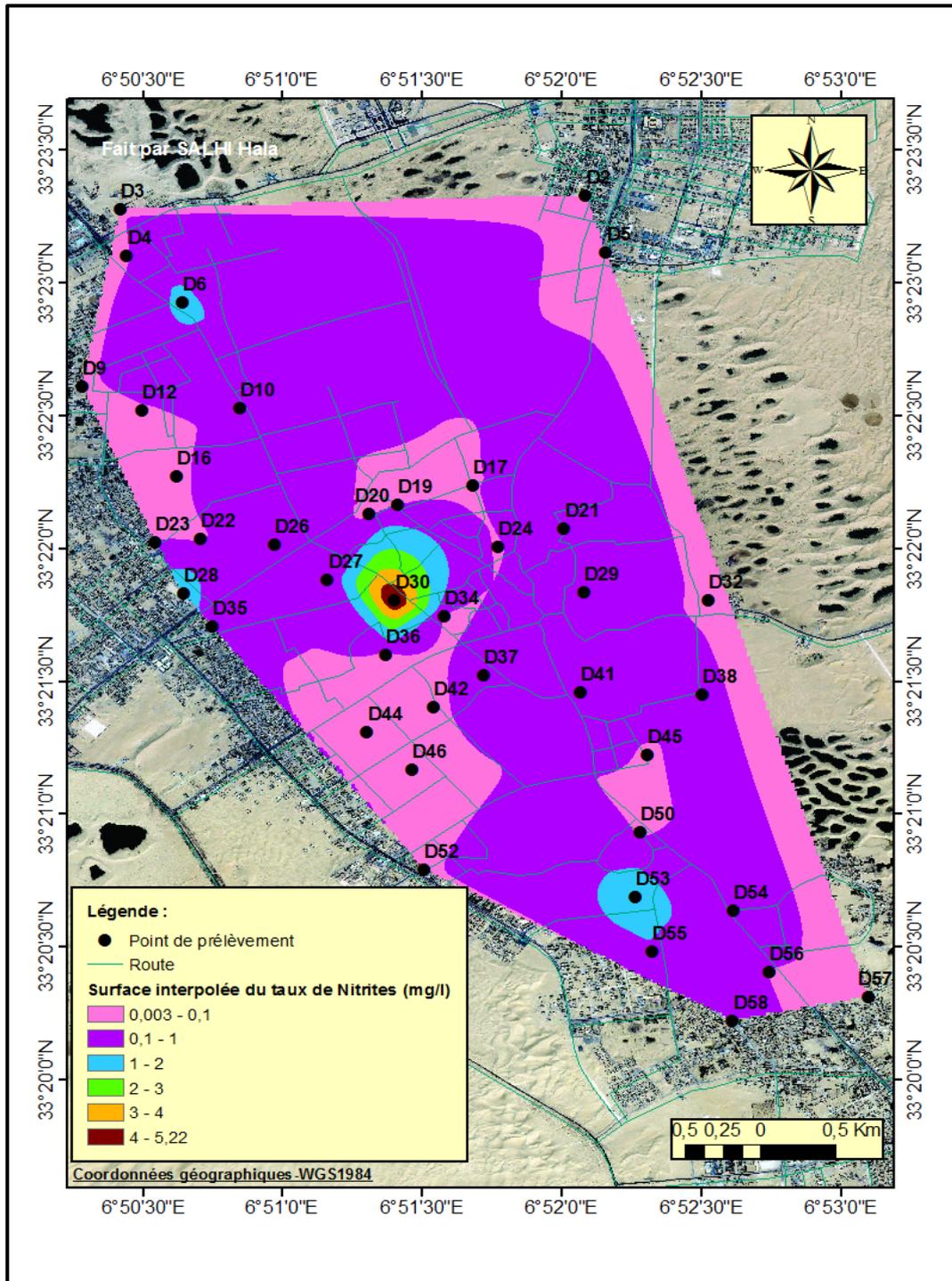


Figure (III.16) : Carte du Nitrites (Avril, 2016).

### III.3.3.2. Les paramètres de pollution organique :

#### III.3.3.2.1. La demande Chimique en oxygène (DCO) :

La DCO permet d'apprécier la concentration en matières organiques et minérales, dissoutes ou en suspension dans l'eau, au travers la quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation chimique totale.

La carte de répartition de taux de DCO (Figure III.17) montre que la majorité des zones caractérisent par un taux de DCO oscille entre 13 et 20 mg/l. Les valeurs enregistrées ne dépassent pas les normes algériennes (90 mg/l) (Arrêté du 02/01/2012).

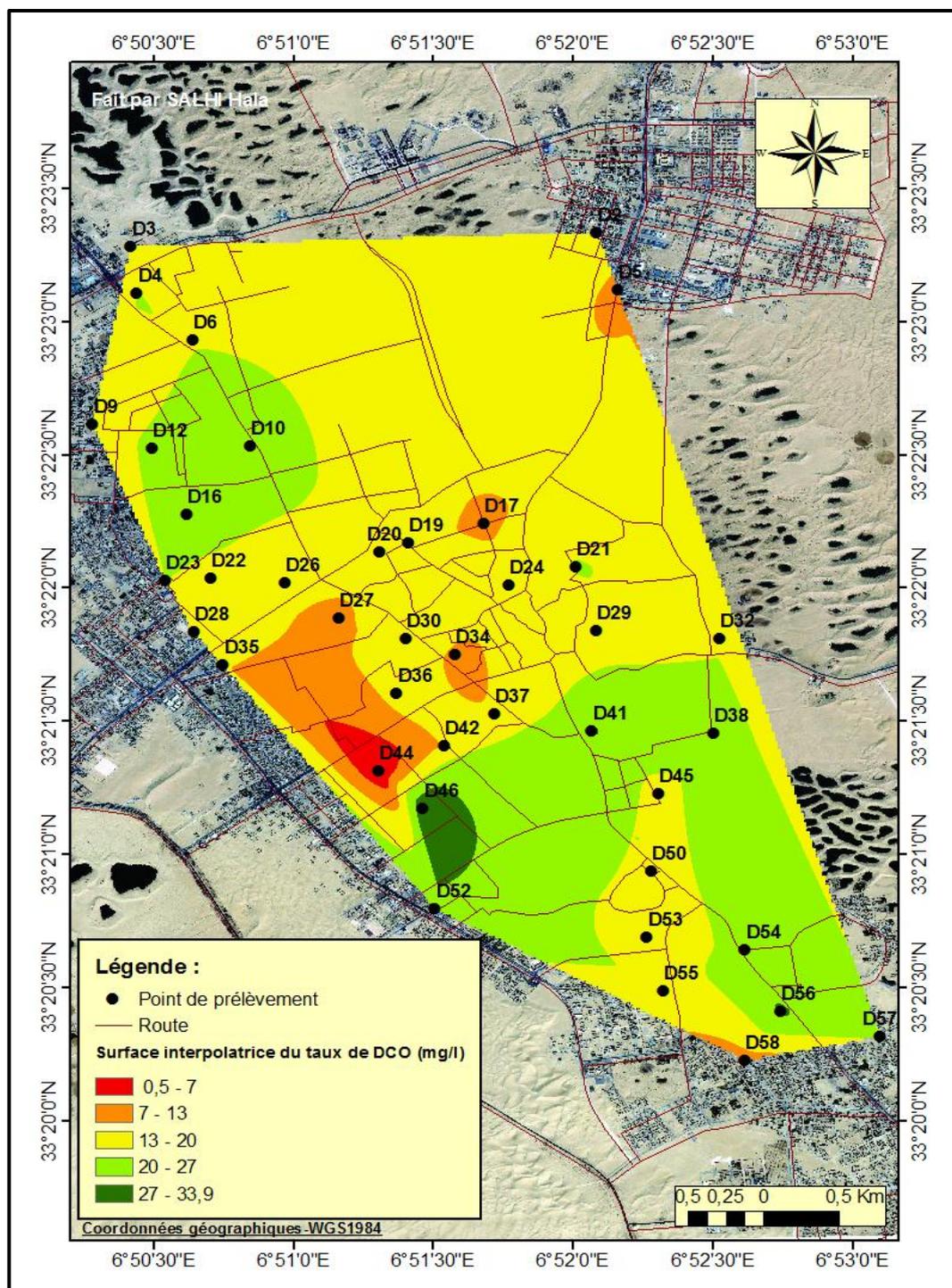


Figure (III.17) : Carte de Demande Chimique en Oxygène (Avril ; 2016).

### III.3.3.2.2. La demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>) :

La DBO<sub>5</sub> est relative à la portion biodégradable des eaux usées, c'est à dire oxydable par des bactéries (Serraye ; 2014). La DBO<sub>5</sub> est une expression pour indiquer la quantité d'oxygène

qui est utilisée pour la destruction de matières organiques décomposables par des processus biochimiques (Derouiche ;2014). Les substances consommant de l'oxygène comprennent en particulier : carbone organique, ammoniacque, nitrites, hydrogène sulfuré et d'autres composés réduits, surtout les substances facilement dégradables.

Les valeurs enregistrées sont au-dessous de la norme algérienne (30 mg/l) (Arrêté du 02/01/2012). De ce fait ces eaux peuvent être utilisées à l'irrigation. La (Figure III.18) montre qu'il y'a une baisse du DBO<sub>5</sub> dans les eaux de la nappe phréatique due à la réduction des substances consommant l'oxygène.

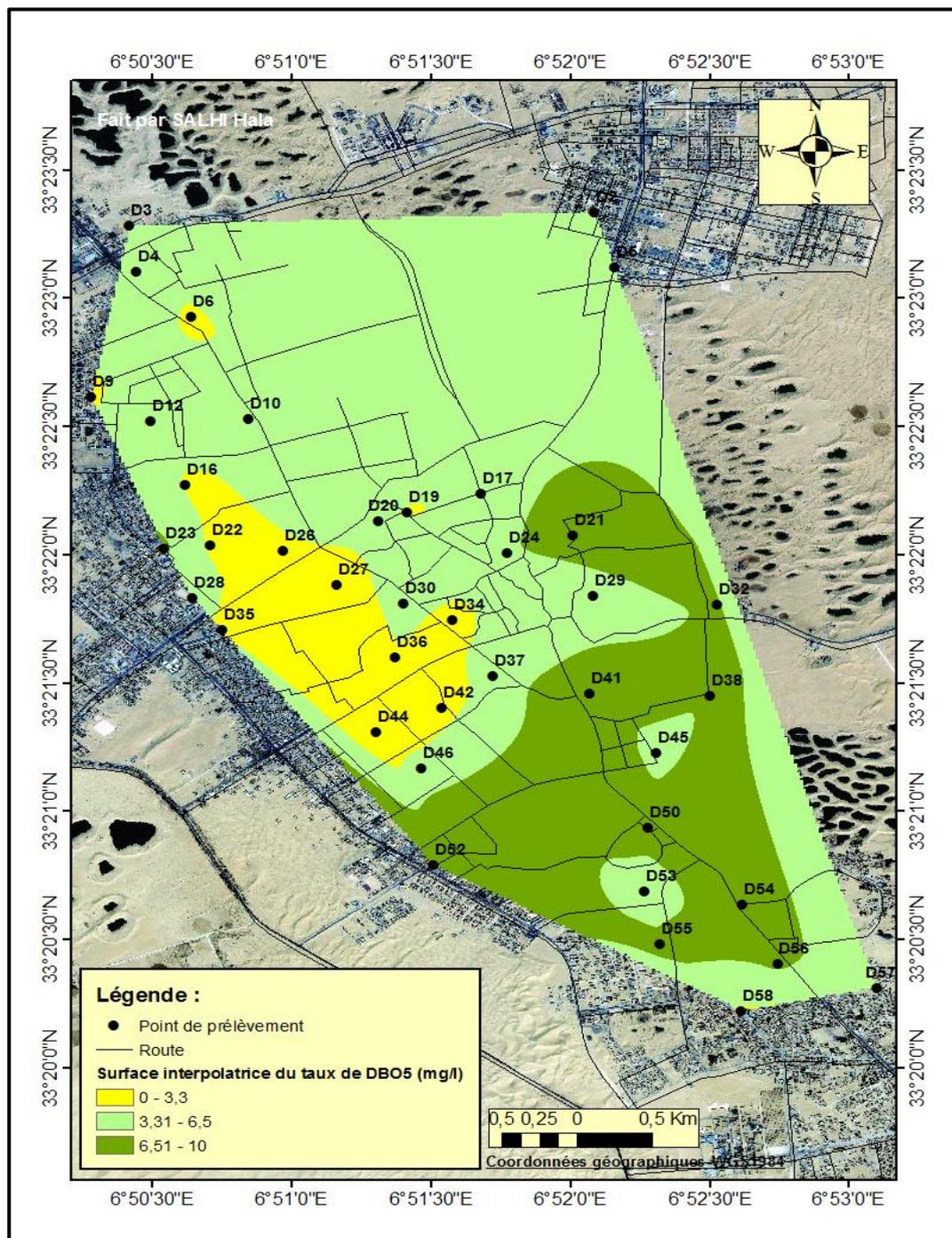


Figure (III.18) : Carte de Demande Biologique en Oxygène à 5 jours (Avril ; 2016).

III.3.3.2.3. Les matières en suspensions (MES) :

Les matières en suspension (MES) constituent une bonne partie de la pollution carbonée. Les matières en suspension représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux, elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, du régime d'écoulement des eaux et de la nature des rejets (Rodier et al, 2005). Elles représentent les matières qui ne sont ni à l'état soluble ni à l'état colloïdal, donc retenues par un filtre. (Serraye ; 2014).

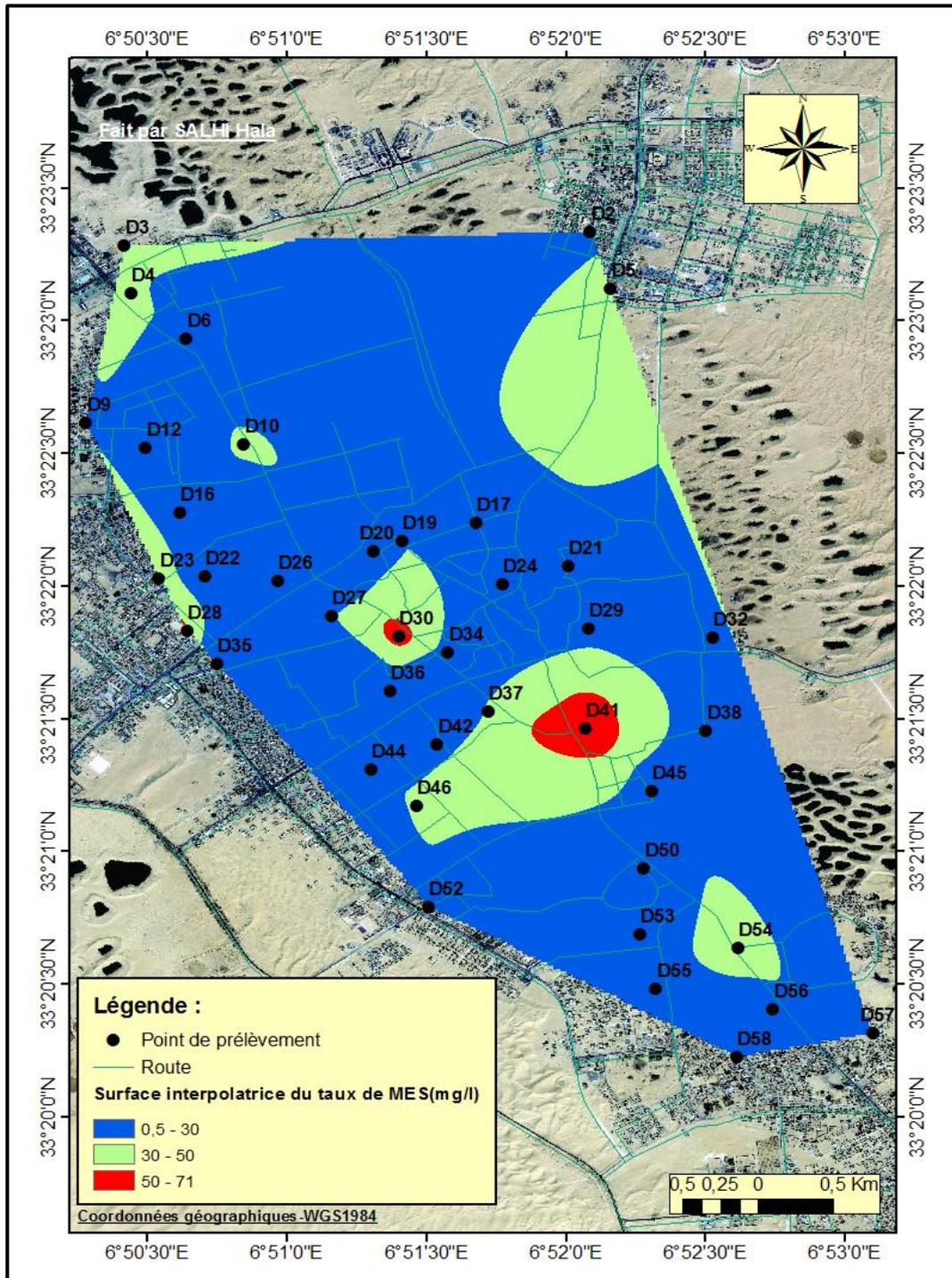


Figure (III.19) : Carte de répartition de taux des matières en suspensions (Avril ; 2016).

La concentration en MES des eaux de la nappe phréatique fluctues énormément entre un minimum de 0,5 mg/l au forage D35 et un maximum de 71 mg/l au drain D41 (**Figure III.19**). Généralement les valeurs mesurées des teneurs en matières en suspension ne dépassent les normes algériennes (Arrêté du 02/01/2012) fixée à 30 mg/l, en conséquence, ces eaux conviennent à l'irrigation ; sauf quelques drains comme D30 et D41 lesquels sont enregistrés des valeurs élevées, probablement dues aux rejets des eaux usées ou présence des matières minérales résultent de l'excès de pompage.

### **III.3.3.3. Les métaux lourds :**

Les métaux lourds sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, mais en général en quantités très faibles. Nous nous intéressons ici uniquement au zinc, cuivre et cyanure.

Le tableau ci-dessous (**Tableau.III.1**) récapitule le résultat des analyses des métaux lourds (Zn, Cu et Cn).

<b>Eléments chimiques</b>	<b>Valeur maximale (mg/l)</b>	<b>Valeur minimale (mg/l)</b>	<b>Valeur moyenne (mg/l)</b>	<b>Ecart type (mg/l)</b>
Zn	3.1	0.09	0.86	0.84
Cu	0.47	0.09	0.21	0.12
CN	0.01	0.001	0.003	0.003

**Tableau(III.1) :** Concentrations de zinc, cuivre et cyanure.

#### **III.3.3.3.1. Le Zinc (Zn) :**

L'objectif de qualité esthétique pour le zinc est  $\leq 5,0$  mg/L. Le zinc est un élément essentiel qui n'est généralement pas considéré comme toxique. L'apport alimentaire de zinc suffit amplement à satisfaire l'apport quotidien recommandé.

Du point de vue nutritif, l'eau potable n'est considérée comme une source importante de cet élément. L'eau renfermant des teneurs en zinc supérieures à 5,0 mg/L a tendance à être opalescente, à laisser une pellicule grasseuse après ébullition et à prendre un goût indésirable à cause de son astringence.(Zine ; 2010)

La carte de répartition du zinc (**Figure III.20**) montre que la quasi-totalité des eaux de la nappe phréatique présentent des concentrations en zinc élevées sauf au centre dans le puits D17 où le zinc présente une concentration inférieure aux normes admises (0.1 mg/l) ; mais pour

l'utilisation à des fins d'irrigation, tous les échantillons ont enregistré des valeurs inférieures aux normes algériennes fixé par 10 mg/ (Arrêté 2/1/2012).

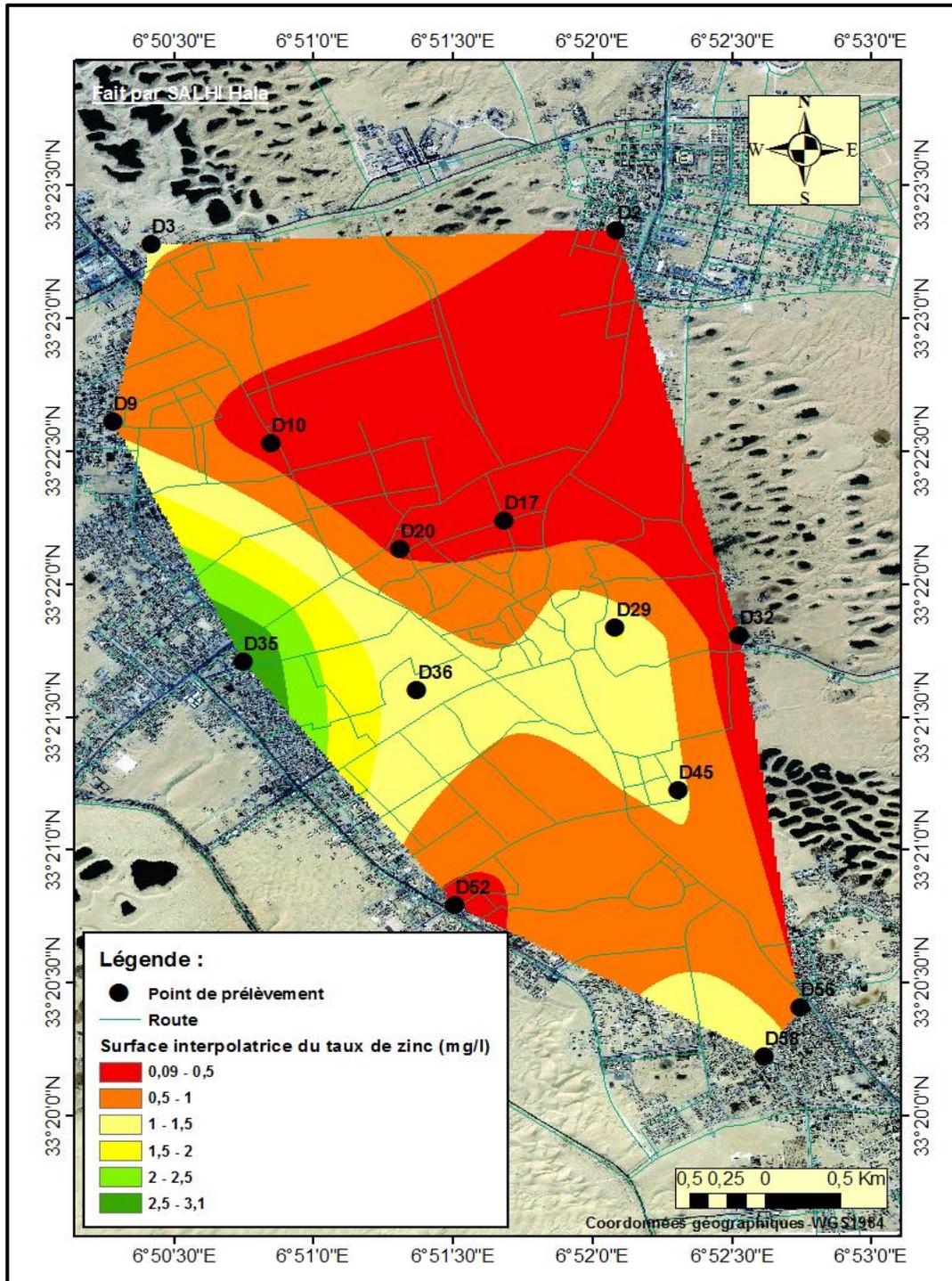


Figure (III.20) : Carte de Zinc (Avril ; 2016).

### III.3.3.3.2. Le Cuivre (Cu) :

L'objectif de qualité esthétique pour le cuivre présent dans l'eau potable est de  $\leq 0,05$  mg/L; cet objectif a été fixé pour assurer la potabilité de l'eau et pour réduire au minimum les taches sur la lessive et les accessoires de plomberie. Le cuivre est un élément essentiel pour le

métabolisme humain et il est bien connu que sa carence entraîne divers troubles cliniques, notamment l'anémie nutritionnelle chez les nourrissons. L'absorption de doses importantes de cuivre a des effets nocifs sur la santé, mais les concentrations auxquelles ces effets se manifestent sont beaucoup plus élevées que l'objectif de qualité esthétique. (Zine ;2010)

La carte de la répartition du cuivre (**Figure.III.21**) montre que la quasi-totalité des eaux de la nappe phréatique présentent des concentrations en cuivre dépassent les normes de potabilité

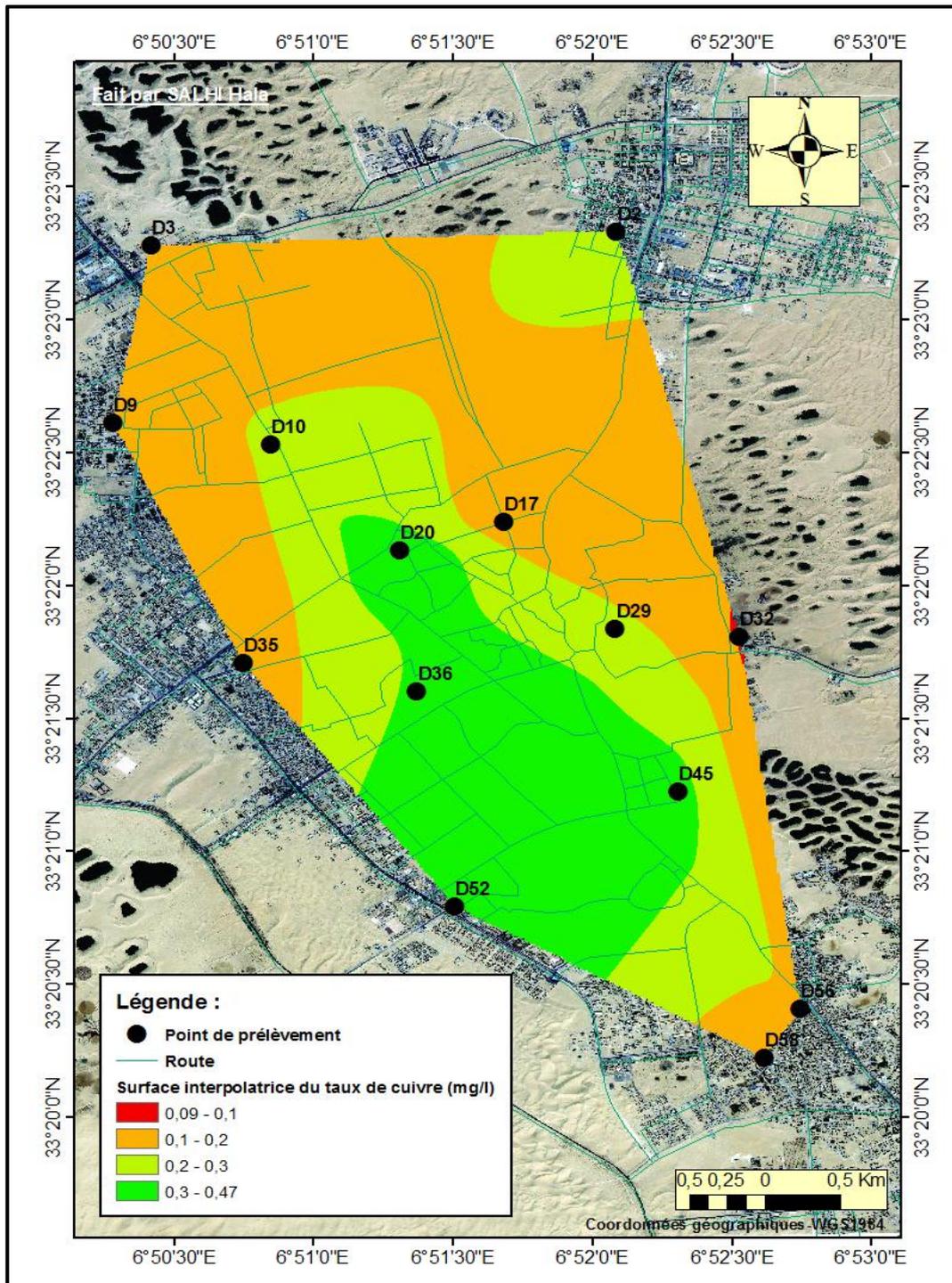


Figure (III.21) : Carte de Cuivre (Avril ;2016).

Ces valeurs place le Cu des eaux de la nappe libre d'El-Oued au-dessous de la barre mentionnée dans les normes nationales (5 mg/l) (Arrêté du 02/01/2012) et normes internationales de FAO (2003) (5 mg/l), alors, ces eaux admettent à l'utilisation agricole.

### III.3.3.3. Le Cyanures (CN) :

D'après (Serraye ; 2014) La présence des cyanures à fortes concentrations dans les eaux les rend nocives et quelquefois extrêmement toxiques (Chaouki et al, 2014). La présence des cyanures est due aux rejets d'effluents industriels et agricoles (Savary, 2010).

Les résultats obtenus varient entre 0.001 aux drains D09 ; D56 et 0.01 au D52 (Figure III.22). La majorité des échantillons ont des concentrations oscillent entre 0.001 et 0.004mg/l.

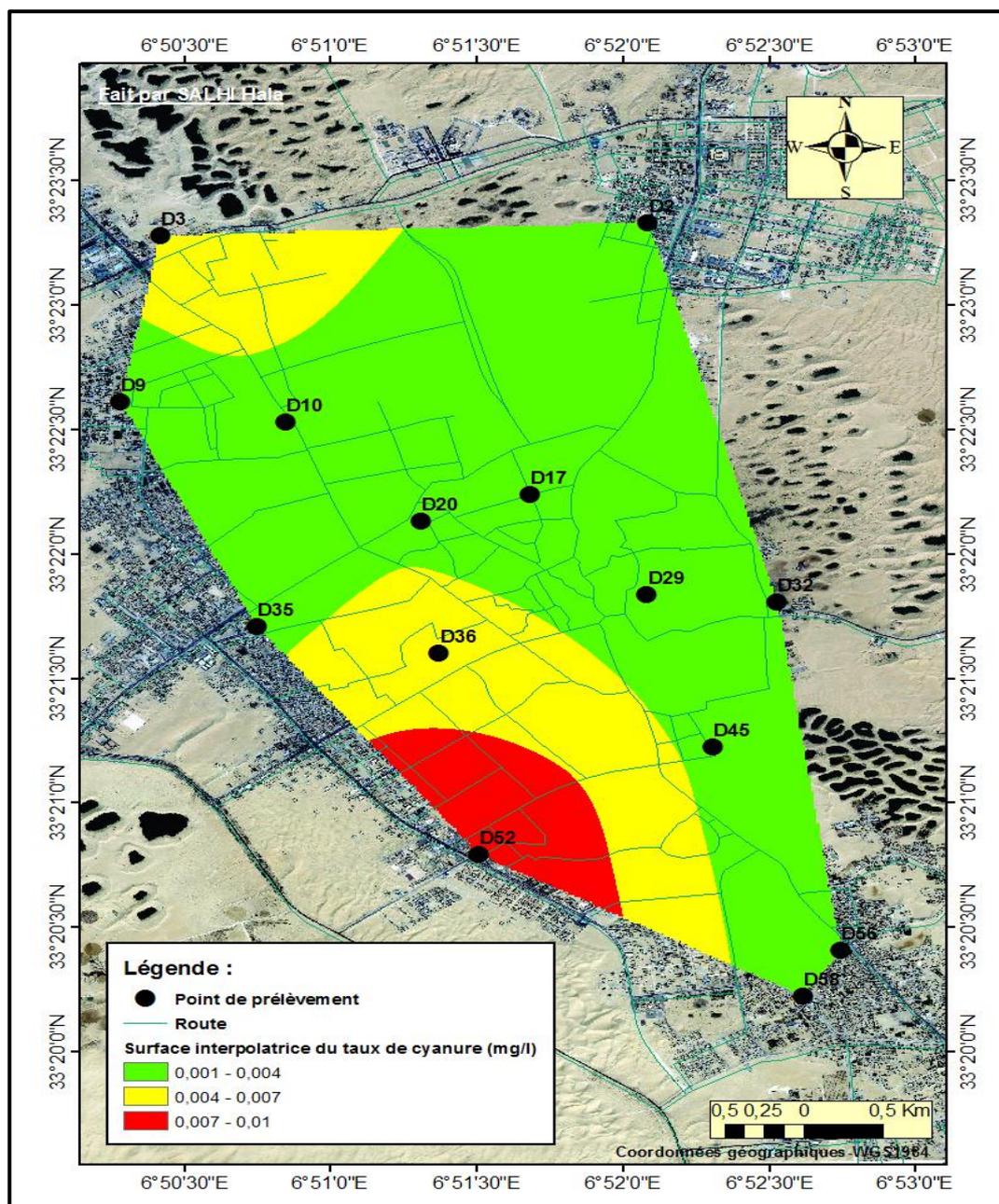


Figure (III.22) : Carte de Cyanure (Avril ; 2016).

Toutes les valeurs mesurées sont conformes aux normes algériennes d'irrigation (0.5 mg/l)(Arrêté du 02/01/2012).

### **III.4.L'aptitude des eaux de la nappe phréatique a l'irrigation :**

Par sa qualité bactériologique l'eau souterraine doit être destinée prioritairement à l'AEP malheureusement ce n'est pas le cas pour la nappe libre de l'Oued Souf à cause de sa qualité impropre. Les gens de la région exploitent la nappe anarchiquement pour l'irrigation des ghouts.

Afin d'estimer l'influence de ces eaux sur le sol et sur certaines cultures pratiquées dans la région, nous allons essayer d'évaluer leur aptitude à l'irrigation. Pour cela nous utilisons la salinité et la méthode de de Richards.

#### **III.4.1.Salinité :**

Selon R.S.AYERS et D.W.WESTCOT (1988) ; quand les eaux d'irrigation sont chargées en sels, ces derniers s'accumulent dans la zone racinaire après que la plante ait prélevé l'eau. Ces sels s'épaississent et limitent la disponibilité de l'eau dans le sol pour la culture. Les directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation (**Tableau III.2**) montrent que :

- ✓ Si, la salinité exprimée par la conductivité en  $\mu\text{S} / \text{cm}$  est inférieure à  $700 \mu\text{S} / \text{cm}$ , il n'y aucune restriction pour l'irrigation.
- ✓ Si, la conductivité varie entre  $700$  et  $3000 \mu\text{S} / \text{cm}$ , la restriction pour l'irrigation est légère à moyenne ;
- ✓ Si, elle est supérieure à  $3000 \mu\text{S} / \text{cm}$ , la restriction pour l'irrigation est forte.

<b>Restriction pour l'irrigation</b>	<b>CE en <math>\mu\text{S} / \text{cm}</math></b>	<b>Pourcentage des échantillons</b>
<b>Aucune</b>	<b>&lt; 700</b>	<b>0</b>
<b>Légère à modéré</b>	<b>700 - 3000</b>	<b>0</b>
<b>Forte</b>	<b>&gt; 3000</b>	<b>100</b>

**Tableau (III. 2) :** Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation

L'examen du (**Tableau III.2**) montre que tous les points d'eau mesurés de la nappe phréatique représentent une restriction forte pour l'irrigation.

### **III.4.2. La méthode de Richards :**

Le SAR est un indice qui évalue le danger que présente l'existence d'une teneur donnée en sodium; il est calculé par la formule suivante:

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

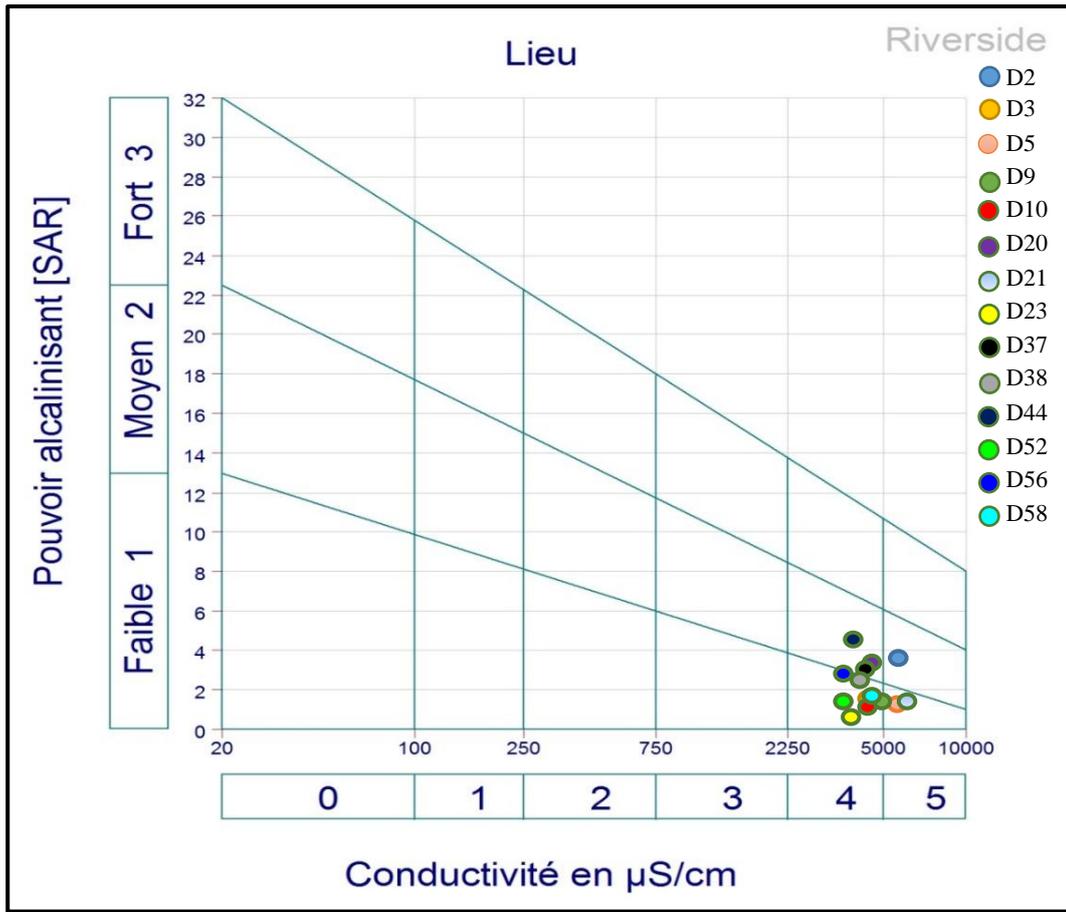
SAR: Sodium Adsorption Ratio.

Na<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, et Mg<sup>++</sup> représentent les concentrations, les valeurs de SAR ont été calculées à partir des données des analyses chimiques.

La méthode de Richards est basée sur la combinaison des deux méthodes: du SAR et de la conductivité électrique.

Pour la campagne de mesures deux classes apparaissent (médiocre et mauvaise) chaque classe présente ses propres caractéristiques.

- **Médiocre (S1C4, S2C4)** : En général, l'eau est fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.
- **Mauvaise (S1C5, S2C5)** : Qualité médiocre à mauvaise. Exclure les plantes sensibles et les sols lourds. Utilisable avec beaucoup de précautions dans les sols légers et bien drainés avec doses de lessivage et/ou apports de gypse



Figure(III.23) : Le diagramme de Richards des eaux de la nappe phréatique.

**Classification de Richards :**

Le (Tableau.III.3) récapitule les résultats obtenus d'après interprétation de diagramme de Richards

Classes		% des points d'eau	
Médiocre	S1 C4	7	71
	S2 C4	3	
Mauvaise	S1C5	3	29
	S2C5	1	

Tableau (III. 3) : Récapitulatif des résultats obtenus d'après le diagramme de Richards

D'après le diagramme ci-dessus (Figure III.23), on constate que les eaux ne conviennent pas à l'irrigation dans des conditions normales et peuvent être utilisées dans les sols particulièrement bien drainés supportant un certain degré de salinité.

## **Conclusion :**

D'après les résultats des analyses physico-chimiques des eaux de la nappe phréatique, nous avons pu mettre en évidence une relation entre la salinité et la piézométrie, par le suivi de ces deux paramètres.

L'étude d'évolution du niveau piézométrique de la nappe phréatique de la ville d'El-Oued entre l'année 2014 et l'année 2016 montre que cette nappe a gardé la même structure en certaines zones et elle a connu un rabattement ou une remontée en autres.

Le sens général d'écoulement des eaux souterraines est du S-O vers le N-E. Les cartes piézométriques de la ville d'El-Oued expliquent bien cette situation.

L'étude de la qualité des eaux de la nappe libre par la mesure des indicateurs de pollution montre que toutes les mesures enregistrées sont conformes aux normes algériennes (Arrêté de 2/01/2012) et les normes internationales (FAO ; 2003) pour l'utilisation à des fins d'irrigation.

L'étude de la qualité des eaux en question a montré qu'elles sont insalubres pour l'alimentation en eau potable et ne conviennent pas à l'irrigation dans des conditions normales et peuvent être utilisées dans les sols particulièrement bien drainés supportant un certain degré de salinité.

---

# *Conclusion générale*

---

## CONCLUSION GENERALE

La vallée de Souf est située dans la Wilaya d'El Oued, l'une des principales oasis du Sahara Septentrional Algérien. Elle se trouve au Sud-Est de l'Algérie à environ 700 Km au Sud-Est occupe une superficie de 11738 km<sup>2</sup> et dont un nombre de population de 566245 habitants

La vallée s'étend sur 18 communes dont la commune d'El-Oued est la commune la plus agglomérée et le chef-lieu de la wilaya d'El Oued.

Selon la coupe d'un forage de l'Albien, les principaux étages repérés dans cette région sont : le Barrémien, L'Aptien, L'Albien, Le Vraconien, Le Cénomaniens, Le Turonien, Le Sénonien, L'Eocène et Le Mio-pliocène. Parmi ces étages, seuls le Cénomaniens et l'Eocène jouent le rôle d'écran imperméable.

Le relief d'El-Oued est caractérisé par trois principales formes: une région sableuse, une forme de plateau rocheux, et une zone de dépression. Du point de vue topographique l'altitude diminue du Sud vers le Nord.

Le climat de la région est de type saharien se caractérisant par des températures élevées, un faible taux des précipitations, d'une évaporation intense et d'un rayonnement solaire excessif

Le bilan hydrique est déficitaire ; l'excédent est nul et la RFU est épuisée durant toute l'année.

L'analyse lithostratigraphique montre que le système hydrogéologique de la région est composé de trois nappes aquifères ; la première correspondant au Continental Intercalaire d'âge Albien, la deuxième est représentée par le Complexe Terminal d'âge Mio-Pliocène et la dernière qui surplombe les deux premières et qui correspond à la nappe phréatique.

La qualité des eaux de la nappe phréatique nous permet de conclure que la rentabilité du réseau d'assainissement est adéquate et performante ce qui permet l'amélioration qualitative des eaux de la nappe superficielle et la diminution du taux de pollution ; fait confirmés par les résultats des échantillons analysés.

Le constat des cartes piézométriques pour la période s'étalant de l'année 2008 à l'année 2014 révèle une diminution générale touchant pratiquement tous les quartiers de la ville d'El-Oued ; par contre l'étude piézométrie de l'année 2016 révèle une perturbation au niveau de la

nappe phréatique à cause de l'arrêt de certains forages pour des problèmes : techniques (l'arrêt des équipements) ; perturbation au tension de réseau d'électricité ; affaissement et endommagement des conduites des forages ou conduites des collecteurs secondaires et principal.

Ce pendant on ne peut nier ou négliger le rôle prépondérant joué par le réseau de drainage vertical pour le maintien et la sauvegarde d'un niveau bas des eaux de la nappe libre.

Pourtant, avec tous les aléas et les problèmes techniques rencontrés ; la hausse de coût de maintenance du réseau et des équipements ; la consommation élevée d'énergie électrique la question posée est la suivante : Jusqu'à quand va-t-il résiste ce réseau ?

### RECOMMANDATIONS

- ❖ Réalisation d'un réseau de drainage horizontal dans les zones basses (inondées) ; basée sur des normes, critères et études scientifiques des caractéristiques de la région (géologique, hydrologique...etc).
- ❖ L'augmentation de la plantation des arbres d'Eucalyptus.
- ❖ La création des nouveaux périmètres agricoles irrigués à partir de la nappe phréatique avec l'utilisation des nouvelles techniques d'irrigation (goutte à goutte, aspersion et capillarité...)
- ❖ Renforcer la surveillance et le contrôle de la qualité des eaux de la nappe phréatique pour les paramètres prioritaires comme les nitrates et la bactériologie.
- ❖ sensibiliser les agriculteurs sur l'utilisation des engrais et pesticides.
- ❖ Contrôle des fuites de réseau d'AEP.

## BIBLIOGRAPHIE

ADAMO A., 2006. Contribution à l'étude de l'avifaune de la région d'Ouargla, phénologie de la reproduction de l'Echasse blanche (*Himantopus himantopus*) dans le chott Ain El Beida. Mémoire magistère. Agr. Univ. Kasdi Merbah Ouargla

ANRH, 2005. Inventaire des forages d'eau de la wilaya d'El Oued. La Direction régionale Ouargla.

Baba Sy M., 2005. Recharge et paléorecharge du système aquifère du Sahara septentrional, Thèse Doct., Université de Tunis El Manar, Tunisie

Baba Sy M., Besbes M., 2006. Holocene recharge and present recharge of the Saharan aquifers. A study by numerical modelling, Colloque international - Gestion des grands aquifères - 30 mai-1er juin 2006, Dijon, France .

Bel F., & Demargne F., 1966. Etude géologique du Continental Terminal ; DEC, ANRH, Alger, Algérie, 24 planches.

Bel F., & Cuhe D., 1969. Mise au point des connaissances sur la nappe du Complexe Terminal ; ERESS. Ouargla. Algérie. 3 fig., 17 planches.

Bisson G., 1971. Principe, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. Thèse. Paris VI,

Bonnard et Gardel., 2004. Vallée du Souf. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Avant-projet sommaire, réseau de transfert et collecte. Mission IC, Rapport de synthèse. 555/011/B.

Bonnard et Gardel., 2004. Vallée du Souf. Étude d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique, APS du système de drainage vertical. Mission II- 6002.01/RN061.

BNEDR, 1992. Etude du schéma directeur de développement de l'agriculture de la wilaya d'El Oued. Alger.

Castany G., 1982. Bassin sédimentaire du Sahara septentrional (Algérie Tunisie). Aquifères du continental intercalaire et du complexe terminal. Bull. BRGM 2 III, Vol. 2.

Cornet A, 1961. Initiation à l'hydrogéologie saharienne. Cours ronéoté destiné aux officiers du cours préparatoire aux Affaires sahariennes. S.E.S. Birmandreis, Alger.

Cornet A., 1964. Introduction à l'hydrogéologie saharienne. Rev. Géogr.Phys. & Géol. Dyn., Vol. VI, France.

Cote M., 2006. Si le Souf m'était conté, comment fait et se défait un paysage. Édition Média-plus, Constantine.

Derouiche ; 2014. Impact de la remontée des eaux sur la qualité des eaux de la nappe phréatique et sur l'environnement dans la vallée du Souf (sud-est algérien). Thèse de Doctorat en Géologie appliquée. UNI BADJI Mokhtar-Annaba.

KHECHANA S., 2007. Etude de la gestion intégrée des ressources en eaux dans la vallée d'Oued souf (Sud-Est Algérien), Mémoire magistère en Hydrogéologie. Université BADJI MOKHTAR Annaba.

Meziani et al, 2012. La réutilisation des eaux usées dans la région de Souf-Sahara Algérien, Canadian Journal of Technology and Scientific Management, Vol. 1, Issue 1.

Miloudi A ; 2008. Mécanismes et remèdes de phénomène de la remontée des eaux dans la région d'Oued Souf, L'impact sur l'environnement de la région, mémoire Magistère Hydrolique. Univ Kasdi Merbah. Ouargla.

Najah A., 1970. Le Souf des Oasis. Edition Maison des livres, Alger.

O.N.M. (Office National de la Métrologie d'El-Oued), 2016. Bulletins mensuels de relevés des paramètres climatologiques en willaya d'El-Oued de 2000 à 2015.

REMINI B., 2005. L'évaporation des lacs de barrages dans les régions arides et semi arides, exemple Algérien, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 04,

Rodier J., Bazin C., Broutin J.P., Chambon P., Champsaur H. et rodi l., 2005. L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8ème édition. Ed. Dunod, Paris.

Rodier J., Legube B., Merlet N., 2009. Analyse de l'eau. 9ème édition. Ed. DUNOD, Paris.

Savary, 2010. Guide des analyses de la qualité de l'eau. Ed. territorial .

Serraye ; 2014. La problématique de gestion des excédents hydriques dans la ville d'El-Oued, Impacts environnementaux et recommandations, mémoire Magistère Ecologie et Environnement. Univ Kasdi Merbah. Ouargla.

UNESCO, 1972 a. Projet ERESS: Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. Rapport final (ERESS project: study of the northern Sahara water resources. Final report). United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Paris.

Voisin A.R., 2004. Les Souf monographie, Edition El-Walid, El Oued-Algérie.

Zaiz I., 2015. Etudes qualitative des eaux de la nappe du complexe terminal dans la vallée d'Oued Souf (Sud-Est algérien). Mémoire magistère en Hydraulique. Uni kasdi Merbah ;Ouargla.

Zine B., 2010. La remontée des eaux souterraines en surface: mécanisme et l'impact sur l'environnement (cas d'Oued Souf). Mémoire Magistère en Hydraulique. Univ El Hadj Lakhdar –Batna.

---

# *Annexe*

---

## Annexe I

**Tableau.:** Localisation, coordonnées et profondeur des ouvrages de captage de réseau de drainage vertical.

N°	Localisation	X (Deg dec)	Y (Deg dec)	CTN (m)	Profondeur ouvrage (m)
1	Château d'eau	6,870	33,393	74,22	26,22
2	Ecole Hazla Tahar	6,868	33,389	73,67	25,67
3	CM Tiksept Nord	6,840	33,388	74	26
4	Complexe sportif Tiksept	6,841	33,385	75,82	27,82
5	Parc Wilaya	6,869	33,385	76,43	28,43
6	St 1 Tiksept	6,844	33,382	76,13	28,13
7	Lycée Tiksept	6,844	33,379	76,78	28,78
9	Ecole nouvelle Tiksept ouest	6,838	33,377	79,32	31,32
10	Château d'eau El Gara	6,847	33,376	76,99	28,99
11	Ecole Gara Est	6,852	33,376	72,07	24,07
12	Forage CT Tiksept Ouest	6,842	33,375	77,94	29,94
13	Direction el Moudjahidine	6,860	33,375	66,75	18,75
14	CM El Gara Est	6,852	33,373	73,78	25,78
15	Ecole pratique Ali Ayadi	6,846	33,371	79,54	31,54
16	CM Bahi Ali El Gara Ouest	6,844	33,371	80,9	32,9
17	Mosquée El Kautar	6,861	33,371	71,04	23,04
18	CM Ghendire Omar	6,871	33,370	67,99	19,99
19	Ecole Djbeli Djbeli	6,857	33,369	74,31	26,31
20	Hôtel Louss	6,855	33,369	78,48	30,48
21	Nazla Mehria	6,867	33,368	72,85	24,85
22	Espace vert cité Nour	6,845	33,367	81,41	33,41
23	Annexe centre uni. El-Oued	6,842	33,367	80,97	32,97
24	Théâtre Aire libre	6,863	33,367	76,27	28,27
25	DTP	6,857	33,365	83,84	35,84
26	Siège Wilaya	6,850	33,367	82,64	34,64
27	Direction éducation (service paiements)	6,853	33,365	80,79	32,79
28	CM Ahrmed Tidjani 17 Octobre	6,844	33,364	81,23	33,23
29	Souk	6,868	33,364	74,74	26,74
30	APC El-Oued	6,857	33,363	79,93	31,93
31	Lycée Abdeaziz Cherif	6,852	33,364	80,74	32,74
32	Château d'eau Sidi Mestour	6,875	33,363	69,26	21,26
33	Siège Wali- Cité Ouled Ahmed	6,865	33,362	79,54	31,54
34	ADE centre-ville	6,860	33,362	80,11	32,11
35	St 3	6,846	33,362	78,49	30,49
36	St 400 logements	6,856	33,360	82,05	34,05
37	CFPA 3	6,862	33,359	80,86	32,86
38	CM Bachire Djab Alah	6,875	33,358	72,48	24,48
39	Ecole Mohamed Serouti	6,847	33,357	83,95	35,95
40	Ecole Negmouch M. Tahar Cité Rimel	6,855	33,358	87,64	39,64
41	Ecole Ouinissi El Hachmi	6,868	33,358	81,46	33,46
42	Château d'eau 300 logements	6,859	33,357	86,44	38,44
43	Hôtel des finances	6,847	33,354	86,74	38,74
44	Terrain de sport	6,855	33,355	87,24	39,24

45	Ecole Meiaci Abdelouahed	6,872	33,354	78,72	30,72
46	Ecole 300 logements	6,858	33,353	87,47	39,47
47	Annexe centre uni. El-Oued Sahane I	6,864	33,354	85,72	37,72
48	Ecole Essaghaïre El Mouldi I	6,866	33,350	80,52	32,52
49	Conservation des Forets	6,855	33,349	88,9	40,9
50	Cimetière Sahane I	6,871	33,349	78,34	30,34
51	Ecole Maragni Kalifa Sahane I	6,875	33,349	78,14	30,14
52	DHW	6,858	33,347	94,03	46,03
53	Ecole Kina El Aïch	6,871	33,345	80,88	32,88
54	Mosquée Sahane II	6,877	33,344	78,34	30,34
55	Résidence universitaire	6,872	33,341	80,23	32,23
56	Ecole Touati Ahmed Moustapha 1	6,879	33,340	78,9	30,9
57	Ecole Mirhouet Ali Ouled Touati	6,885	33,339	80,92	32,92
58	Ecole Bekakra Arbi Ben Ali	6,877	33,337	79,13	31,13

## Annexe II :

**Tableau.1** : Arrêté interministériel correspondant au 2 janvier 2012 fixant les spécifications des eaux utilisées à des fins d'irrigation

2. PARAMETRES PHYSICO - CHIMIQUES			
PARAMETRES		UNITÉ	CONCENTRATION MAXIMALE ADMISSIBLE
Physiques	pH	—	$6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$
	MES	mg/l	30
	CE	ds/m	3
	Infiltration le SAR = $\sigma - 3 \text{ CE}$		0.2
	3 - 6		0.3
	6 - 12	ds/m	0.5
	12 - 20		1.3
	20 - 40		3
Chimiques	DBO5	mg/l	30
	DCO	mg/l	90
	CHLORURE (Cl)	meq/l	10
	AZOTE (NO <sub>3</sub> - N)	mg/l	30
	Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	meq/l	8.5
Eléments toxiques (*)	Aluminium	mg/l	20.0
	Arsenic	mg/l	2.0
	Béryllium	mg/l	0.5
	Bore	mg/l	2.0
	Cadmium	mg/l	0.05
	Chrome	mg/l	1.0
	Cobalt	mg/l	5.0
	Cuivre	mg/l	5.0
	Cyanures	mg/l	0.5
	Fluor	mg/l	15.0
	Fer	mg/l	20.0
	Phénols	mg/l	0.002
	Plomb	mg/l	10.0
	Lithium	mg/l	2.5
	Manganèse	mg/l	10.0
	Mercur	mg/l	0.01
	Molybdène	mg/l	0.05
	Nickel	mg/l	2.0
	Sélénium	mg/l	0.02
	Vanadium	mg/l	1.0
Zinc	mg/l	10.0	

(\*) : Pour type de sols à texture fine, neutre ou alcalin.

**Tableau.2:** Normes de qualité physico-chimique d'eau destinée à l'irrigation (FAO 2003)

Problèmes Potentiels en Irrigation	Unités	Degré de restriction à l'usage		
		Aucun	Léger à modéré	Sévère
<b>Salinité</b>				
EC <sub>w</sub> <sup>1</sup>	dS/m	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
ou TDS	mg/l	< 450	450 - 2000	> 2000
<b>Infiltration</b>				
SAR <sup>2</sup> =0 - 3 et EC <sub>w</sub> =	dS/m	> 0.7	0.7 - 0.2	< 0.2
=3 - 6 =		> 1.2	1.2 - 0.3	< 0.3
=6 - 12 =		> 1.9	1.9 - 0.5	< 0.5
=12 - 20 =		> 2.9	2.9 - 1.3	< 1.3
=20 - 40 =		> 5.0	5.0 - 2.9	< 2.9
<b>Toxicité Spécifique des ions</b>				
<b>Sodium (Na)</b>				
Irrigation de surface	SAR	< 3	3 - 9	> 9
Irrigation par aspersion	méq/l	< 3	> 3	
<b>Chlorure(Cl)</b>				
Irrigation de surface	méq/l	< 4	4 - 10	> 10
Irrigation par aspersion	méq/l	< 3	> 3	
<b>Bore (B)</b>	mg/l	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
<b>effets divers</b>				
Azote (NO <sub>3</sub> -N) <sup>3</sup>	mg/l	< 5	5 - 30	> 30
Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> )	méq/l	< 1.5	1.5 - 8.5	> 8.5
<b>pH</b>	Gamme normale 6.5 - 8.4			

<sup>1</sup> EC<sub>w</sub> signifie la conductivité électrique en deci.Siemens par mètre à 25°C  
<sup>2</sup> SAR signifie le taux d'adsorption de sodium (sodium adsorption ratio)  
<sup>3</sup> NO<sub>3</sub> -N signifie l'azote sous forme de nitrate rapporté en terme d'azote élémentaire. NH<sub>4</sub>-N et N-organique devraient être également examinés dans les eaux usées.

**Tableau.3** : Limites recommandées en éléments traces dans les eaux destinées à des fins d'irrigation (FAO 2003)

Constituent	Utilisation à long terme <sup>b</sup> (mg/l)	Court terme <sup>c</sup> (mg/l)
Aluminium	5.0	20.0
Arsenic	0.10	2.0
Béryllium	0.10	0.5
Bore	0.75	2.0
Cadmium	0.01	0.05
Chrome	0.1	1.0
Cobalt	0.05	5.0
Cuivre	0.2	5.0
Fluor	1.0	15.0
Fer	5.0	20.0
Plomb	5.0	10.0
Lithium	2.5	2.5
Manganèse	0.2	10.0
Molybdène	0.01	0.05
Nickel	0.2	2.0
Sélénium	0.02	0.02
Vanadium	0.1	1.0
Zinc	2.0	10.0

<sup>a</sup> Adapté de: Académie nationale des sciences - National Academy of Engineering (1973)

<sup>b</sup> Pour l'eau utilisée sans interruption sur tous les sols

<sup>c</sup> Pour l'eau utilisée pendant une période d'au plus 20 ans sur des sols de texture fine, neutres ou alcalins

## Résumé

L'eau est un élément cosmique, au même titre que le soleil et la terre. Et l'eau souterraine était comme le sang de la terre. Mais lorsque on parle d'excédent d'eau en milieu désertique peut paraître aberrant à première vue.

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 (Ghouts), 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. Drainage

Dans notre étude, nous sommes intéressées à l'évaluation de la rentabilité de ces ouvrages hydrauliques sur le phénomène de la remontée par le suivi du niveau de la nappe et la qualité de ses eaux avant et après sa mise en service.

**Mots clés :** Eau, Nappe, Remontée, Oued Souf, réseau d'assainissement, réseau de drainage vertical.

### **Summary:**

The water is a cosmic element, the some title like the sun and the land. The insider water was like the blood of the land, but if we speak about the rising of water in the deserted middle may be aberrant for the first sight.

The region of El-Oued has faced the remounting of water since 40 years ago and which cannot be stopped each year. The phenomenon of the water rising of the phreatic layer has taken very big dimensions these twenty years ago. The use of the water of the profound layer considerably increased the volume of problems, with the absent of a natural exit to the domestic and artificial rejets. These were the principals' causes of this ecological unbalance.

Facing this problematic, El-Oued city was accommodated by a system of declension as net of assainissement and net of vertical declension. In our study, we were interested to the efficacy of these two institutions to put an end to this phenomenon by following the pisometric level of the phreatic layer and the quality of her water before and after the working of these constructions.

**Keywords:** water, layer, remounting, Oued Souf, solutions.

## ملخص:

الماء عنصر كوني مثل الشمس و الأرض، و المياه الباطنية مثل الدم للأرض و لكن عندما نتحدث عن زيادة الماء في الوسط الصحراوي يظهر لنا شذوذا في الوهلة الأولى. إن منطقة الوادي تواجه ظاهرة صعود المياه منذ الأربعين سنة، حيث تعتبر مدينة الوادي الأكثر تضررا بين كل بلديات منطقة سوف. تصريف المجاري

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 ن الاقتصادي و الصحي لمنطقة الوادي.

لمواجهة هذه المعضلة، جهزت مدينة الوادي بشبكتي صرف: شبكة صرف صحي لتصريف المياه القذرة و شبكة صرف عمودي لتصريف مياه المناطق المغمورة. و في هذا الصدد؛ نحن مهتمون في هذه الدراسة بمدى فعالية هاتين الشبكتين في القضاء على هذه الظاهرة وذلك بمتابعة المستوى البيزو متري لهذه الطبقة و نوعية مياهها قبل و بعد تشغيل هاتين المنشأتين .

**الكلمات المفتاحية:** الماء ، الطبقة ، صعود ، وادي سوف، شبكة صرف صحي، شبكة صرف عمودي.