

Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf - Mila
Institut des Sciences et de Technologie
Département de génie civil et hydraulique



N° Réf :

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de
Master
Spécialité : Hydraulique urbaine.

THEME

**GESTION DE PHENOMENE DE LA REMONTEE
DES EAUX SOUTERRAINES DANS LA VILLE
D'OUED SOUF (SE ALGERIEN)**

Présenté par :

-BEN CHIKH EL HOCINE KHALED

-BOUHENNACH FATEH

Dirigé par :

- Dr. Dib Imane

Année universitaire : 2020/2021

DEDICACES

***Remerciez Dieu pour tout ce qu'il m'a donné pour que je
puisse finir ce travail.***

je voudrais exprimer ma gratitude

***Et ma grande fierté et mon amour infini pour mon père et
ma mère généreux pour les grands efforts et les
encouragements qu'ils m'ont donnés***

Afin de terminer mes études.

***Aussi, merci beaucoup pour Mes frères pour leur aide, leurs
conseils avisés, leurs orientations et leur soutien tout au
long de mon parcours académique.***

A ma binôme khaled et toute sa famille

***Aussi, je n'oublie pas tous les amis religieux qui m'ont
soutenu et tout le soutien qu'ils m'ont apporté.***

BOUHENNACH FATEH

DEDICACES

Je dédis ce modeste travail à ma famille, surtout mes parents, à mes frères, ma sœur, à tous mes camarades de parcours, à tous mes amis et collègues, à tous mes enseignants.

BEN CHIKH LE HOCINE KHALED

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
----------------------------	---

CHAPITRE I : CADRE NATUREL

I.1	SITUATION GEOGRAPHIQUE :	4
I.1.1	Coordonnées géographiques :.....	5
I.1.2	Toponymie :.....	5
I.1.3	Relief :.....	5
I.1.4	Sol :.....	5
I.1.5	Couverture végétale :.....	6
I.2	CONTEXTE SOCIOLOGIQUE :.....	6
I.3	CONTEXTE ECONOMIQUE :.....	8
I.3.1	L'artisanat :.....	8
I.3.2	Le commerce :.....	8
I.3.3	L'industrie:	8
I.3.4	L'agriculture :	9
I.4	CONTEXTE DES RESSOURCES HYDRIQUES :	10
I.4.1	Alimentation en eau potable (AEP) :.....	10
I.4.2	Usage agricole de l'eau (Alimentation en Eau d'Agriculture AEA) :.....	11
I.4.3	Utilisation industrielle de l'eau (AEI) :.....	11
I.5	GEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE :.....	11
I.5.1	Stratigraphie locale :.....	12
I.5.1.1	Formations du secondaire :.....	13
I.5.1.2	Formations de l'ère Tertiaire :.....	14
I.5.1.3	Formations du quaternaire :.....	15
I.5.2	Interprétation des coupes géologiques :.....	18
CONCLUSION.....		20

CHAPITRE II:HYDROCLIMATOLOGIE :

INTRODUCTION.....	22
-------------------	----

II.1	ETUDE DES PARAMETRES CLIMATIQUES :	22
II.1.1	Précipitations :	24
II.1.1.1	Répartition moyenne mensuelle des pluies :	24
II.1.1.2	Répartition moyenne annuelle des pluies :	25
II.1.2	Température :	26
II.1.2.1	Température moyenne mensuelle :	26
II.1.2.2	Températures moyennes annuelles :	27
II.1.3	Synthèse climatique :	28
II.1.3.1	Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls (1952) :	28
II.1.3.2	Climagramme d'Emberger (1955) :	28
II.1.3.3	L'indice d'aridité :	29
II.1.4	L'humidité :	30
II.1.5	Vent:	31
II.1.6	Insolation:	32
II.1.7	Evaporation	33
II.2	CALCUL DU BILAN HYDRIQUE :	34
II.2.1	Evapotranspiration :	34
II.2.1.1	Evapotranspiration potentielle (ETP) :	35
II.2.1.2	Evapotranspiration réelle (ETR) :	39
II.2.2	Estimation de la réserve facilement utilisable (RFU) :	40
II.2.3	Déficit agricole (Da) :	41
II.2.4	Excédent (Exc) :	41
II.2.5	Interprétation du bilan hydrologique de Thornthwaite:	41
II.2.6	Ruissellement (R) :	43
	CONCLUSION.....	43

CHAPITRE III : HYDROGEOLOGIE :

	INTRODUCTION.....	45
III.1	DIFFERENTS AQUIFERES :	46
III.1.1	La Nappe phréatique:	47
III.1.2	Complexe Terminal.....	49
III.1.2.1	La première nappe des sables	49
III.1.2.2	La deuxième nappe des sables.....	50

III.1.2.3	L'aquifère des calcaires Sénonien-Eocène	50
III.1.2.4	Piézométrie et direction des écoulements.....	50
III.1.3	Nappe du Continental Intercalaire C.I :	52
III.1.3.1	Les ressources en eaux du Continental Intercalaire	52
III.1.3.2	Piézométrie et direction des écoulements.....	54
III.1.4	L'importance des aquifères CT et CI:.....	55
III.2	HISTORIQUE DE LA REMONTEE DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE DU SOUF	56
III.2.1	Avant 1956.	56
III.2.2	De 1956 à 1986.	58
III.2.3	De 1986 à 1993	62
III.2.4	De 1993 jusque 2011	63
III.2.5	Origine du phénomène	65
III.3	ETUDE PIEZOMETRIQUE:.....	66
III.3.1	Définition d'un system d'information géographique (SIG) :.....	66
III.3.1.1	Comment fonctionne un SIG :	66
III.3.1.2	Domaines d'application de SIG :.....	67
III.3.2	Inventaire des points d'eau	67
III.3.3	La piézométrie de mois de Mai 2008 :.....	68
III.3.4	La piézométrie du mois de Mai 2014 :	70
III.3.5	La piézométrie entre 2008 et 2014 :.....	71
III.3.6	La piézométrie du mois de Mai 2016 :	72
III.3.7	La piézométrie entre 2014 et 2016 :.....	73
	CONCLUSION.....	74

CHAPITRE IV : HYDROCHIMIE

	INTRODUCTION.....	76
IV.1	FACIES DES EAUX PAR DIFFERENTES METHODES :.....	76
IV.1.1	Caractéristiques chimiques des eaux :.....	76
IV.1.2	Les paramètres physiques :	77
IV.1.2.1	Potentiel d'Hydrogène (pH) :	77
IV.1.2.2	Le titre Hydrotimétrique TH :	78
IV.1.2.3	Conductivité électrique (CE) :.....	78

IV.1.2.4	Température (T°) :	78
IV.1.3	Diagramme de faciès chimique représentant un seul échantillon d'eau :	79
IV.2	Diagrammes de faciès chimique pouvant représenter plusieurs échantillons d'eau simultanément	80
IV.2.1	Diagrammes Piper :	80
IV.2.2	Diagrammes de Schöeller-Berkaloff :	81
IV.2.3	Diagramme de Wilcox :	82
IV.3	APTITUDE DES EAUX A L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE :	84
IV.3.1	Calcul de l'indice de qualité des eaux souterraine IQE :	84
IV.3.2	Aptitude des eaux à l'irrigation :	86
IV.3.2.1	Classification selon le SAR :	86
IV.3.2.2	Classification selon le pourcentage en sodium (Na%) :	87
IV.3.2.3	PH (le potentiel hydrogène) :	88
IV.3.2.4	Indice de perméabilité (IP) :	89
IV.3.2.5	Risque de magnésium (RM) :	89
IV.3.2.6	Salinité :	90
IV.3.3	Évaluation de l'indice de qualité des eaux d'irrigation (IQEI) :	91
	CONCLUSION.....	94

CHAPITRE V : GESTION DU PHENOMENE DE LA REMANTEE :

	INTRODUCTION.....	96
V.1	IMPACTS DE LA REMONTEE DU NIVEAU PIEZOMETRIQUE DE LA NAPPE	
	PHREATIQUE SUR L'ENVIRONNEMENT :	96
V.1.1	Diminution du nombre des ghouts :	96
V.1.2	Pollution de l'eau de la nappe phréatique :	97
V.1.3	Salinisation du sol :	97
V.1.4	Propagation de moustique :	98
V.1.5	Danger de chute des bâtiments :	98
V.2	SOLUTIONS PROPOSEES :	98
V.2.1	Assainissement :	98
V.2.2	Drainage :	99

V.2.3	Epuration :.....	99
V.2.4	Réduction des fuites de réseau AEP :	99
V.2.5	Lutte contre le gaspillage d'eau :.....	99
V.3	OBJECTIF DES SOLUTIONS PROPOSEES :.....	99
CONCLUSION.....		100
CONCLUSION GENERAL.....		103

VI BIBLIOGRAPHIE

ANEXES

Liste des tableaux

CHAPITRE I : CADRE NATUREL

TABLEAU I-1 : ÉVOLUTION DEMOGRAPHIQUE DE LA POPULATION D'EL OUED (1977-2008).	6
TABLEAU I-2 : REPARTITION DE LA SUPERFICIE ET DU NOMBRE D'HABITANT ET DE LA DENSITE APPARENTE PAR COMMUNE DE LA WILAYA D'EL-OUED.....	7
TABLEAU I-3 : EXPLOITATION DES RESSOURCES HYDRIQUES SOUTERRAINES DANS LA WILAYA D'EL-OUED (ANRH, 2005).	10
TABLEAU I-4: COMPOSITION LITHOLOGIQUE DE LA REGION D'ETUDE, (D'APRES DRE D'EL OUED, 2015).	16

CHAPITRE II:HYDROCLIMATOLOGIE

TABLEAU II-1 : COORDONNEES DE LA STATION METEOROLOGIQUE DE GUEMAR A OUED SOUF EN DEGRES DECIMAUX.....	23
TABLEAU II-2 : PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES DE LA STATION DE GUEMAR, (1990/2019) PAR WEB POWER DATA ACCESS VIEWER.....	24
TABLEAU II-3 : MOYENNE ANNUELLE DES PRECIPITATIONS, (1990/2019).	25
TABLEAU II-4 : TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES DE LA STATION DE GUEMAR, (1990/2019).	26
TABLEAU II-5 : MOYENNE ANNUELLE DES TEMPERATURES DE LA STATION DE GUEMAR, (1990/2019)....	27
SUR LA BASE DES FOURCHETTES DE L'INDICE D'ARIDITE FIXEES PAR DE MARTONE (TAB. II-6), NOUS POUVONS TIRER LE TYPE DE CLIMAT DE NOTRE REGION D'ETUDE.....	30
TABLEAU II-7 : TYPE DE CLIMAT EN FONCTION DE L'INDICE D'ARIDITE (SELON DE MARTONNE).....	30
TABLEAU II-8 : REPARTITION MOYENNE MENSUELLE DE L'HUMIDITE, AU NIVEAU DE LA STATION DE GUEMAR, (1990-2019).	30
TABLEAU II-9 : REPARTITION MOYENNEMENSUELLE DE LA VITESSE DU VENT, AU NIVEAU DE LA STATION DE GUEMAR (1990-2019).	32
TABLEAU II-10 : DUREE D'INSOLATION MOYENNE MENSUELLE AU NIVEAU DE LA STATION DE GUEMAR (1990 – 2015).	33
TABLEAU II-11 : EVAPORATION MOYENNE MENSUELLE AU NIVEAU DE LA STATION DE GUEMAR (1990/2015).....	34

TABLEAU II-12: COEFFICIENT D'AJUSTEMENT K EN FONCTION DE LA LATITUDE (ENSEEIH FR).....	36
TABLEAU II-13 : CALCUL DE L'ETP PAR LA FORMULE DE THORNTHWAITE, POUR UNE PERIODE DE 30 ANS (1990-2019), A LA STATION DE GUEMAR.....	37
TABLEAU II-14 : RADIATION SOLAIRE GLOBALE THEORIQUE (1990-2019), (SELON WEB POWER DATA ACCESS VIEWER).....	38
TABLEAU II-15 : ESTIMATION DE L'ETP PAR LA METHODE DE TURC (1960).	38
TABLEAU II-16 : RESULTATS DE L'APPLICATION NUMERIQUE DE LA FORMULE DE TURC.....	40
TABLEAU II-17 : BILAN HYDRIQUE D'APRES THORNTHWAITE POUR UNE PERIODE DE 30 ANS (1990-2019).	42

CHAPITRE III : HYDROGEOLOGIE

TABLEAU III. 1:PRESENTATION DU BASSIN (SASS) (OSS, 2003).	53
--	----

CHAPITRE IV : HYDROCHIMIE

TABLEAU IV- 1: RESULTATS DE PH DE LA REGION D'OUED SOUF	77
TABLEAU IV- 2 : POTABILITE EN FONCTION DE LA DURETE DE L'EAU (NORMES DE L'OMS).....	78
TABLEAU IV- 3 : DURETE DES EAUX SOUTERRAINES DE LA REGION D'OUED SOUF.....	78
TABLEAU IV- 4: TEMPERATURE DES EAUX ANALYSEES DE LA REGION D'OUED SOUF.	79
TABLEAU IV- 5: CLASSIFICATION DES EAUX PAR DEGRES D'APTITUDE A L'IRRIGATION PAR LA METHODE DU RICHARDS (LOUVRIER, 1976).....	83
TABLEAU IV- 6 : CLASSIFICATION ET USAGE POSSIBLE DE L'EAU SELON L'IQE.	85
TABLEAU IV- 7: PONDERATION DES PARAMETRES DE QUALITE.	85
TABLEAU IV- 8 : RESULTATS DES IQE	86
TABLEAU IV- 9: LE SAR DES EAUX ANALYSEES.	87
TABLEAU IV- 10 : CLASSIFICATION DE L'EAU BASEE SUR LE POURCENTAGE EN SODIUM.....	87
TABLEAU IV- 11: CLASSIFICATION DES EAUX ANALYSEES DE LA REGION D'OUED SOUF, SELON LE POURCENTAGE EN SODIUM.	88
TABLEAU IV- 12: CLASSIFICATION DES EAUX SOUTERRAINES DE LA NAPPE PHREATIQUE D'OUED SOUF PAR L'INDICE DE PERMEABILITE.....	89
TABLEAU IV- 13: RESULTATS RISQUE DE MAGNESIUM (RM)	90
TABLEAU IV- 14: CLASSIFICATION DE LA SALINITE DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE	91

TABLEAU IV- 15: CLASSIFICATION DES PARAMETRES DE L'INDICE DE QUALITE DES EAUX D'IRRIGATION (IQEI).	92
TABLEAU IV- 16: RESULTATS DE L'INDICE DE QUALITE DES EAUX D'IRRIGATION (IQEI)	93
TABLEAU IV- 17: CLASSIFICATION DE L'INDICE DE QUALITE DES EAUX POUR L'IRRIGATION (IQEI)	94

LISTES DES FIGURES

CHAPITRE I : CADRE NATUREL

FIGURE 1 : SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA REGION D'EL OUED.	4
FIGURE 2 : PLAN GEOLOGIQUE DE GRAND ERG ORIENTAL, (BABA SY.M, 2005)	12
FIGURE 3 : COUPE TECHNIQUE ET GEOLOGIQUE D'UN FORAGE A EL OUED.	17
FIGURE 4 : COUPE GEOLOGIQUE N° 1, (ANRH, 1989).	18
FIGURE 5 : COUPE GEOLOGIQUE N° 2, (ANRH, 1989).	19
FIGURE 6 : COUPE GEOLOGIQUE N° 3, (ANRH, 1989).	20

CHAPITRE II: HYDROCLIMATOLOGIE

FIGURE II. 1: LOCALISATION DE LA STATION METEOROLOGIQUE DU GUEMAR PAR POWER DATA ACCESS VIEWER.	23
FIGURE II. 2: HISTOGRAMME DES PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES DE LA STATION DE GUEMAR, (1990 – 2019).	24
FIGURE II. 3: VARIABILITE DES PRECIPITATIONS ANNUELLES DE LA STATION DE GUEMAR, DURANT LA PERIODE 1990/2019.	25
FIGURE II. 4: TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES (MAXIMALES, MOYENNES ET MINIMALES) DE LA STATION DE GUEMAR, (1990/2019).	26
FIGURE II. 5: DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE DE LA REGION DE LA STATION DE GUEMAR, (1990- 2019)	28
FIGURE II. 6 : CLIMAGRAMME D'EMBERGER.	29
FIGURE II. 7: HUMIDITE RELATIVE DE LA STATION DE GUEMAR, (1990/2019).	31
FIGURE II. 8: HISTOGRAMME DE LA VITESSE MOYENNE MENSUELLE DE VENT AU NIVEAU DE LA STATION DE GUEMAR (2006-2019).	32
FIGURE II. 9: HISTOGRAMME DE LA DUREE D'INSOLATION MOYENNE MENSUELLE AU NIVEAU DE LA STATION DE GUEMAR (1990-2015).	33
FIGURE II. 10: VARIATION DE L'EVAPORATION MOYENNE MENSUELLE AU NIVEAU DE LA STATION DE GUEMAR (1990/2019).....	34
FIGURE II. 11 : SCHEMA SIMPLIFIE EXPLIQUANT LA DIFFERENCE ENTRE L'ETP ET L'ETR.	35
FIGURE II. 12: VARIATION DE L'ETP PAR LES METHODES DE TURC ET DE THORNTHWAITE.	39
FIGURE II. 13: REPRESENTATION GRAPHIQUE DU BILAN DE THORNTHWAITE.	42

CHAPITRE III : HYDROGEOLOGIE :

FIGURE III. 1 : DELIMITATION DU "SASS" (OSS, 2003).	;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURE III. 2 : RECAPITULATIF DES SYSTEMES AQUIFERES D'EL-OUED (KHECHANA S, 2007). ...	47
FIGURE III. 3 : ZONE D'ALIMENTATION DE LA NAPPE PHREATIQUE ET LE SENS D'ECOULEMENT DE LA NAPPE (COTE M, 2006).	48
FIGURE III. 4 : COUPE HYDROGEOLOGIQUE TRANSVERSALE DU "CT" (UNESCO, 1972)	49
FIGURE III. 5 : LIMITES DE L'AQUIFERE DU COMPLEXE TERMINALE AVEC LES NIVEAUX PIEZOMETRIQUE ET LES SENS D'ECOULEMENT (BABA SY ET AL. 2006).	51
FIGURE III. 6 : PIEZOMETRIE DU CONTINENTAL INTERCALAIRE. (OSS, 2003)	54
FIGURE III. 7 : CARTE GEOLOGIQUE DU SAHARA SEPTENTRIONAL AVEC LE SENS D'ECOULEMENT DU CT ET CI. ERESS MODIFIEE PAR (GUENDOUZ ET AL, 2003).	55
FIGURE III. 8 : LES NOMBRES DES PALMIERS DU SOUF AU DEBUT DE XXe SIECLE (NAJAH A, 1970).	57
FIGURE III. 9 : LA NAPPE PHREATIQUE AVANT 1956	57
FIGURE III. 10 : LA VILLE D'EL OUED, VUE D'AVION EN 1980 (COTE MARC, 2006)	59
FIGURE III. 11 : EVOLUTION DE LA SITUATION DES GHOUTS AUTOUR D'EL OUED EN 1980	60
FIGURE III. 12 : EVOLUTION DES NOMBRES DES PALMIERS AU DEBUT DES ANNEES 80	61
FIGURE III. 13 : SITUATION DES GHOUTS D'EL OUED EN 1986 (COTE, 1998).	61
FIGURE III. 14 : LA NAPPE PHREATIQUE ENTRE 1956 A 1986 (ZINE B, 2010)	62
FIGURE III. 15 : LA NAPPE PHREATIQUE APRES 1986. (ZINE B, 2010)	63
FIGURE III. 16 : LES NOMBRES DES FORAGES PROFONDS DANS LA REGION DU SOUF A LA DERNIERE DECENNIE (DHW, 2016).	64
FIGURE III. 17 : L'ACCROISSEMENT DES VOLUMES SOUTIRES DANS LA REGION DU SOUF A LA DERNIERE DECENNIE (DHW, 2016).	64
FIGURE III. 18 : ETENDUE D'UNE REMONTEE (RECIUI, 2013).	65
FIGURE III. 19 : FORME DE COUCHES THEMATIQUES EN SIG	66
FIGURE III. 20 : RESEAU DE SURVEILLANCE DE LA VILLE D'OUED SOUF.	68
FIGURE III. 21 : NIVEAU PIEZOMETRIQUE DE LA NAPPE PHREATIQUE DE LA COMMUNE D'EL OUED EN 2008.	69
FIGURE III. 22 : NIVEAU PIEZOMETRIQUE DE LA NAPPE PHREATIQUE DE LA COMMUNE D'EL OUED EN 2014.	70
FIGURE III. 23 : CARTE D'EVOLUTION DU NIVEAU PIEZOMETRIQUE ENTRE L'ANNEE 2008 ET L'ANNEE 2014 DE LA VILLE D'EL-OUED.	71
FIGURE III. 24 : CARTE PIEZOMETRIQUE DE LA NAPPE PHREATIQUE EN MAI 2016.	72

FIGURE III. 25: CARTE D'EVOLUTION DU NIVEAU PIEZOMETRIQUE ENTRE L'ANNEE 2014 ET L'ANNEE 2016 DE LA VILLE D'EL-OUED.	73
--	----

CHAPITRE IV : HYDROCHIMIE

FIGURE IV- 1: POINTS DE PRELEVEMENT D'ECHANTILLONS D'EAUX DANS LA REGION D'OUED SOUF.	77
FIGURE IV- 2: DIAGRAMME DE STABLER DES EAUX ANALYSEES CAPTANT LA NAPPE PHREATIQUE D'OUED SOUF.	79
FIGURE IV- 3: DIAGRAMME DE PIPER DES EAUX ANALYSEES CAPTANT LA NAPPE PHREATIQUE D'OUED SOUF.	80
FIGURE IV- 4: DIAGRAMME DE SCHÖELLER-BERKALOFF DES EAUX ANALYSEES CAPTANT LA NAPPE PHREATIQUE D'OUED SOUF.	82
FIGURE IV- 5: DIAGRAMME DE WILCOX DES EAUX ANALYSEES CAPTANT LA NAPPE PHREATIQUE D'OUED SOUF.	83
FIGURE IV- 6: TDS DES EAUX ANALYSEES DANS LA REGION D'OUED SOUF	91

CHAPITRE V : GESTION DU PHENOMENE DE LA REMANTEE

FIGURE V. 1: PHOTO SATELLITAIRE DE LA ZONE D'ETUDE EN 2005 (KHERICI, 2014)	97
FIGURE V. 2: SALINISATION DU SOL « LA CITE CHOOT (2009) »	97
FIGURE V. 3: LEISHMANIOSE CUTANEE (A. ALLIA).....	98
FIGURE V. 4: SCHEMA D'UN RESEAU DE COLLECTE D'EAU EPUREE.	99

LISTE DES ABREVIATIONS

ADE: Algérienne Des Eaux.

AEA : Alimentation en Eau d'Agriculture.

AEI : Alimentation en Eau d'Industrie.

AEP : Alimentation en Eau Potable.

ANRH: Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

CI: Continental Intercalaire.

CT: Complexe Terminal.

DHW : Direction de l'hydraulique de la Wilaya

DSA : Direction des Services Agricoles.

ONA: Office National d'Assainissement.

ONM : Office National Météorologique.

BG : Bonnard & Gardel.

SAU : Surface Agricole Utile.

STEP: Station d'épuration.

المخلص

نزر بلادنا حفظها الله ورعاها بخيرات لا يمكن احصاؤها فحتى الصحراء وعلى غرار منطقة الوادي بالرغم من مناخها الحار والفاسي فهي تنام على ثروة من المياه الجوفية ولكن زيادة الكثافة السكانية في المنطقة ومع ازدياد العديد من الأنشطة الاقتصادية مثل الزراعة وغيرها والاستغلال المفرط للمياه الجوفية العميقة . أدى هذا تدهور النظام البيئي ممثلا في ظاهرة صعود المياه في هذا البحث سنحاول دراسة اسباب هذه الظاهرة وكذا بحث طرق القضاء عليها .
الكلمات المفتاح : ظاهرة صعود المياه ، تدهور النظام البيئي ، وادي سوف .

Resumée

Notre pays, que Dieu le protège et en prenne soin, regorge de richesses incalculables. Même le désert, semblable à la région de la vallée, malgré son climat chaud et rude, dort sur une richesse d'eaux souterraines, mais la densité de population dans la région a augmenté et avec l'augmentation de nombreuses activités économiques telles que l'agriculture et autres, et l'exploitation excessive des eaux souterraines. Cela a conduit à la détérioration de l'écosystème représentée par le phénomène de montée des eaux

Dans cette recherche, nous essaierons d'étudier les causes de ce phénomène et discuterons des moyens de l'éliminer.

Mots clés: phénomène de la remonte des eaux , écosystème, Ouad souf

Abstract

Our country, may God protect it and take care of it, abounds with incalculable bounties. Even the desert, like the valley region, despite its hot and harsh climate, sleeps on a wealth of groundwater, but the increase in population density in the region and with the increase of many economic activities such as agriculture and others, and the excessive exploitation of groundwater. Deep. This led to the deterioration of the ecosystem represented by the phenomenon of rising water

In this research, we will try to study the causes of this phenomenon and discuss ways to eliminate it

Keywords: upwelling phenomenon, ecosystem, Oued souf

INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est une composante essentielle de la vie de tous les organismes vivants de la planète, où elle existe sous deux formes : les eaux de surface et les eaux souterraines.

Les eaux souterraines constituent des réserves d'eau stockés dans les roches poreuses et perméables du sous-sol. Loin d'être isolées du cycle de l'eau, elles communiquent avec les milieux aquatiques de surface.

Les nappes phréatiques sont celles qui se trouvent près de la surface. Leur faible profondeur les rend facilement accessibles pour les activités humaines.

Ces dernières années, un des problèmes crucial de notre zone d'étude qui est la ville d'Oued Souf est la remontée des eaux souterraines en surface. Les autorisés de la wilaya lancent un appel à toute la communauté scientifique compétente du pays pour étudier ce phénomène et trouver des solutions. En effet, la wilaya et surtout la ville sont menacées par ce fléau, surtout en hiver où le gradient de remontée des eaux en surface par capillarité ne cesse d'augmenter. La recherche d'une explication concernant cette remontée des eaux en surface est devenue une nécessité. L'origine de la remontée des eaux dans cette région du Nord-est Saharien paraît liée à diverses hypothèses .

Notre recherche se veut une contribution de réponse aux questions suivantes :

- Quels sont les caractéristiques socio-économiques, géologiques et climatologiques de la région ?
- Quels sont les relations existantes entre l'aquifère superficiel et les aquifères profonds ?
- Quel est la qualité des eaux souterraines, vis-à-vis aux normes algériennes et celles de l'OMS ?
- Quels est l'origine de la minéralisation des eaux de la nappe libre ?
- Quels sont les différents polluants chimiques existant dans l'eau ainsi que leurs origines ?
- Quels sont les solutions proposées pour arrêter ce phénomène.

Après avoir collecté des informations auprès de certaines autorités locales d'irrigation (DRH, ADE, ONA, DSA...), et utilisé les informations disponibles sur Internet, nous allons essayer de répondre aux questions posées par cette étude en mettant sur pied le plan de travail suivant :

- Le premier chapitre est consacré au cadre naturel de la zone d'étude, en présentant la situation géographique et géologique.
- Le deuxième chapitre traite l'hydroclimatologie de la région en présentant les paramètres climatiques et en calculant le bilan hydrologique par différentes méthodes.
- Le troisième chapitre concerne l'hydrogéologie de la région en mettant l'accent sur les différents aquifères disponibles et la piezométrie de la nappe phréatique.
- Le quatrième chapitre concerne l'étude hydrochimique des eaux de la nappe phréatique afin d'évaluer leur qualité par l'indice de qualité des eaux en vue d'une consommation humaine et à l'irrigation.
- Le cinquième chapitre sera consacré à la gestion de phénomène de la remontée, en présentant l'impact du phénomène sur l'environnement et les solutions proposées.

CHAPITRE I :

CADRE NATUREL

I Cadre naturel

I.1 Situation géographique :

El Oued ou Oued Souf, est une commune de la wilaya d'El Oued, dont elle est le chef-lieu. Elle est située dans le Nord-Est du Sahara algérien et à 212 km au Nord-est d'Ouargla et à 512 km au Sud-Est d'Alger (Côte, 1996).

Le Souf est délimité (Figure 1) :

- A l'Est par la république tunisienne et par une série de chotts.
- Au Nord - Est par Tébessa.
- Au Nord par Khenchela et Biskra.
- Au Nord-Ouest par Biskra.
- A l'Ouest par Djelfa, Oued RIGH et par la ligne de palmeraie qui coure de Biskra à Touggourt.
- Au Sud-Ouest et Sud par Ouargla et par la mer des dunes du grand erg oriental.

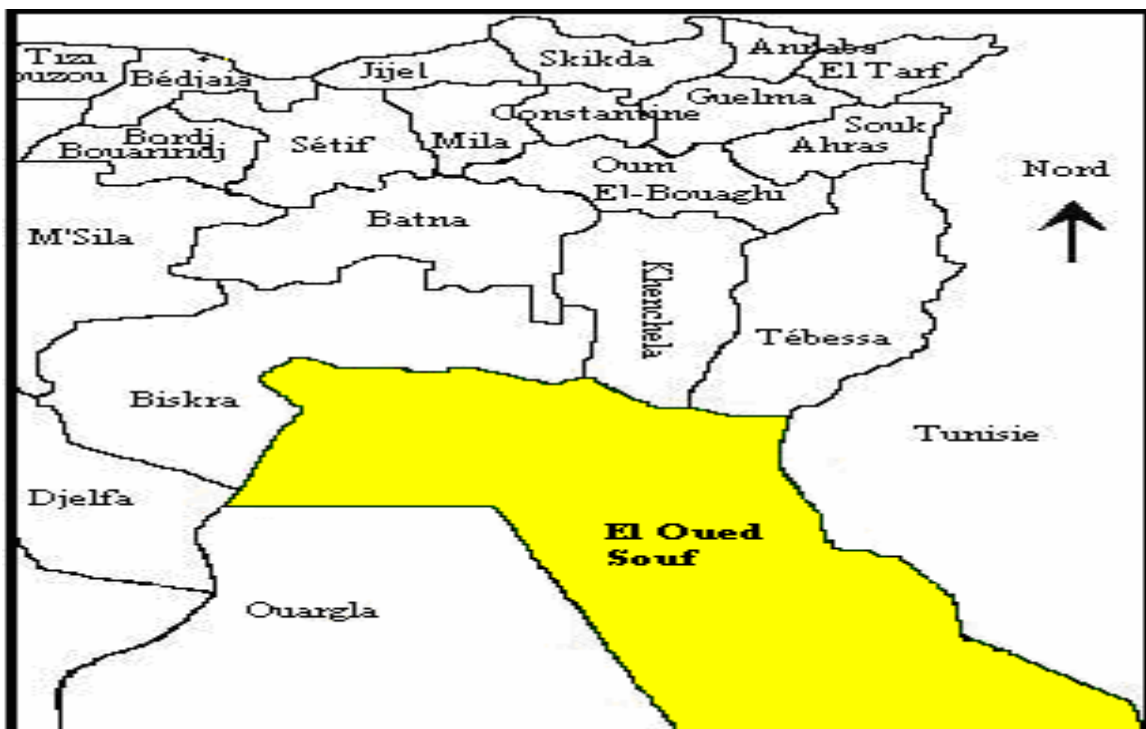


Figure 1: Situation géographique de la région d'El Oued.

Mais ses frontières sont plus amples si on considère l'aire de pâturage des nomades qui s'étend au Nord jusqu'au monts Nementchas (contreforts des Aures), et au Sud jusqu'à la frontière libyenne (*tawfisouk*).

I.1.1 Coordonnées géographiques :

Selon (dateandtime.info) :

Les coordonnées d'Oued Souf en degrés, minute, seconde sont :

Latitude : 33°21'21" Nord.

Longitude : 6°51'47" Est.

Les coordonnées UTM d'Oued Souf sont :

Zone UTM : 32S

X : 301175.41675823

Y : 3692802.2520962

I.1.2 Toponymie :

Le toponyme d'origine du lieu « Souf » provient du terme « Suf », qui signifie fleuve, rivière ou oued en berbère (Haddadou, 2006/2007). « Oued Souf » est un pléonasma. Le nom « oued » signifie en arabe cours d'eau, en référence à un cours d'eau disparu de nos jours. Les chroniqueurs arabes racontent que lors de l'arrivée des travaux dans le Souf au xive siècle, ils ont découvert que l'oued-Souf encore visible. El Oued est surnommée aussi la « ville aux mille coupoles » (*Cheurfi, 2011*).

I.1.3 Relief :

La ville d'El Oued est pratiquement au niveau de la mer 75 m (Côte, 1996). Topographiquement, la ville est caractérisée par une faible pente, où on retrouve deux paysages : des grandes dunes de sable et des palmeraies (*Medarag, 2009*).

D'après (VOISIN, 2004), le relief du Souf est presque tout entier compris entre deux lignes de dunes orientées d'Est vers l'Ouest : la première est septentrionale, elle est la courbe de 50 m, et la seconde sise au Sud, elle est celle des 100 m. Une troisième ligne, reliant les points de 75 m, est parallèle à ces deux lignes par rapport à leur milieu. La courbe de niveau des 50 m passe par Réguiba, Magrane et Hassi-Khelifa. Celle des 75 m relie Guémar à Z'goum et la courbe des 100 m, Oued-Ziten, Amiche et El-Ogla. Le plus haut sommet du Souf est une dune de 127 m, située à 2 km au Sud d'Amiche. Entre ces lignes de dunes, des terres plates (Sahane) forment des dépressions entourées de dunes (*NADJAH, 1971*).

I.1.4 Sol :

Les sols de la région du Souf sont généralement peu évolués et typique de régions sahariennes. C'est un sol pauvre en matière organique, alors ne contient pas de micro-

organismes, à texture sablonneuse et à une perméabilité très importante à l'eau (**HELISSE, 2007**).

I.1.5 Couverture végétale :

Elle est l'œuvre artificielle de ses habitants. Les palmeraies sont enfouies dans d'énormes entonnoirs (ghouts), au fond desquels s'épanouissent les palmiers-dattiers dont les racines s'alimentent directement de la nappe superficielle ; l'irrigation est inutile (avant la remontée des eaux).

I.2 Contexte sociologique :

El-Oued devient une commune depuis 1957, une wilaya depuis janvier 1984, ce découpage a pour but de faciliter les conditions de vie sociale, culturelle, professionnelle et de limiter les difficultés dues à l'isolement. Lors du découpage administratif de 1984, la commune d'El Oued est composée à partir de six localités (*Journal officiel de la République Algérienne, 1984*) : El Oued - Mahda - Legtouta - Keraïma - Oum Sahaouine - Mih Bahi Sud.

Selon le recensement général de la population et de l'habitat de 2008, la population de la commune d'El Oued est évaluée à 134 699 habitants, contre 105 256 habitants en 1998 (citypopulation). Son agglomération urbaine qui s'étend sur les communes de Robbah, Bayadha et Kouinine, compte 187 000 habitants. Elle est l'une des plus importantes agglomérations urbaines du Sahara algérien, et la douzième au niveau national (Fontaine, 2018). La population de la commune a connu une croissance démographique rapide depuis l'indépendance, avec toutefois un ralentissement à partir des années 1990 (**Medarag, 2009**) (Tableau 1).

Tableau I-1 : Évolution démographique de la population d'El Oued (1977-2008).

Évolution démographique (habitants)			
1977	1987	1998	2008
47 173	70 073	146 521	679064

Aujourd'hui, El Oued se repose sur une superficie qui est égale à 44586 km² divisée en 30 communes avec une population de 679064 habitants et une densité de 15.23 hab/km². Le taux d'accroissement de la population est égale à 3.4‰ selon le recensement de l'ONS de 2008 (Tableau 2).

Tableau I-2 : Répartition de la superficie et du nombre d'habitant et de la densité apparente par commune de la wilaya d'El-Oued.

N°	Commune	Population (hab)	Superficie (km ²)	Densité (hab/km ²)
1	El Oued	140625	77	1826,299
2	Kouinine	10590	116	91,2931
3	Réguiba	42420	1966	21,57681
4	Guemar	41225	1264	32,61472
5	Taghzout	14485	539	26,87384
6	Ourmés	6060	443	13,67946
7	Débila	26160	78	335,3846
8	HassaniAbdelkrim	23890	58	411,8966
9	HassiKhalifa	33115	1112	29,77968
10	Trifaoui	8640	474	18,22785
11	Magrane	25450	618	41,18123
12	SidiAoun	12670	480	26,39583
13	Robbah	22910	499	45,91182
14	Nakhla	13300	700	19
15	El Oglâ	6380	1352	4,718935
16	Bayadha	34185	139	245,9353
17	Oued el	7020	712	9,859551
	Alenda			
18	MihOuansa	17045	1111	15,34203
19	Hamraia	5420	2443.82	-
20	TalebLarbi	7965	1110	7,175676
21	Ben Guecha	2930	2642.18	-
22	Douar El Maa	6000	17852.5	-
23	El Meghaier	51680	1532	33,73368
24	Sidi Khalil	6740	840.33	-
25	Still	5280	904.8	-
26	OumTiour	11320	2116.37	-
27	Djamaa	53045	780	68,00641
28	SidiAmrane	22350	552	40,48913
29	Mrara	8410	1131.66	-
30	Tendla	9410	977.9	-
	Total	676720	44586	15.17

I.3 Contexte économique :

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

I.3.1 L'artisanat :

El Oued à toujours été un centre artisanal, notamment pour les objets liés à l'ancienne technologie de l'agriculture. La ville est la capitale du tissage en laine : tissage de burnous, haïk, couvertures, tapis de haute laine (*Marc Côte, 1996*), et d'autres activités artisanales comme : la maçonnerie, la menuiserie, la bijouterie, la forgerie.

I.3.2 Le commerce :

Longtemps marginalisés et les ressources locales étant limitées, les Soufis ont émigré vers le nord du pays (*Marc Côte, 1996*).

Aujourd'hui, la ville d'El Oued compte 7000 registres de commerces, et 10000 registres dans l'ensemble de la wilaya d'El-Oued. Grâce à la position géographique entre trois Etats (Algérie, Tunisie et Libye), El-Oued à acquis une position stratégique exceptionnelle, on peut dire qu'elle est un centre d'échange commercial, très actif, ainsi elle constitue le centre d'achat de toute la région d'El-Oued, d'où l'importance de son marché. Cette activité commerciale se traduit également par le grand axe commerçant qui, sur plus de 15km, s'allonge le long de la route nationale de Kouinine-Robbah où la densité commerciale y est forte au centre de 15 à 20 établissements pour 100 m pour décroître vers les extrémités de 4 à 5 (*Nesrat Ali, 2016*).

I.3.3 L'industrie:

Dans la foulée du commerce, un phénomène tout nouveau est apparu à El-Oued, c'est l'industrie, depuis la décennie 1980, de petites unités privées se sont installées. On note des activités industrielles dans cinq branches essentielles : les parfums et le cosmétique, l'agro-alimentaire, les plastiques, les matériaux de construction, les boissons. Aujourd'hui, plus de 1600 personnes travaillent dans l'industrie. Voici un bref inventaire des unités industrielles d'El-Oued (*Nesrat Ali, 2016*) :

- Parfums et cosmétique, 20 unités.
- Transformation du plastique, 15 unités.
- Fabrication carrelage, 7 unités.
- Transformation aluminium, 6 unités.
- Insecticides et détergents, 4 unités.

- Semoulerie, pâtes alimentaire, 3 unités.
- Déminéralisation de l'eau, 2 unités.

I.3.4 L'agriculture :

La wilaya d'El Oued dispose d'une superficie agricole totale égale à 1591869 hectares mais la superficie réellement exploitée est de 62720 hectares, ainsi la superficie irriguée est égale à 60850 hectares. Selon DSA (Direction Des Services Agricoles, 2010) :

L'agriculture est la principale activité de la région pour l'homme du Souf, comme culture dominante on trouve : la pomme de terre, le tabac (Guémar), le palmier dattier dans les ghouts.

Les ghouts sahariennes fonctionnent comme un agro-système, reposant sur la trilogie eau/habitat/palmeraie; pour ne pouvant faire venir les eaux à eux, les soufis ont imaginé d'aller à elle, d'excaver suffisamment le sable pour que son épaisseur au dessus de la nappe soit 2 m, planter alors les palmiers dans le sol de façon à ce qu'ils aillent puiser l'eau par leurs propres racines, c'est le principe de la culture Bour (en sec), on n'importe pas d'eau d'irrigation mais le palmier va chercher lui-même l'eau dont il a besoin.

Les limites des ghouts atteignent la frontière libyenne au Sud et voisinent avec les Monts des Nementchas, suivant une ligne passant par Negrine, s'étire à l'Est à la frontière tunisienne et à l'Ouest par l'immense oasis d'Oued Righ.

Actuellement, il existe près de 2500000 palmiers dattier dont 183000 seulement sont productifs. La moyenne d'exportation est de 40000 tonnes/an.

L'élevage est une autre activité qui se répartie comme suit :

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

Cela permet d'avoir :

- ✓ Une production de viande rouge estimée à : 4700 tonnes/an.
- ✓ Une production de viande blanche estimée à : 2240 tonnes/an.
- ✓ Une production d'œufs estimée à : 27500000 Œufs/an.
- ✓ Une production laitière : 44000000 litres/an.

I.4 Contexte des Ressources hydriques :

Dans la wilaya d'El-Oued et comme toutes les zones arides, les seules ressources en eaux sont les eaux souterraines, alors que leur mobilisation est primordiale (Tableau 3). Le potentiel des ressources en eaux souterraines, selon la direction de l'hydraulique de la wilaya (DHW) d'El-Oued, se répartit comme suit:

Nappe phréatique : 130 hm³.

- Nappes profondes : 4.90 Milliards hm³ (soit 2.7 Milliards hm³ pour le CT et 2.2 milliards hm³ pour le CI).

Total : 4.90 Milliards hm³. L'état actuel de la mobilisation des nappes souterraines est de 470 hm³ par an à travers toute la Wilaya, mais seulement 405.08 hm³ sont exploitées réellement (soit 86.19 % des ressources mobilisables).

Tableau I-3 : Exploitation des ressources hydriques souterraines dans la wilaya d'El-Oued (ANRH, 2005).

Nappe	Profondeur	Exploitation (puits/forage)
Nappe phréatique	0 à 80 m	22175
Nappe du complexe terminal	150 à 500 m	498
Nappe du Continental intercalaire	Plus de 1500 m	18

I.4.1 Alimentation en eau potable (AEP) :

Les prélèvements pour l'alimentation en eau potable sont principalement effectués à partir de 120 forages dans la nappe du Complexe Terminal (CT) et 2 forages dans la nappe Continent Intercalaire (CI).

En 2006, la mobilisation est de 242244 m³/j qui atteint 2018733 m³/j en 2012, où les ressources mobilisables à but d'AEP représentent 8.71 % du total de la mobilisation. Les besoins en eau domestiques sont évalués à 175560 m³/j, en 2012.

I.4.2 Usage agricole de l'eau (Alimentation en Eau d'Agriculture AEA) :

Les ressources en eau sont fortement exploitées pour l'irrigation. La superficie agricole irriguée en 2006 est 51456 ha, elle s'est élevée à 60850 ha en 2010, sachant que le besoin en eaux d'un hectare est évalué à 16430 m³/an.

L'irrigation s'effectue essentiellement par le pompage effectué au sein des forages (498 forages en 2012) qui captent les nappes profondes (CT et CI), et au niveau de nombreux puits implantés dans la nappe phréatique (autour de 22175 puits).

L'agriculture, qui utilise plus de 87 % des ressources en eau mobilisées, atteint 979830 m³/j, en 2012. La culture de la pomme de terre dans la zone d'étude a connu un fort développement depuis la fin des années 90.

I.4.3 Utilisation industrielle de l'eau (AEI) :

La consommation d'eau industrielle est extrêmement variable et elle dépend évidemment du type d'industrie, et vu l'absence des industries à fort besoin d'eau (telles que l'industrie chimique, la sidérurgie et la pâte à papier...) les ressources mobilisables à des fins industrielles ne représentent que 0.5 % du total des ressources mobilisables de la vallée.

I.5 Géologie de la zone d'étude :

Dans le cadre d'étude de la reconnaissance géologique du Sud de l'Algérie, plusieurs auteurs ont étudié la région: Gousskov en 1948; Cornet en 1964; Bel et Cuhe en 1968; Busson en 1970.

L'histoire géologique des bassins sédimentaires algériens s'inscrit dans le processus de géodynamique globale de la tectonique des plaques qui a structuré l'Algérie en deux domaines :

Au Nord, l'Algérie alpine.

Au Sud, la plate-forme saharienne.

La plate-forme saharienne est constituée d'un socle précambrien recouvert de sédiments phanérozoïques transgressifs. Différents éléments tectoniques délimitent des bassins sédimentaires dans lesquels la lithostratigraphie est plus ou moins complète.

La région d'Oued Souf appartient au domaine de la plate-forme saharienne, elle est située dans le bas-Sahara Oriental qui a fait l'objet de plusieurs études géologiques. Ces études montrent l'existence d'un seul type de terrain sédimentaire caractérisé par des formations détritiques particulièrement sableuses, elles apparaissent sous forme de dunes et anti-dunes.

Le sous-sol sableux assurant l'infiltration et la circulation des eaux, est essentiellement représenté par des formations sablo-gréseuses du continental intercalaire, et des accumulations sableuses fulvio-lacustres de tertiaire continental.

Sur l'ensemble de la région d'El-Oued, les formations mio-pliocènes sont recouvertes par une considérable épaisseur de dépôts quaternaires présentés sous forme de dunes donnant naissance à un immense erg qui lui-même fait partie de l'extension du grand erg oriental.

I.5.1 Stratigraphie locale :

D'après **Cornet (1964)**, **Bel (1968)** et les coupes de sondages établies à partir des forages, les profondeurs des étages varient d'une région à l'autre. Sur la base des logs de forage de l'Albien faite par **la DRE (en 2015)** sur la région d'Oued-Souf, nous pouvons citer les principales couches repérées dans cette région, en allant de la plus ancienne vers la plus récente (Tableau 5 et **Figure 2 et 3**).

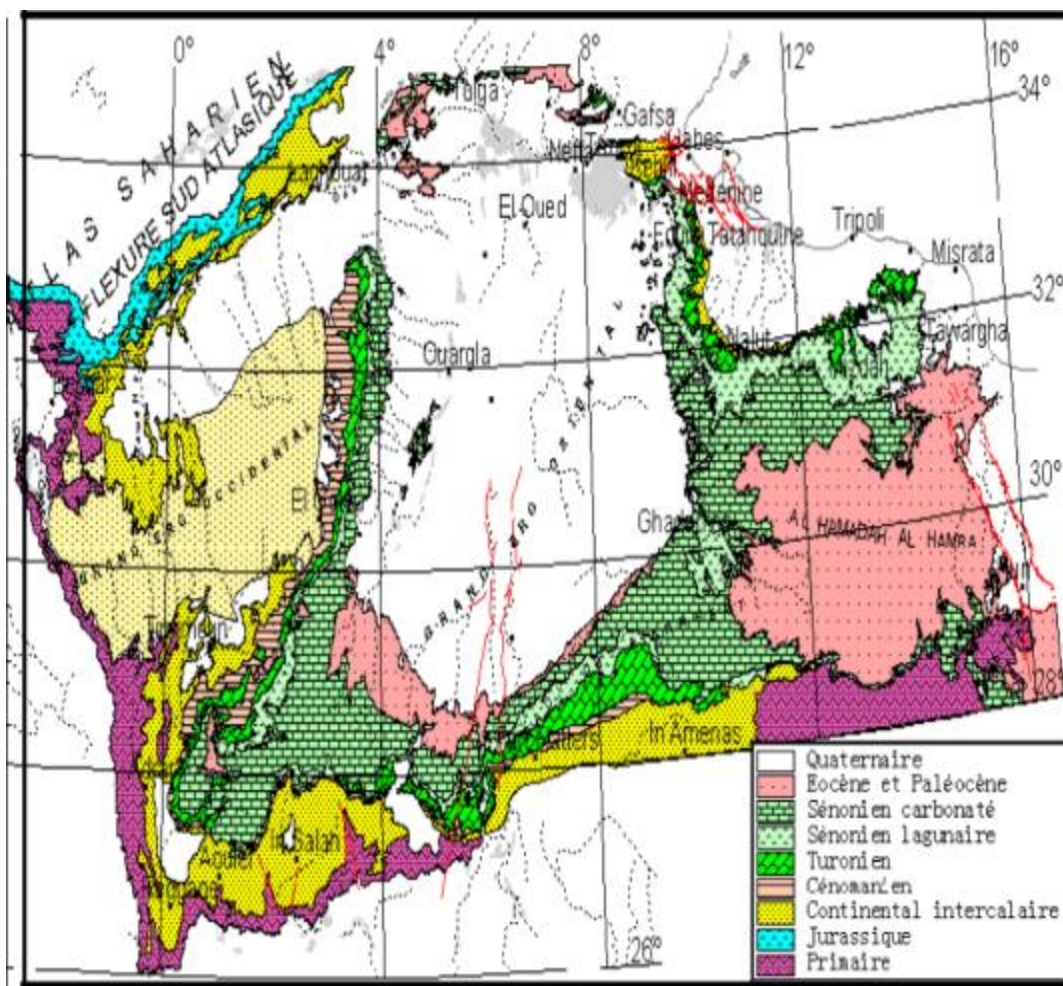


Figure 2 : Plan Géologique de Grand Erg Oriental, (Baba Sy.M, 2005) .

I.5.1.1 Formations du secondaire :

➤ **Barrémien**

Il présente une lithologie d'alternance de grès avec des passages d'argiles et parfois des intercalations de calcaire dolomitique, on rencontre également des sables à silex. L'épaisseur moyenne de cet étage est de l'ordre de 200 à 230 mètres.

➤ **Aptien**

Comme le Barrémien, il est constitué principalement par des formations dolomitiques, marneuses et marno-calcaires. D'après les coupes géologiques des forages réalisés dans la région, l'Aptien est le seul étage dont l'épaisseur ne dépasse pas les 30 mètres.

➤ **Albien**

Cet étage est constitué par une alternance de marnes, de grès, de sables et 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 des sondages albiens, l'épaisseur de cet étage varie de 100 à 150 mètres et dans certains endroits elle peut atteindre 200 mètres (*J, FABRE, 1976*).

➤ **Vraconien**

C'est une zone de transition entre l'Albien sableux et le Cénomaniens argilo carbonaté, constitué principalement par une alternance irrégulière de niveaux argilo-dolomitiques. L'épaisseur de cet étage varie entre 250 et 300 m.

➤ **Cénomaniens**

Le Cénomaniens est formé par une alternance de dolomies, de calcaires dolomitiques, de marnes dolomitiques, d'argiles et d'anhydrites. Cette couche joue le rôle d'un écran imperméable (*BEL F & CUCHE D, 1969*).

➤ **Turonien**

Cet étage représente la base du complexe terminal. Il est généralement carbonaté et composé par des calcaires dolomitiques et des dolomies micro-cristallines compactes avec des intercalations de calcaires turoniens et parfois de marnes.

Les forages de la région montrent que son épaisseur varie d'un endroit à un autre, elle dépasse parfois les 650 mètres (*BEL F & CUCHE D, 1969*).

➤ **Sénonien**

La plupart des études géologiques effectuées à travers le Sahara algérien montre que le Sénonien est formé de deux ensembles très différents du point de vue faciès (*BUSSON G, 1970*) :

➤ Sénonien lagunaire : Il est constitué également d'anhydrites, de calcaires dolomitiques d'argiles et surtout des bancs de sel massif dont l'épaisseur avoisine 150 mètres.

➤ 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.

➤

I.5.1.2 Formations de l'ère Tertiaire :

➤ 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, par contre sa partie supérieure est marquée par des argiles de type lagunaire. L'épaisseur de cet horizon varie entre 150 et 200 mètres.

➤ Miopliocène

Il repose en discordance 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, montre que le Mio-pliocène est constitué par un empilement de niveaux sableux, sablo argileux avec des intercalations gypseuses et des passées de grès. Sur toute l'étendue du Sahara oriental, Bel et Demargne dévisent 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 Mio-pliocène constituent une barrière peu perméable entre les nappes du Sénono-Eocène carbonatées et celles 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 argilo-sableux :

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. Ce niveau sableux présente un grand intérêt car il correspond à la nappe des sables du Complexe Terminal.

I.5.1.3 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 localise 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 (*BUSSON G, 1970*).

Tableau I-4: Composition lithologique de la région d'étude, (D'après DRE d'El Oued, 2015).

Ere		système			Lithologie	Epaisseur Moy en(m)	
Cénozoïque	Quaternaire	Supérieur			Sables	54	
		Inférieur			Argiles	150-260	
	Tertiaire	Néogène (Moi- pliocène)		Pliocène	Plaisancien	Sables	150 = 200
					Tabianien	Argiles gypseuses	
				Miocène	Pontien	Sables grossiers	
						Graviers.	
		Paléogène	Oligocène		Argiles lagunaires ;		
			Eocène	Moyenne	marnes.		
				Inférieure			
			Paléocène	Vitrollien	Calcaire fissuré		
Secondaire (Mésozoïque)	Crétacé		Supérieur	Sénonien	Carbonaté	Calcaire fissuré	≈ 300
					Lagunaire	Evaporites, argiles	≈ 150
			Moyenne	Turonien	Dolomie,	≈ 650	
					calcaire Dolomitique		
			Cénomanién		Argiles, marne	≈ 560	
			inférieure	Vraconien	Calcaire argileux dolomie	250 - 300	
				Albien	Sables, Grés	100 = 200	
				Aptien	Dolomie, calcaire, marne	≈ 30	
				Barrémien	Grés, dolomie, calcaire, sable, silex	200 = 230	
				Néocomien	Argiles sableuses, Sables		

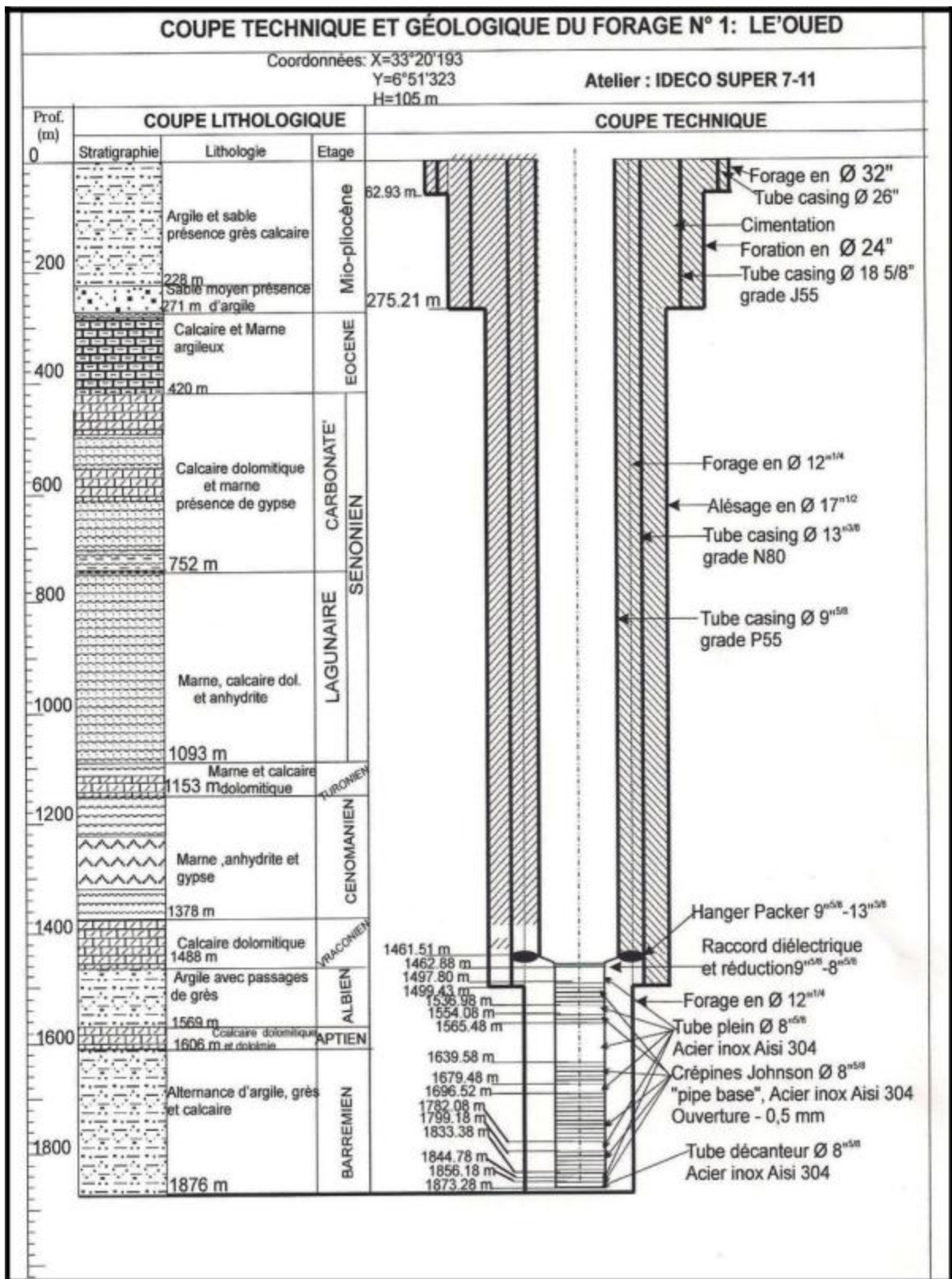


Figure 3: Coupe technique et géologique d'un forage à El Oued.

I.5.2 Interprétation des coupes géologiques :

L'établissement des coupes géologiques a pour but la réalisation d'une corrélation lithologique du sous sol, ainsi que d'identifier l'extension géographique, l'épaisseur approximative de la nappe et l'épaisseur des couches.

➤ Coupe N° 1 :

La coupe n° 1 (Figure 4) est réalisée à partir des logs de forages, elle est orientée Nord - Sud. La formation Mio-Pliocène est constituée par des argiles, des sables et des calcaires. Son épaisseur diminue du Nord vers le Sud. Au niveau du forage H11104, on remarque l'absence des formations quaternaires représentées par des sables. Cela peut être expliqué par l'érosion de ce niveau.

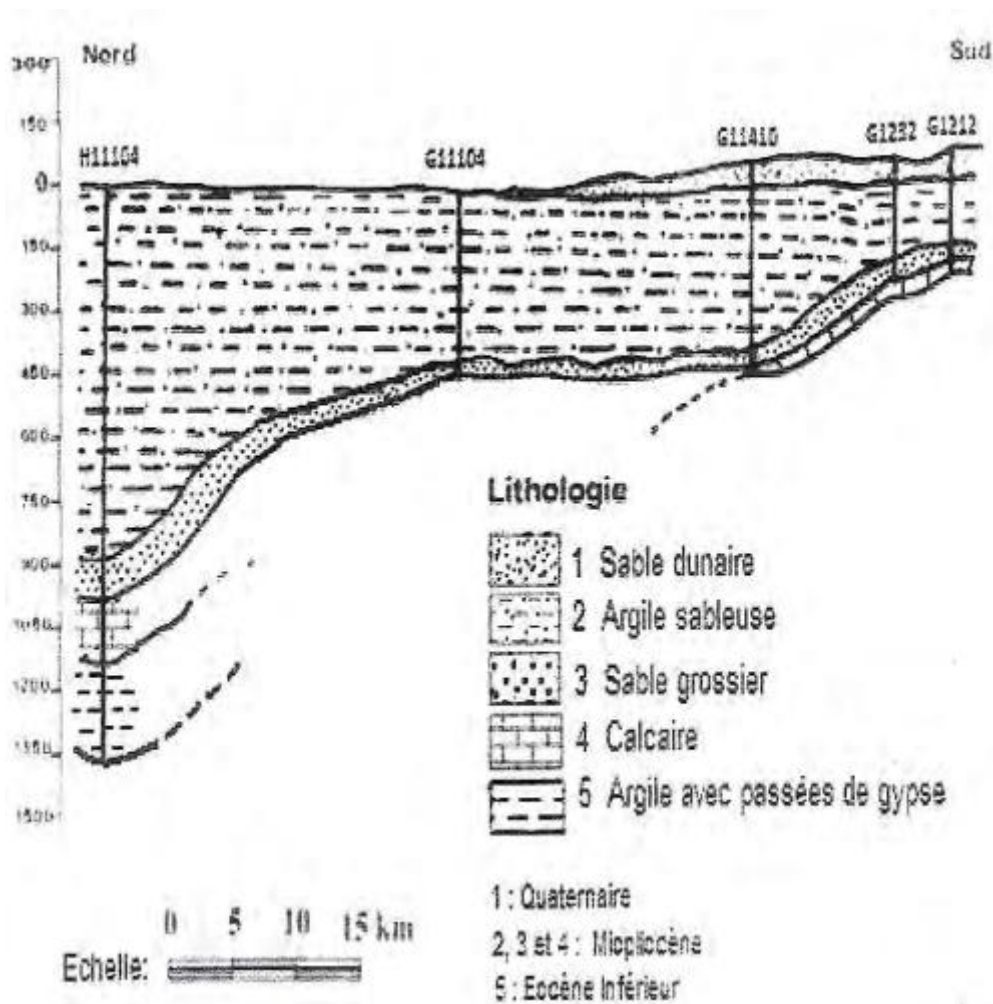


Figure 4: Coupe géologique n° 1, (ANRH, 1989).

Coupe N° 2 :

L'orientation de cette coupe est différente à la première (NW – SE). Sa stratification est entrecroisée avec des couches qui biseautent. Les quatre premiers forages, illustrent bien cette situation. On remarque aussi que l'épaisseur des formations quaternaires est plus importante au Nord-Ouest qu'au Sud-Est, (Figure 5).

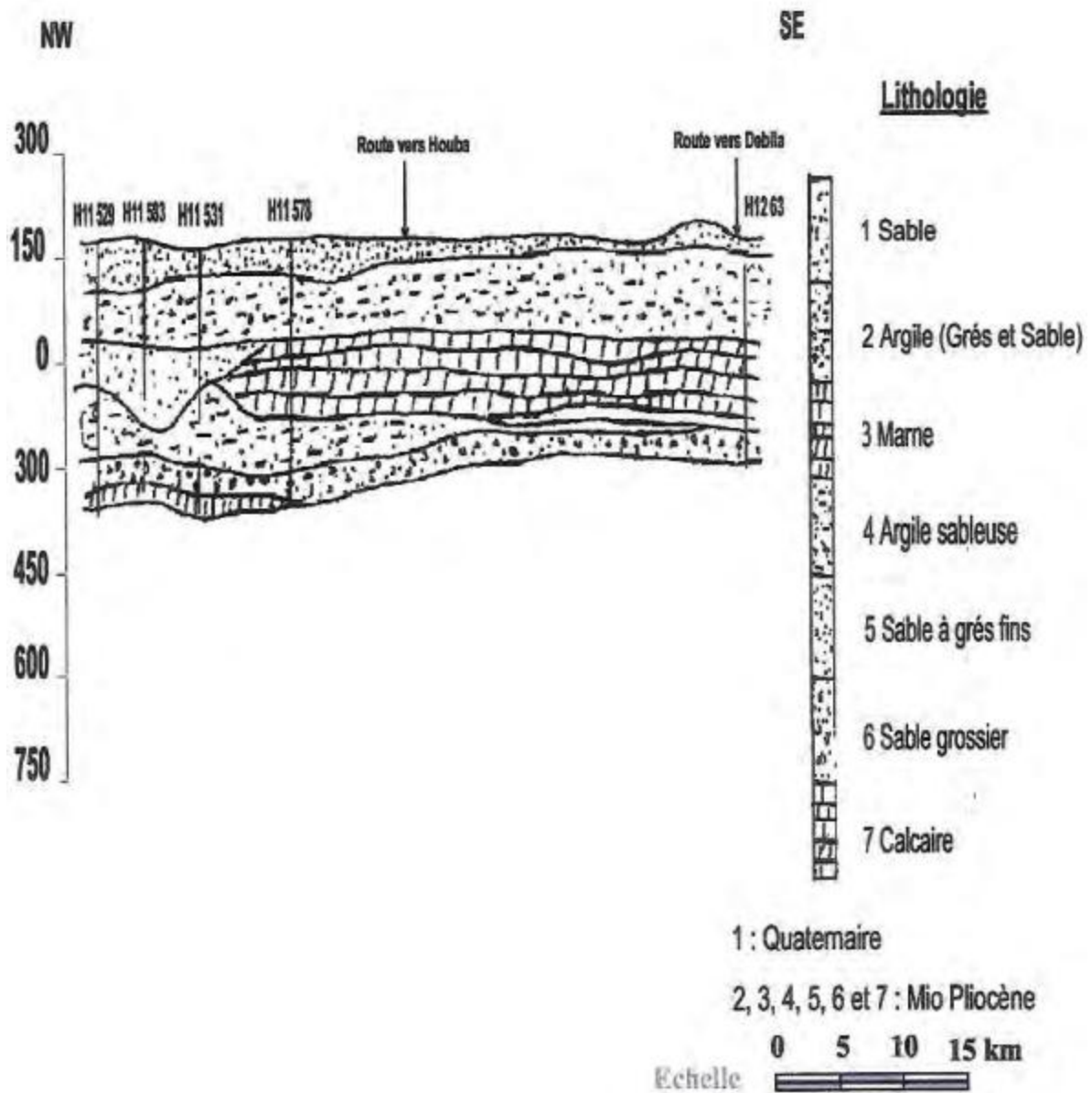


Figure 5 : Coupe géologique n° 2, (ANRH, 1989).

Coupe N° 3 :

L'orientation de cette coupe est orthogonale à la coupe précédente (NE-SW). En allant de la région dite Merzaka vers Ourmès, on remarque l'absence du Quaternaire au niveau du forage (H52₁₂), ceci peut être expliqué par l'effet d'érosion éolienne.

Les formations mio-pliocènes sont caractérisées par une importante épaisseur (plus de 200 m). Cette dernière devient régulière sur tous le reste de la région, au contraire de celle du Quaternaire qui est constituée par des sables d'épaisseur qui se change d'une région à l'autre (par exemple, au niveau du forage H540₁₁ l'épaisseur présente presque la moitié de celle de H84₁₂), (Figure 6).

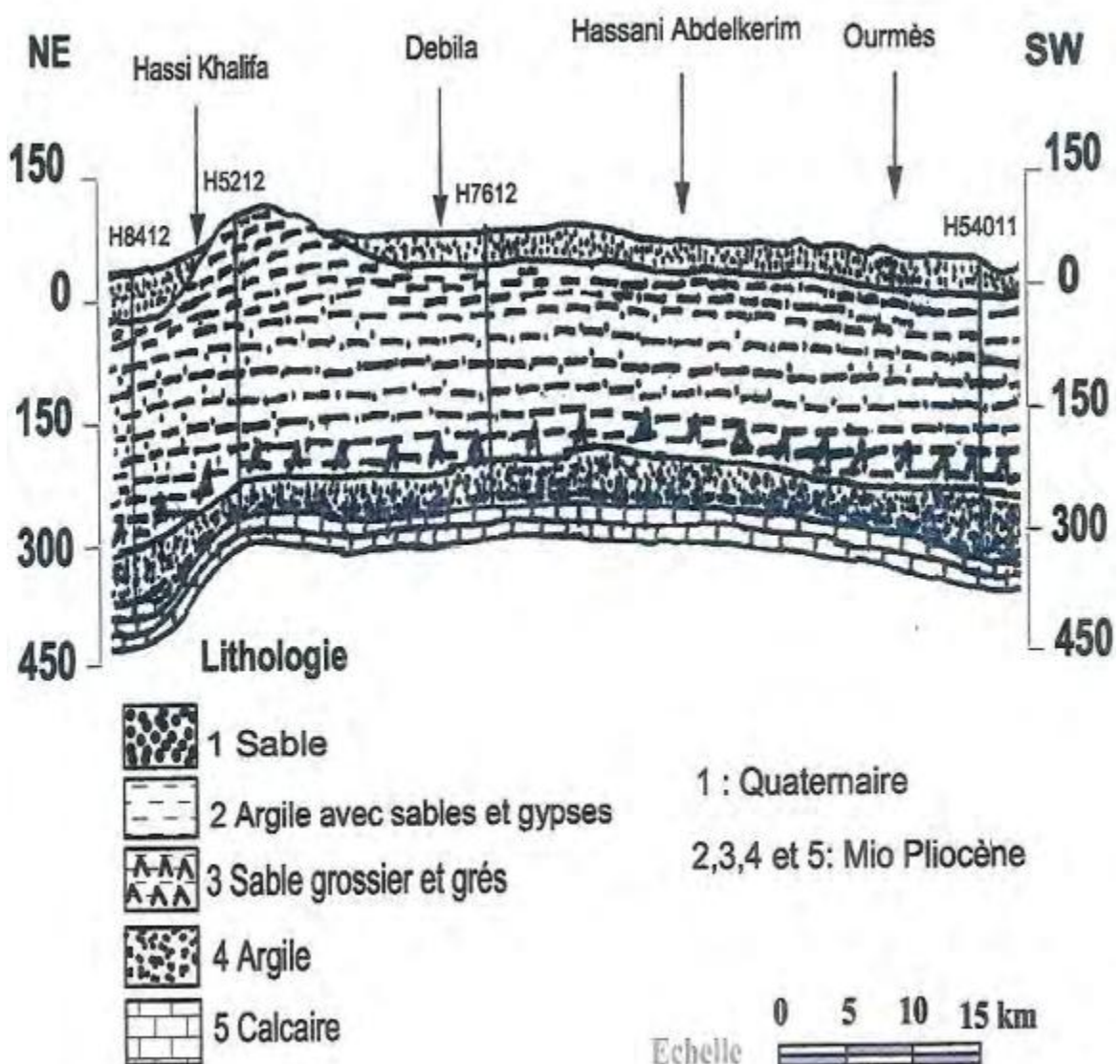


Figure 6 : Coupe géologique n° 3, (ANRH, 1989).

CONCLUSION:

La ville de Oued Souf s'étend sur une superficie de 77 Km². Elle est limitée au Nord par la commune de Kouinine, au Sud par la commune de Bayadha, à l'Est par la commune de Trifaoui et à l'Ouest par la commune de Oued Alenda. cette région a une altitude de 75 m par rapport au niveau de la mer et accusée par une diminution notable du Sud-ouest au Nord pour atteindre les 66 m d'altitude.

En plus de sa situation géographique spécifique, cette ville est riche de plusieurs facteurs dont :

L'élément humain capable et efficace : 140625 hab.

Activités économiques diversifiées, y compris l'artisanat, le commerce, l'industrie et l'agriculture traditionnelle et avancée.

Malgré la nature désertique, la région a une énorme quantité d'eaux souterraines.

Dans le contexte géologique et selon la carte des pentes, cette région se caractérise par une pente de moins de 3% qui couvrent presque toute la zone d'étude. Selon la coupe d'un forage de l'Albien de la ville de Oued Souf, 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 stratigraphie de la région est caractérisée par la formation de séries sédimentaires allant du Crétacé inférieur jusqu'au Quaternaire.

CHAPITRE II

HYDROCLIMATOLOGIE

II HYDROCLIMATOLOGIE :

II.1 Etude des paramètres climatiques :

Introduction

Le climat de la wilaya d'El Oued est de type saharien et désertique, avec un été chaud et un hiver doux. Les principales contraintes naturelles rencontrées sont de types climatiques, parmi les quelles, on peut citer :

La faiblesse des précipitations, environ 91 mm/an, dont Janvier est le mois le plus pluvieux (15.35 mm) et Juillet est le mois le plus sec (< 3 mm);

La fréquence régulière des vents pendant presque toute l'année et aussi leur violence. Ces vents sont connus sous le nom de "Chehili" ou le sirocco qui provoquent des dégâts importants (dessèchement et déshydratation des sols). Ainsi que, des vents de sables durant le printemps qui freinent considérablement toute activité socio-économique.

La température est très élevée en été, dont la moyenne mensuelle du mois le plus chaud (Aout) dépasse 38°C et celle du mois le plus froid (Janvier) est de l'ordre de 11°C.

Les fortes températures estivales accélèrent l'évaporation, qui a une moyenne de 76.7 mm au mois de Janvier et de 334 mm au mois de Juillet, soit de 2284 mm/an. Donc, elle dépasse les quantités de précipitations reçues en une année, ce qui provoque un grand déficit en eau.

Les données pluviométriques (la température, les précipitations, l'humidité, les vents et la radiation solaire globale théorique) ont été obtenues par une application de cartographie appelée Web Power Data Access Viewer (DAV) conçu par la NASA.

Définition de l'application :

Le Web Power Data Access Viewer est une application de widget réactif qui fonctionne sur tous les appareils (PC, ordinateur portable, tablette, smartphone). Cette conception permet aux utilisateurs d'accéder aux données POWER au bureau ou sur le terrain. Le POWER Data Archive est rendu disponible grâce à une série de services extensibles et intégrés au-delà de l'application de cartographie Web. POWER fournit divers ensembles de données textuelles, tabulaires, géospatiales et fichiers que les utilisateurs peuvent télécharger et/ou intégrer dans des logiciels et applications personnalisés pour un traitement, une analyse et une visualisation plus poussées.

Principe de fonctionnement de l'application :

Les paramètres climatiques donnés par le DAV sont basés sur le rayonnement solaire dérivé des observations satellitaires et des données météorologiques issues des modèles d'assimilation. Les paramètres solaires et météorologiques de base sont disponibles sous forme de séries chronologiques : annuelles, mensuelles et quotidiennes, pour les grilles sélectionnées par l'utilisateur. Les données de base sont disponibles dans le monde entier selon une grille globale de latitude et de longitude de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ (NASA), (Fig. II.1.)

Utilisation :

- 1) Choisissez une communauté d'utilisateur, (Tab. II-1).
- 2) Choisissez une moyenne temporelle (annuelle ou mensuelle).
- 3) Entrez la latitude et la longitude ou ajouter un point dans le map.
- 4) Sélectionnez les formats de fichier de sortie.
- 5) Sélectionnez les paramètres climatiques souhaités.

Tableau II-1 : Coordonnées de la station météorologique de Guemar à Oued Souf en degrés décimaux.

Station	Longitude	Latitude	Altitude (m)
Guemar	6.788	33.506	75

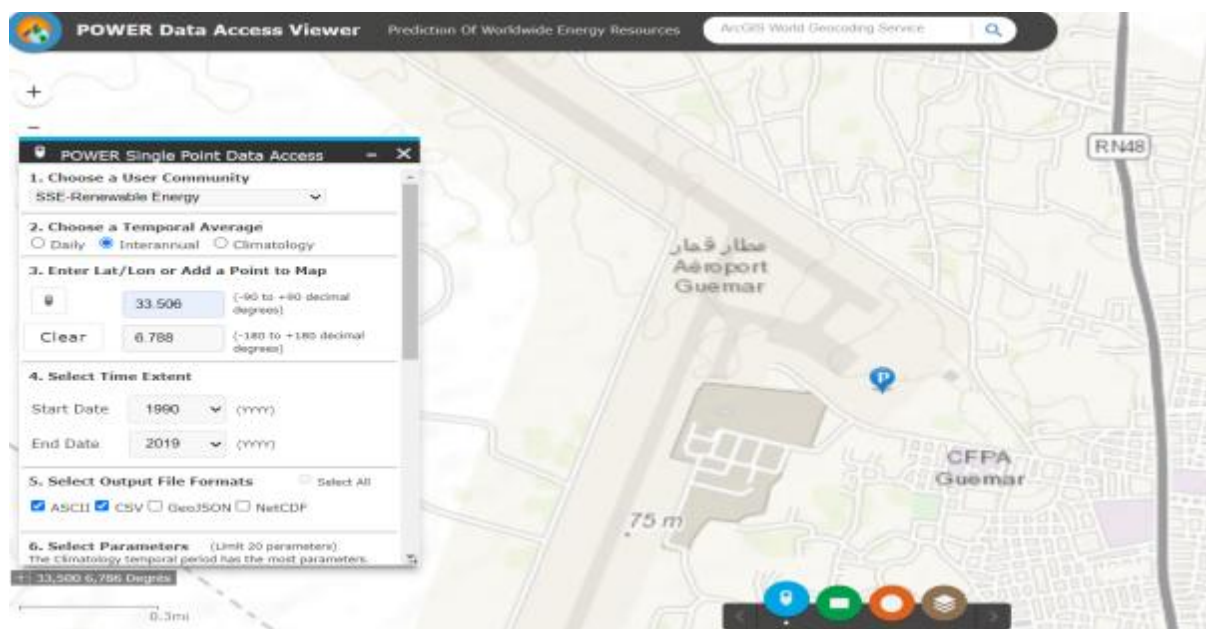


Figure II. 1: Localisation de la station météorologique du Guemar par POWER Data Access Viewer.

II.1.1 Précipitations :

II.1.1.1 Répartition moyenne mensuelle des pluies :

L'étude de la pluviométrie aura pour but d'évaluer la lame d'eau tombée sur l'ensemble de la région et son influence sur l'alimentation des nappes ainsi que son rôle dans le changement du comportement hydrodynamique et hydro-chimique des eaux souterraines.

L'histogramme de variation des précipitations (Fig. II.2) montre que ces dernières sont très rares et irrégulières (irrégularité mensuelle et annuelle), leur répartition est marquée par une sécheresse quasi-absolue du mois de Juin jusqu'au mois d'Août, et un maximum au mois de Janvier avec 15.35 mm, (Tab. II.2).

Tableau II-2 : Précipitations moyennes mensuelles de la station de Guemar, (1990/2019) par Web Power Data Access Viewer.

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	Moy T
Pmoy (mm)	15,35	5,32	9,25	11,12	6,83	2,23	2,16	2,97	9,59	8,28	10,34	7,8	91,24

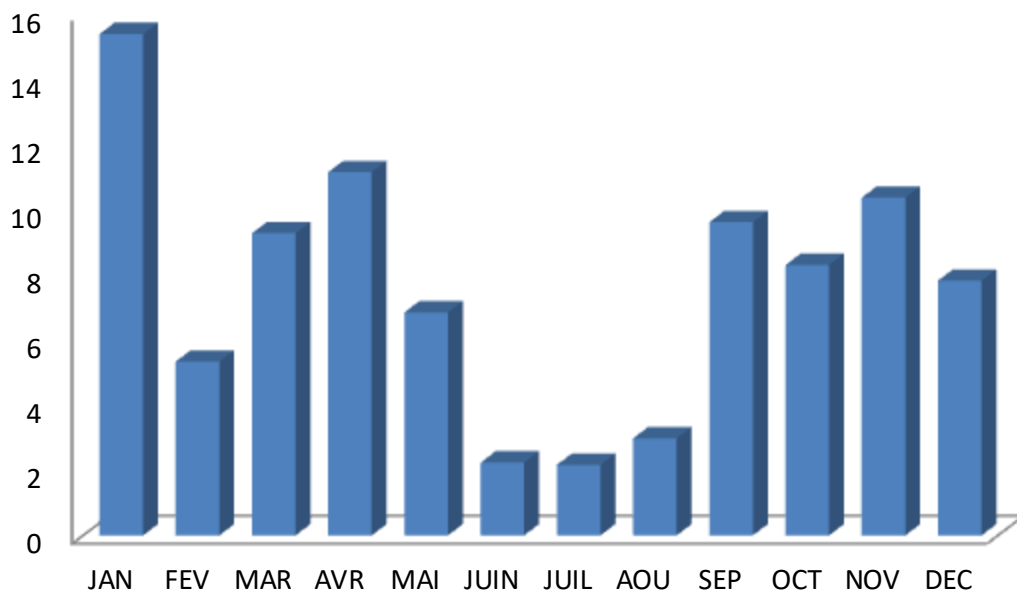


Figure II. 2: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de Guemar, (1990 – 2019).

II.1.1.2 Répartition moyenne annuelle des pluies :

Les précipitations relevées par DAV montrent une grande variabilité d'une année à une autre (Tab. II.3). L'année la plus arrosée était celle de (1992) avec 204.21 mm/an et l'année la plus sèche était celle de (2019) avec 0.16 mm/an. La moyenne interannuelle est de l'ordre de 92.54 mm, ce qui indique le caractère saharien de cette région, (Fig. I.8).

Tableau II-3 : Moyenne annuelle des précipitations, (1990/2019).

Année	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Pmoy (mm)	185,95	80,5	204,21	65,05	73,32	80,23	139,03	124,85
Année	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Pmoy (mm)	70,26	125,99	52,02	86,72	66,95	149,76	195,32	97,92
Année	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Pmoy (mm)	100,63	92,46	65,95	172,45	74,72	62,42	37,99	72,95
Année	2014	2015	2016	2017	2018	2019		
Pmoy (mm)	46,58	78,69	44,45	128,67	0,17	0,16		

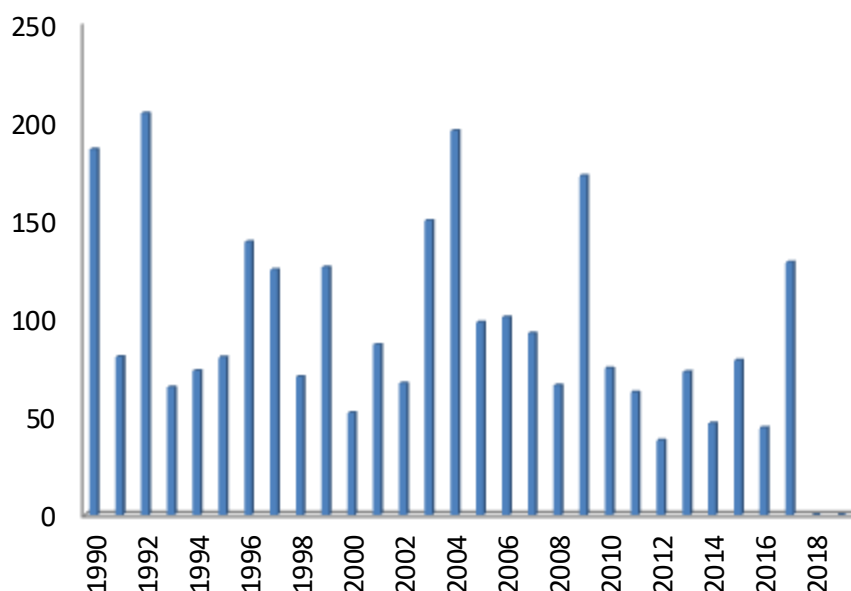


Figure II. 3: Variabilité des précipitations annuelles de la station de Guemar, durant la période 1990/2019.

II.1.2 Température :

Le Souf est caractérisé par des étés brûlants qui sont aussi durs que ceux qui s'observent dans le Sahara central. Les températures dans cette région sont variables.

II.1.2.1 Température moyenne mensuelle :

La période qui s'étale du mois de Novembre au mois d'Avril correspond à la période froide avec un minimum durant le mois de Janvier de (4.86 °C) alors que la période chaude commence à partir du mois de Mai et s'étale jusqu'au mois de Octobre avec une température maximale pendant le mois d'Aout (51.61 °C). La moyenne annuelle est de l'ordre de 22.25 °C, (**Tab. II.4**) (Figure II.4).

Tableau II-4 : Températures moyennes mensuelles de la station de Guemar, (1990/2019).

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	Moy Total
T MAX (°C)	16,06	18,20	22,65	27,26	32,27	37,45	40,50	51,61	35,07	29,20	21,84	16,87	22,25
T MIN (°C)	4,86	5,84	9,38	13,45	18,37	22,98	26,08	26,32	22,94	17,64	10,83	6,2	
T Moy (°C)	10,46	12,02	16,02	20,36	25,32	30,22	33,29	38,97	29,01	23,42	16,34	11,54	

Tmax : Moyennes mensuelles des températures maximales exprimées en °C.

Tmin : Moyennes mensuelles des températures minimales exprimées en °C.

Tmoy : Moyennes mensuelles des températures exprimées en °C.

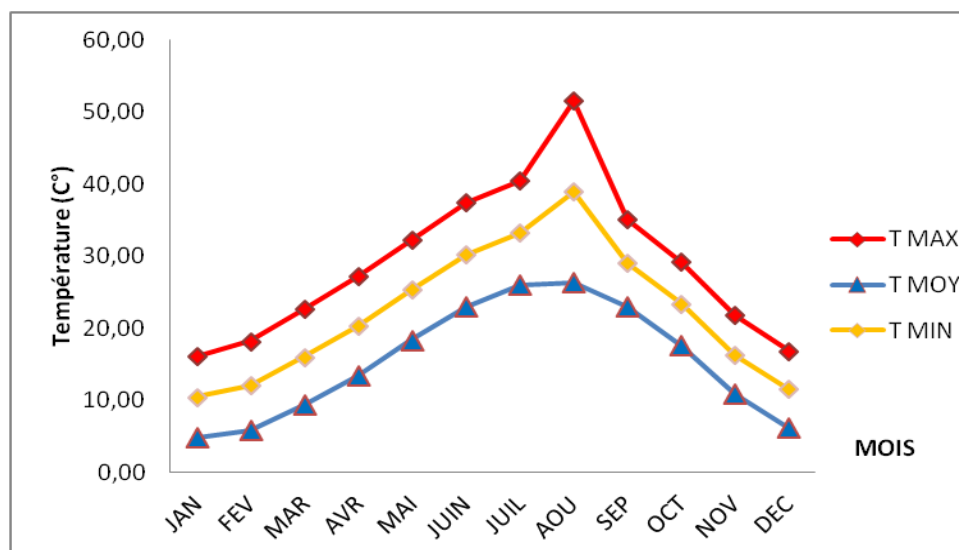


Figure II. 4: Températures moyennes mensuelles (maximales, moyennes et minimales) de la station de Guemar, (1990/2019).

II.1.2.2 Températures moyennes annuelles :

Le tableau II.5 et la figure II.5 présentent la variation de la température moyenne, minimale et maximale annuelle durant une période de 30 ans (1990 à 2019). On remarque bien l'irrégularité de ce paramètre, dont l'année la plus chaude est celle de 2001 avec une température maximale égale 29.38 °C et l'année la plus froide est l'année de 1992 avec un minimum de température égale à 20.89 °C.

Tableau II-5 : Moyenne annuelle des températures de la station de Guemar, (1990/2019).

Année	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
T MAX (°C)	28,14	27,09	26,99	27,85	28,84	28,19	27,34	28,46	28,11	29,04	28,34	29,38	28,70	28,32	27,52
T MIN (°C)	16,04	14,75	14,78	15,09	15,90	15,52	14,86	15,88	15,26	16,06	15,17	16,17	15,56	15,80	14,96
T Moy (°C)	22,09	20,92	20,89	21,47	22,37	21,86	21,10	22,17	21,69	22,55	21,76	22,78	22,13	22,06	21,24
Année	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
T MAX (°C)	27,91	28,15	27,87	28,16	27,35	28,36	27,73	28,43	28,28	28,70	27,91	28,74	27,75	28,03	28,49
T MIN (°C)	15,3	15,35	15,17	15,49	14,76	15,91	15,36	15,56	15,53	15,79	15,31	16,01	15,02	15,65	15,69
T Moy (°C)	21,61	21,75	21,52	21,83	21,06	22,14	21,55	22,00	21,91	22,25	21,61	22,38	21,39	21,84	22,09

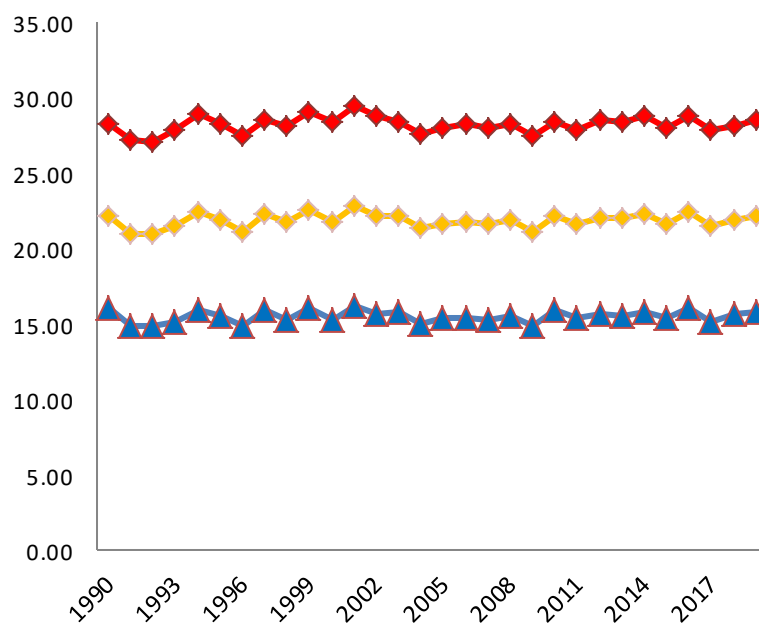


Figure 7 : Variation des températures moyennes annuelles de la station de Guemar, (1990 - 2019) .

II.1.3 Synthèse climatique :

La combinaison des données de précipitations et celles des températures permet de mettre en évidence :

Les périodes sèches et humides au cours de l'année grâce au diagramme pluviothermique de Gaussen.

Le domaine climatique et le type de climat suivant la méthode d'Emberger (climagramme d'Emberger) et le calcul de l'indice d'aridité, successivement.

II.1.3.1 Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls (1952) :

En se basant sur les données des précipitations et des températures mensuelles de la même période d'observation, on peut établir la courbe pluviothermique dont le but est de déterminer la période sèche et celle humide.

Un mois sec est celui où le total moyen des précipitations (mm) est inférieur ou égale au double de la température moyenne (°C) du même mois. Cette relation permet d'établir un diagramme pluviothermique sur lequel les températures sont portées à une échelle double des précipitations.

D'après la (figure II.6), la période déficitaire en eau (sèche) s'étale depuis la troisième semaine de Avril jusqu'à la deuxième semaine du mois de Novembre.

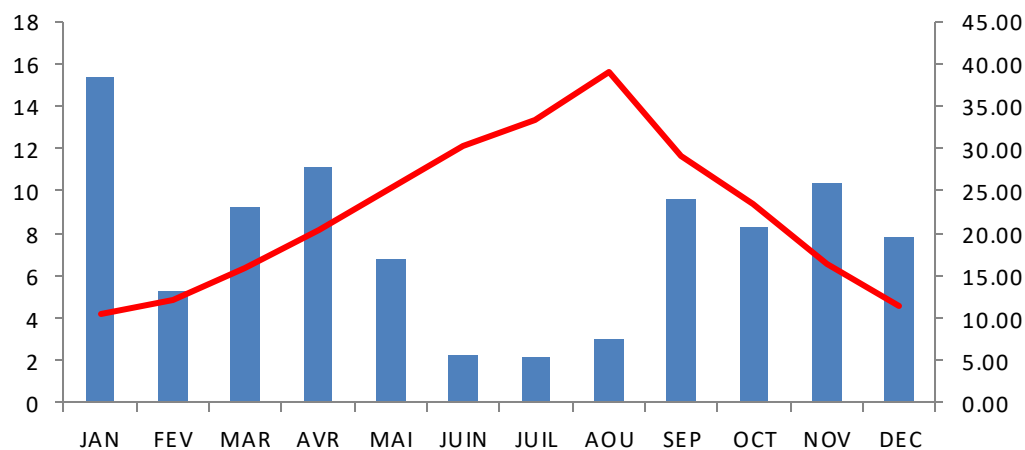


Figure II. 5: Diagramme Ombrothermique de la région de la station de Guemar, (1990-2019)

II.1.3.2 Climagramme d'Emberger (1955) :

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).

D'après les données de la période de 30 ans (1990-2019), on a : $P = 91.24$ mm, $M = 51.16$ °C et $m = 4.86$ °C, donc : $Q_2 = 6.59$.

Selon le climagramme d'Emberger (Fig II-7), le climat de la région d'étude est de type hyper-aride à hiver doux.

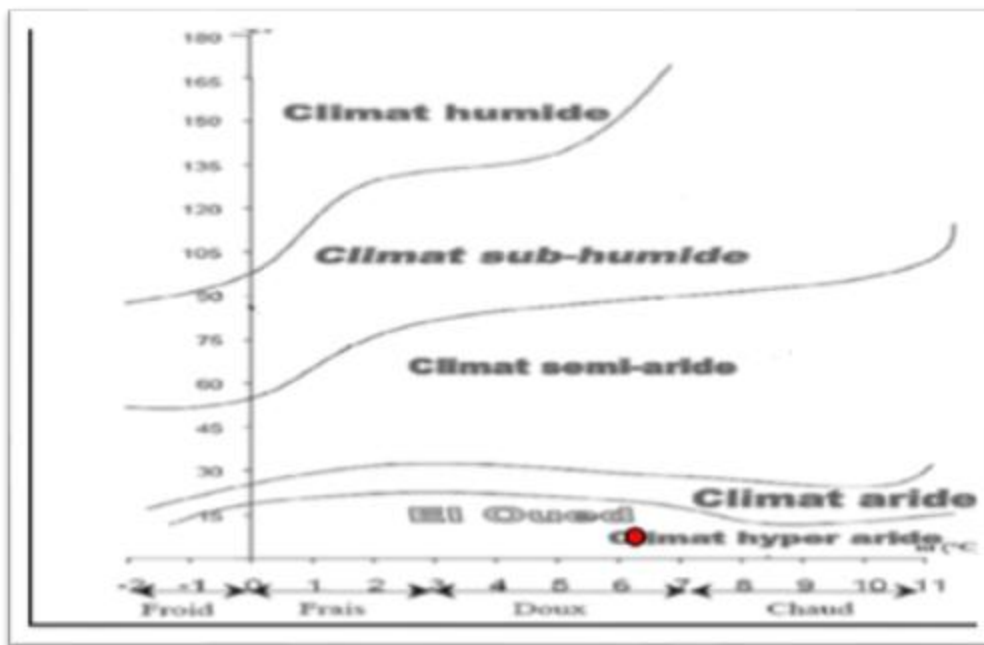


Figure II. 6 : Climagramme d'Emberger.

II.1.3.3 L'indice d'aridité :

Cet indice dépend essentiellement des précipitations moyennes mensuelles en (mm) et la température annuelle en (°C), en appliquant la formule suivante :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

Avec :

I : Indice d'aridité.

P : Précipitation moyenne mensuelle (mm).

T : Température moyenne annuelle (°C).

Application numérique :

On a : $P = 91.24$ mm et $T = 21.78$ C°

Donc : $I = 2.87$

Sur la base des fourchettes de l'indice d'aridité fixées par De Martone (Tab. II-6), nous pouvons tirer le type de climat de notre région d'étude.

On a : $I < 5$, ce qui confirme que la région d'El Oued est caractérisée par un climat hyper aride.

Tableau II-7 : Type de climat en fonction de l'indice d'aridité (selon De Martonne).

Classement de l'indice d'aridité	Type de climat
$I < 5$	Climat hyperaride
$5 < I < 7.5$	Climat désertique
$7.5 < I < 10$	Climat steppique
$10 < I < 20$	Climat semi-aride
$20 < I < 30$	Climat tempéré
$I > 30$	Climat humide

II.1.4 L'humidité :

L'humidité est un état de climat qui représente le pourcentage de la vapeur d'eau qui se trouve dans l'atmosphère. Dans la région de Oued Souf l'humidité de l'air est faible et la moyenne annuelle est de 39.8 %. Cette humidité varie sensiblement en fonction des saisons. En effet, pendant l'été, elle chute jusqu'à 24.25 % pendant le mois de Juillet, 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 63.71% au mois de Novembre (Tab.II.7 et Fig. II.8).

Tableau II-8 : Répartition moyenne mensuelle de l'humidité, au niveau de la station de Guemar, (1990-2019).

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	Moy T
relative humidité (%)	60,12	50,76	42,29	36,60	32,12	27,24	24,25	27,46	36,08	42,51	63,71	60,59	39,8

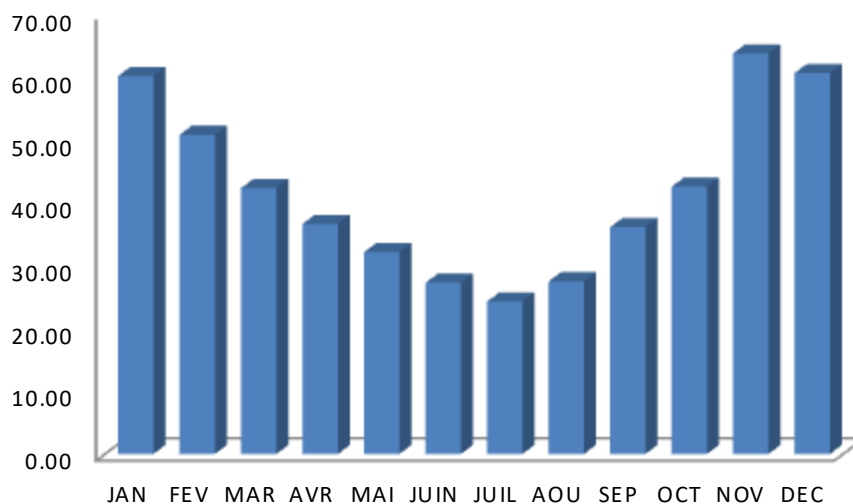


Figure II. 7: Humidité relative de la station de Guemar, (1990/2019).

II.1.5 Vent:

Le vent est un élément caractéristique du climat, il est déterminé par sa direction, sa vitesse et sa fréquence. Dans la région du Souf, il souffle de façon continue et son importance est considérable (**Ben Amara et Megdoud, 2019**). Cependant, les statistiques indiquent que la moyenne annuelle des vitesses atteint 2.93 m/s, à savoir que le vent qui vient de l'Est est appelé Bahri, il est apprécié au printemps, le vent qui vient d'Ouest (Gharbi) est un vent froid et le vent du Sud, dit le sirocco, est un vent brûlant qui ne souffle qu'une quinzaine de jours par ans (**VOISIN, 2004**).

Les donn es mensuelles de la vitesse du vent pour la région d'étude durant 30 ans (1990-2019) sont regroup es dans le (tableau II.8). Selon ce Tableau, nous remarquons que les vents sont fréquents durant toute l'année. Les vitesses les plus  lev es sont enregistr es durant la période allant du mois de Mars jusqu'au mois d'Août, avec un maximum de 3.52 m/s durant le mois de Juin. La vitesse la plus faible est de 2.32 m/s au mois de Décembre (Figure II.9).

Tableau II-9 : Répartition moyenne mensuelle de la vitesse du vent, au niveau de la station de Guemar (1990-2019).

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	Moy T
Vitesse moy (m/s)	2,43	2,65	3,49	3,3	3,46	3,52	3,23	2,97	2,85	2,47	2,45	2,32	2,93

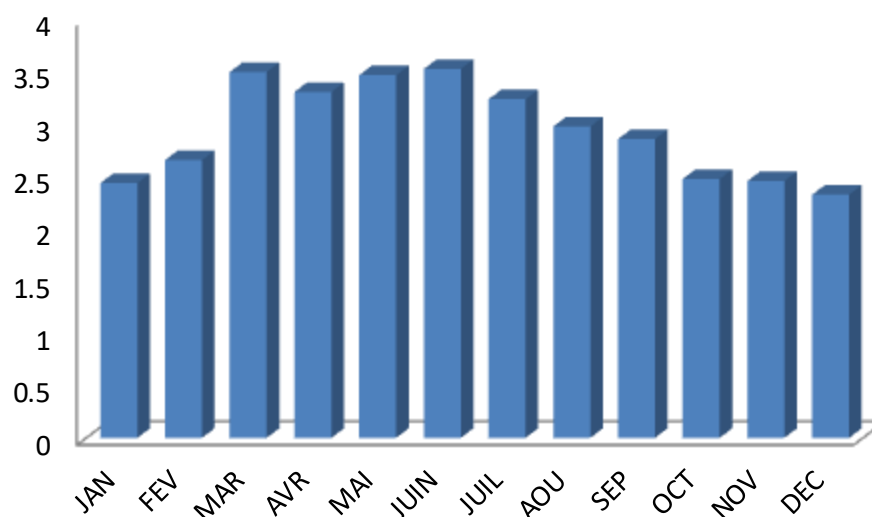


Figure II. 8: Histogramme de la vitesse moyenne mensuelle de vent au niveau de la station de Guemar (2006-2019).

II.1.6 Insolation:

À cause de la faible nébulosité, la quantité de la lumière solaire est relativement forte, ce qui est en effet augmente la température qui provoque la sécheresse.

En effet, la durée d'insolation est très importante au Sahara et varie d'une manière très importante d'une année à l'autre et même au cours de la même année.

La région d'El-Oued reçoit une quantité de lumière solaire relativement très forte, dont le maximum est atteint au mois de Juillet avec une durée d'insolation de 357.58 heures et le minimum est enregistré au mois de Décembre avec une durée de 221 heures (Fig. II.10 et Tab. II.9), (Sifi Mbarka et Radouani Nizar , 2018).

Tableau II-10 : Durée d'insolation moyenne mensuelle au niveau de la station de Guemar (1990 – 2015).

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	Moy T
Insolation (heure/jour)	230	233,93	256,5	275,5	313,83	339,17	357,6	333,25	261,25	257,9	240,75	220,75	276,7

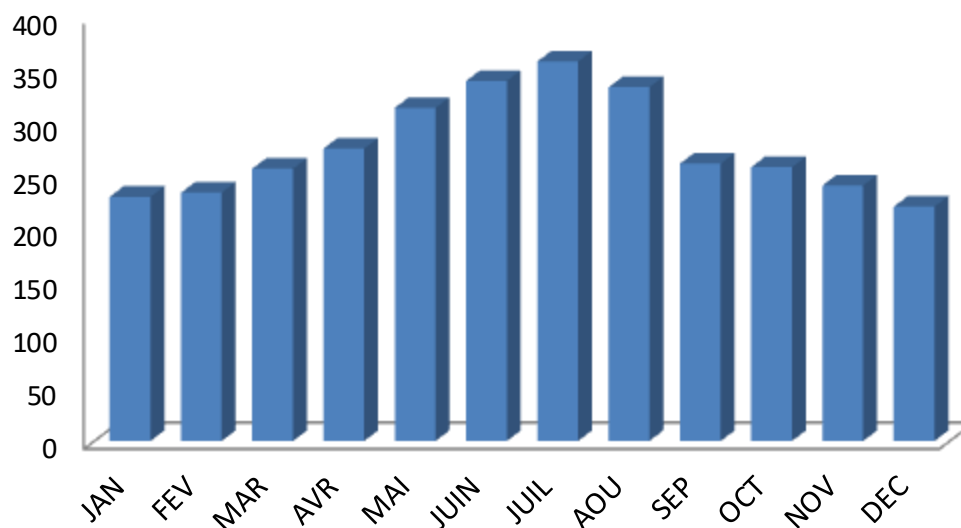


Figure II. 9: Histogramme de la durée d'insolation moyenne mensuelle au niveau de la station de Guemar (1990-2015).

II.1.7 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 (à grande vitesse) surtout durant l'automne et le printemps (REMINI B, 2005).

L'évaporation est très intense, surtout lorsqu'elle est renforcée par les vents chauds. Elle est de l'ordre de 2284.4 mm/an avec un maximum mensuel de 334.4 mm au mois de Juillet et un minimum de 76.7 mm en Janvier, (Fig. II.11 et Tab. II.10).

Tableau II-11 : Evaporation moyenne mensuelle au niveau de la station de Guemar (1990/2015).

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	An
Eva (mm)	76,7	104,4	160,2	212,8	265,3	288,0	334,4	280,9	202,3	155,7	107,9	95,8	2284,40

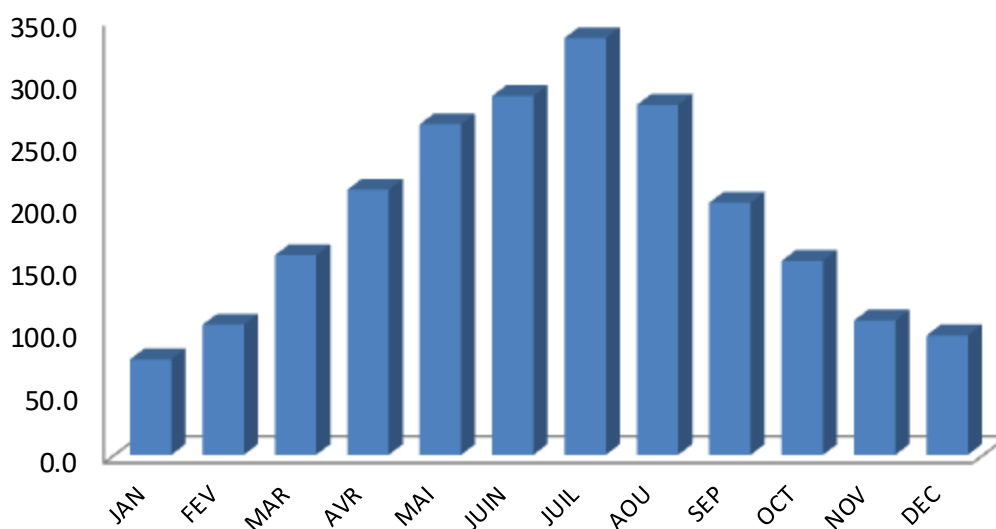


Figure II. 10: Variation de l'évaporation moyenne mensuelle au niveau de la station de Guemar (1990/2019).

II.2 Calcul du bilan hydrique :

II.2.1 Evapotranspiration :

C'est un élément principal de bilan hydrique, désigne toutes les pertes en eaux par retour à l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau, elle regroupe l'ensemble des phénomènes physiques et biologiques qui restituent l'humidité du sol à l'atmosphère.

L'évapotranspiration potentielle (ETP) est la quantité d'eau pouvant être restituée à l'atmosphère par transpiration des êtres vivants et 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 (Fig. II.12).

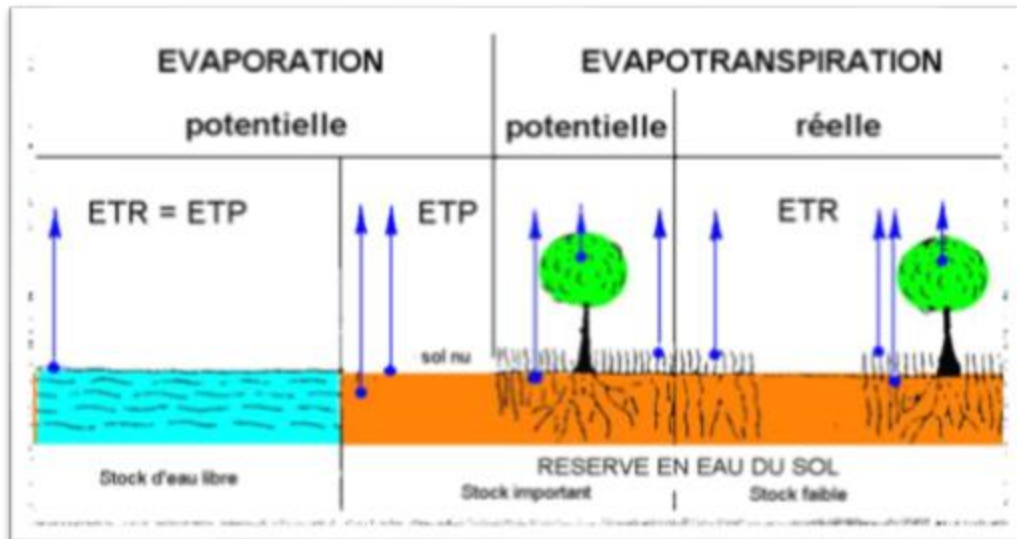


Figure II. 11: Schéma simplifié expliquant la différence entre l'ETP et l'ETR.

II.2.1.1 Evapotranspiration potentielle (ETP) :

➤ Formule de THORNTHWAITE :

La formule utilisée pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle est :

$$ETP = 16 \times (10 T/I)^n \times K$$

Avec:

T : Température moyenne mensuelle du mois considéré (°C) .

ETP : Evapotranspiration potentielle du mois considéré (en mm d'eau).

I : Indice thermique annuel $I = \sum_i = \sum \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$

Le paramètre : $n = 0.016 \times I + 0.5$

K : Coefficient d'ajustement mensuel, il est fonction du mois et de la latitude (33),

(Tab. II.11)

Tableau II-12: Coefficient d'Ajustement K en fonction de la Latitude (enseiht fr).

Lat. N.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	1.04	.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
5	1.02	.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	.99	1.02
10	1.00	.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	.98	.99
15	.97	.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	.95	.97
20	.95	.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	.93	.94
25	.93	.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	.99	.91	.91
26	.92	.88	1.03	1.06	1.15	1.15	1.17	1.12	1.02	.99	.91	.91
27	.92	.88	1.03	1.07	1.16	1.15	1.18	1.13	1.02	.99	.90	.90
28	.91	.88	1.03	1.07	1.16	1.16	1.18	1.13	1.02	.98	.90	.90
29	.91	.87	1.03	1.07	1.17	1.16	1.19	1.13	1.03	.98	.90	.89
30	.90	.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	.98	.89	.88
31	.90	.87	1.03	1.08	1.18	1.18	1.20	1.14	1.03	.98	.89	.88
32	.89	.86	1.03	1.08	1.19	1.19	1.21	1.15	1.03	.98	.88	.87
33	.88	.86	1.03	1.09	1.19	1.20	1.22	1.15	1.03	.97	.88	.86
34	.88	.85	1.03	1.09	1.20	1.20	1.22	1.16	1.03	.97	.87	.86
35	.87	.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	.97	.86	.85
36	.87	.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	1.03	.97	.86	.84
37	.86	.84	1.03	1.10	1.22	1.23	1.25	1.17	1.03	.97	.85	.83
38	.85	.84	1.03	1.10	1.23	1.24	1.25	1.17	1.04	.96	.84	.83
39	.85	.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	.96	.84	.82
40	.84	.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	.96	.83	.81
41	.83	.83	1.03	1.11	1.25	1.26	1.27	1.19	1.04	.96	.82	.80
42	.82	.83	1.03	1.12	1.26	1.27	1.28	1.19	1.04	.95	.82	.79
43	.81	.82	1.02	1.12	1.26	1.28	1.29	1.20	1.04	.95	.81	.77
44	.81	.82	1.02	1.13	1.27	1.29	1.30	1.20	1.04	.95	.80	.76
45	.80	.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	.94	.79	.75
46	.79	.81	1.02	1.13	1.29	1.31	1.32	1.22	1.04	.94	.79	.74
47	.77	.80	1.02	1.14	1.30	1.32	1.33	1.22	1.04	.93	.78	.73
48	.76	.80	1.02	1.14	1.31	1.33	1.34	1.23	1.05	.93	.77	.72
49	.75	.79	1.02	1.14	1.32	1.34	1.35	1.24	1.05	.93	.76	.71
50	.74	.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	.92	.76	.70

L'évapotranspiration potentielle moyenne annuelle obtenue est de l'ordre de 1207.61 mm. Le maximum a été enregistré au mois d'Aout (317.13 mm) et le minimum au mois de Janvier (9.61 mm), (Tab. II.12).

Tableau II-13 : Calcul de l'ETP par la formule de Thornthwaite, pour une période de 30 ans (1990-2019), à la station de Guemar.

paramètres mois	T (°C)	i	K	ETP (mm)
Janvier	10,46	3,06	0,88	9,61
Février	12,02	3,77	0,86	13,21
Mars	16,02	5,83	1,03	32,03
Avril	20,36	8,38	1,09	61,06
Mai	25,32	11,66	1,19	113,85
Juin	30,22	15,24	1,20	177,25
Juillet	33,29	17,64	1,22	228,52
Août	38,97	22,39	1,15	317,13
Septembre	29,01	14,32	1,03	137,62
Octobre	23,42	10,36	0,97	76,63
Novembre	16,34	6,01	0,88	28,73
Décembre	11,54	3,55	0,86	11,95
Année	266,97	122,21	-	1207,61

➤ **Formule de Turc 1960, basée sur la température et le rayonnement :**

Pour le calcul de ETP mensuelles nous pouvons utiliser la formule de Turc donnée par :

$$ETP = \frac{0.4 \times (I_g + 50) \times T}{(T + 15) \times K}$$

Avec : **T** (°C) : Température moyenne mensuelle.

K : Coefficient d'ajustement mensuel.

Au cas où I_g n'est pas mesuré, on doit le calculer par la formule suivante :

$$I_g = I_gA \times \left(0.18 + 0.62 \left(\frac{h}{H} \right) \right)$$

Où:

$$H = 362,7 + 0,2101 \times \text{Lat} + (4,085 \text{ Lat} - 80,99) \times \text{Cos}(30,01 \times i - 188,9)$$

Avec :

I_g : Moyenne mensuelle de la radiation solaire globale (cal/cm/jour).

I_{gA} : Radiation solaire globale théorique (calories/cm²/jour). (**Tableau II.13**)

H : Durée d'insolation (heure/mois).

i : Numéro du mois (4 pour Avril et 10 pour Octobre par exemple).

Lat : Latitude du point considéré en degrés et minutes.

La formule de Turc a été établie pour une humidité relative pour le mois considéré supérieur à **50%**.

Lorsque l'humidité relative HR n'atteint pas 50%, la valeur trouvée pour l'ETP doit être multipliée par le facteur correctif « **K** » suivant :

$$K = 1 + (50 - Hr) / 70$$

Les résultats de calculs sont présentés dans le tableau II-13 :

Tableau II-14 : Radiation solaire globale théorique (1990-2019), (selon Web Power Data Access Viewer).

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	Moy T
Radiation solaire globale théorique (Mj/m ² /jour)	10,81	15,09	19,50	24,08	25,93	27,99	27,62	25,62	20,55	15,59	11,58	9,56	19,49
Radiation solaire globale théorique (cal/cm ² /jour)	258,30	360,52	465,86	575,22	619,43	668,49	659,59	611,83	490,85	372,28	276,68	228,44	465,51

Tableau II-15 : Estimation de l'ETP par la méthode de Turc (1960).

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	juil	Août	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	an
Iga(cal/cm ² /jours)	258,30	360,52	465,86	575,22	619,43	668,49	659,59	611,83	490,85	372,28	276,68	228,44	
H (heures)	356,48	314,04	364,71	423,79	392,51	323,16	331,68	403,82	418,99	351,82	314,61	369,56	
h (heures)	230,00	233,93	256,50	275,50	313,83	339,17	357,58	333,25	261,25	257,92	240,75	220,75	
Ig (cal/cm ² /)	149,82	231,40	286,99	335,39	418,56	555,32	559,61	423,17	278,11	236,22	181,07	125,72	
t(°C)	10,46	12,02	16,02	20,36	25,32	30,22	33,29	38,97	29,01	23,42	16,34	11,54	22,25
humidité relative (%)	60,12	50,76	42,29	36,60	32,12	27,24	24,25	27,46	36,08	42,51	63,71	60,59	39,8
K	1,00	1,00	1,11	1,19	1,26	1,33	1,37	1,32	1,20	1,11	1,00	1,00	
ETP (mm)	32,84	50,07	77,27	105,74	147,76	214,41	229,94	180,66	103,71	77,26	48,18	30,56	1298,4

Discussion des résultats :

Des différences significatives existent dans les valeurs estimées des Etp suivant chaque méthode, du fait que chacune d'elles a été établie et testée sous des climats différents de celui de notre région.

La méthode de Thornthwaite qui semble la plus proche de la réalité, car cette méthode conviendrait seulement aux régions sub-humides et semi-arides de la zone tempérée, là où l'ensoleillement est généralement moins important que la température. Par contre, la formule de Turc est applicable dans la plupart des zones climatiques.

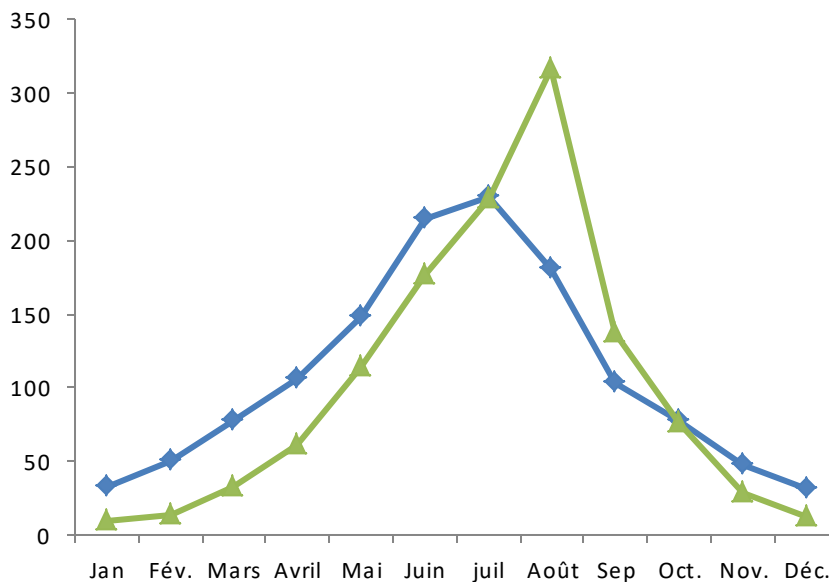


Figure II. 12: Variation de l'ETP par les méthodes de Turc et de Thornthwaite.

II.2.1.2 Evapotranspiration réelle (ETR) :**➤ Formule de Turc:**

Cette formule consiste à évaluer directement l'évapotranspiration réelle à partir de la hauteur moyenne de la pluie et de la température moyenne annuelle.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle en mm.

P : Précipitation moyenne annuelle en mm.

T : Température moyenne annuelle en °C.

L : Paramètre exprimant le pouvoir évaporant de l'atmosphère, il a pour expression :

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3.$$

Tableau II-16 : Résultats de l'application numérique de la formule de TURC.

Paramètres	P (mm)	T (°C)	L	ETR (mm/an)
Janvier	15,35	10,46	618,72	16,17
Février	5,32	12,02	687,33	5,61
Mars	9,25	16,02	906,07	9,75
Avril	11,12	20,36	1230,99	11,72
Mai	6,83	25,32	1744,64	7,20
Juin	2,23	30,22	2435,42	2,35
Juillet	2,16	33,29	2976,89	2,28
Août	2,97	38,97	4233,36	3,13
Septembre	9,59	29,01	2245,96	10,11
Octobre	8,28	23,42	1527,79	8,73
Novembre	10,34	16,34	926,64	10,90
Décembre	7,8	11,54	665,34	8,22
Année	91,24	266,97	20199,15	96,17

➤ **Méthode de Thornthwaite :**

Pour le calcul de l'évapotranspiration réelle, on utilise la méthode de C.W. Thornthwaite, où on distingue deux cas principaux :

Si $P - ETP > 0$; c. à d : $P > ETP$, dans ce cas $ETR = ETP$.

Si $P - ETP < 0$; c. à d : $P < ETP$, ce cas est subdivisé encore en deux cas :

$$A) \text{ Si } P + RFU > ETP \Rightarrow ETR = ETP.$$

$$B) \text{ Si } P + RFU < ETP \Rightarrow ETR = P + RFU.$$

Les résultats des calculs sont mentionnés dans le (tableau II.15) (bilan hydrique).

II.2.2 Estimation de la réserve facilement utilisable (RFU) :

Elle présente la quantité d'eau emmagasinée dans le sol. Son degré de saturation dépend de plusieurs facteurs :

La nature, la composition lithologique et l'épaisseur de la couche superficielle.

La profondeur du niveau piézométrique de la nappe d'eau.

Le climat de la région.

➤ Le type de la couverture végétale.

On peut calculer la RFU d'après la formule de Hallaire :

$$RFU = \frac{c-F}{100} \times (h \times Da) + 30$$

C = Capacité au champ.

F = Capacité au point de flétrissement.

h = Profondeur du sol.

Da = Densité apparente du sol.

Il a proposé aussi :

Pour un sol sablo-limoneux : **C - F = 5 %** (cas de notre terrain).

Pour un sol limoneux : **C - F = 10 %**

Pour un sol argilo-limoneux : **C - F = 20 %**

Da = 100, h = 500 mm (Profondeur d'enracinement)

L'application numérique nous donne **RFU = 55 mm**.

II.2.3 Déficit agricole (**Da**) :

Il représente sensiblement la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux cultures (par l'irrigation) pour qu'elles ne souffrent pas de la sécheresse. Il est donné par l'expression :

$$Da = ETP - ETR$$

II.2.4 Excédent (**Exc**) :

C'est la quantité d'eau pouvant s'écouler lorsque l'ETP et la RFU sont satisfaites. Il correspond au surplus d'eau destinée à l'alimentation par l'infiltration et le ruissellement de surface. Il est donné par l'expression :

$$Exc = P - ETR$$

II.2.5 Interprétation du bilan hydrologique de Thornthwaite:

Selon le graphe (Fig. II.15), si on examine l'évolution de l'ETP à l'échelle mensuelle, on constate l'existence de deux saisons bien distinctes :

- Pendant le mois du Janvier, le bilan hydrique est positif où les précipitations couvrent les besoins de l'ETP et permettent la formation d'une réserve facilement utilisable RFU.

- Pendant le reste de l'année, les précipitations sont inférieures à L'ETP et les réserves sont sèches, ce qui provoque un déficit agricole, donc il nécessite une irrigation pour les zones cultivées.

- L'ETR est égale à 91.24 mm, soit 100 % des précipitations.

L'estimation de ces 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 malgré qu'elle ne représente que 4 mm pendant le mois de janvier.

Tableau II-17 : Bilan hydrique d'après Thornthwaite pour une période de 30 ans (1990-2019).

Mois	T (C°)	P (mm)	ETP(mm)	P-ETP(mm)	ETR (mm)	RFU(mm)	DA(mm)	EX(mm)
Janvier	10,46	15,35	9,61	5,74	9,61	5,74	0,00	0,00
Février	12,02	5,32	13,21	-7,89	5,32	0	7,89	0,00
Mars	16,02	9,25	32,03	-22,78	9,25	0	22,78	0,00
Avril	20,36	11,12	61,06	-49,94	11,12	0	49,94	0,00
Mai	25,32	6,83	113,85	-107,02	6,83	0	107,02	0,00
Juin	30,22	2,23	177,25	-175,02	2,23	0	175,02	0,00
Juillet	33,29	2,16	228,52	-226,36	2,16	0	226,36	0,00
Août	38,97	2,97	317,13	-314,16	2,97	0	314,16	0,00
Septembre	29,01	9,59	137,62	-128,03	9,59	0	128,03	0,00
Octobre	23,42	8,28	76,63	-68,35	8,28	0	68,35	0,00
Novembre	16,34	10,34	28,73	-18,39	10,34	0	18,39	0,00
Décembre	11,54	7,8	11,95	-4,15	7,8	0	4,15	0,00
Annuel	266,97	91,24	1207,61	-1116,37	85,50		1122,11	0,00

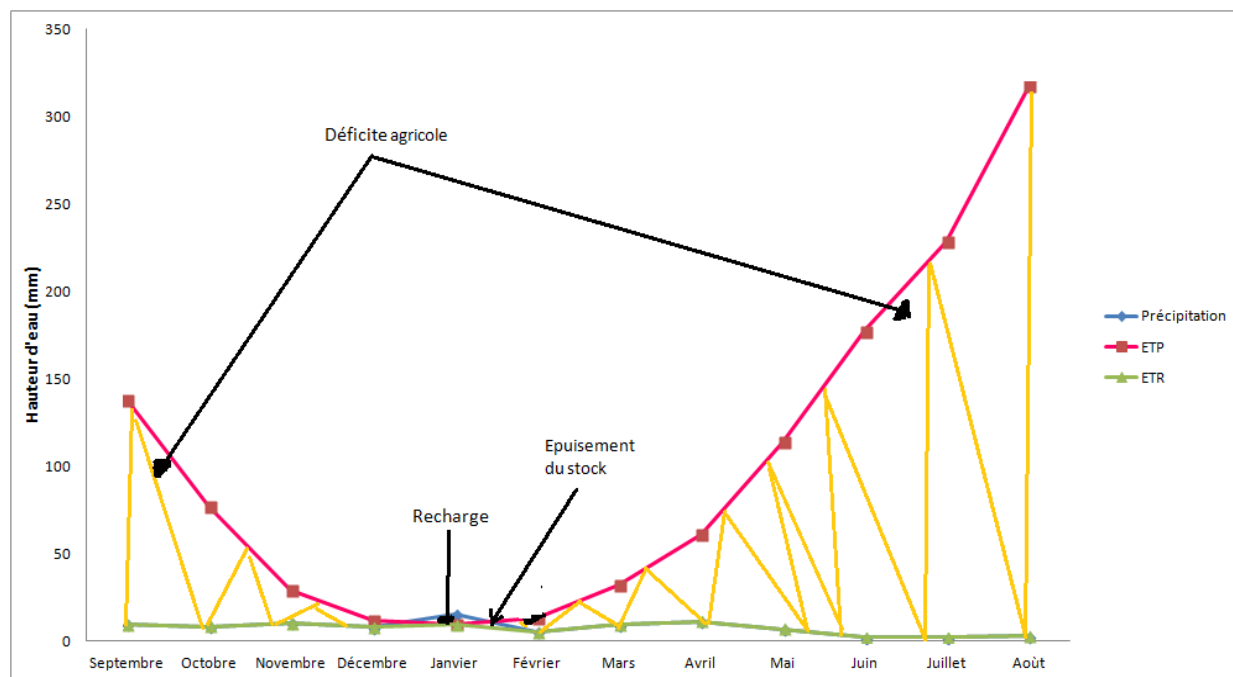


Figure II. 13: Représentation graphique du bilan de Thornthwaite.

II.2.6 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.

$$R = P^3/(3(ETP)^2) \quad \text{quand : } P < 600 \text{ mm.}$$

$$R = P^3/3 \quad \text{quand : } P > 600 \text{ mm.}$$

Dans notre cas : $P = 91.24 \text{ mm}$ $600 < \text{mm}$. Donc :

$$R = P^3/(3(ETP)^2) = (91.24^3)/(3(1207.61)^2)$$

$R = 0.17 \text{ mm}$, ce qui représente 0.19% des précipitations.

II.2.7. Infiltration :

Elle est définie comme étant le mouvement de l'eau dans un sol en passant par la surface. Elle est calculée par la formule : $I = P - ETR - R$

Cette étude nous montre que les précipitations n'assurent pas le stockage permanent de l'eau dans la réserve d'eau facilement utilisable (RFU), et que l'infiltration est nul du point de vue théorique, cela nous pousse à douter à la fiabilité des données météorologiques.

CONCLUSION :

- Le climat de la région d'El Oued est connu par son aridité marquée notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations d'une part, et par les amplitudes thermiques et les températures trop élevées d'autre part. Cette aridité ne se constate pas seulement en fonction du manque de pluies, mais aussi par une forte évaporation qui règne dans la région.

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 mois de Décembre et de Janvier.

- Les précipitations moyennes mensuelles durant l'année sont de l'ordre de 91.24 mm qui est complètement reprise par l'évapotranspiration.

- La température moyenne mensuelle durant l'année est de l'ordre $26.97 \text{ }^\circ\text{C}$.

- L'évaluation de l'évapotranspiration réelle par les formules de Turc donne des résultats excluant toute possibilité d'infiltration, par contre la seule valeur obtenue par le bilan de Thornthwaite qui est de l'ordre de 91.24 mm .

- Le déficit agricole estimé de 1116.37 mm, par le bilan de Thornthwaite, s'étale sur tout l'année.

- L'estimation des paramètres constituant le bilan hydrologique permet d'avoir un ruissellement de l'ordre de 0.17 mm et une infiltration nulle de point de vue théorique, cela revient à la fiabilité des données météorologiques.

CHAPITRE III

HYDROGEOLOGIE

III HYDROGEOLOGIE :

INTRODUCTION :

L'étude hydrogéologique nous a permis l'identification des différents aquifères, l'évolution du niveau piézométrique, le sens d'écoulement des eaux, les caractéristiques hydrodynamiques et leur mode d'alimentation.

Dans la plupart des oasis du Sahara septentrional, les seules ressources hydriques 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.M, 2005), (BRL-BNEDER, 1999), (Cornet A, 1964), (Castany G, 1982) et (UNESCO, 1972) distinguent généralement deux ensembles géologiques qui contiennent les ressources en eau souterraine d'épaisseur et de caractéristiques hydrogéologiques variables.

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) s'étend sur une vaste zone dont les limites sont situées en Algérie, Tunisie et Libye. Ce bassin renferme une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT).

Le domaine du SASS couvre une superficie d'environ 1 000 000 km² dont 70 % se trouvent en Algérie, 24 % en Libye et 6 % en Tunisie (Figure III-1) et s'étend du Nord au Sud, depuis l'Atlas saharien jusqu'aux affleurements du Tidikelt et du rebord méridional du Tinrhert et d'Ouest en Est depuis la vallée du Guir-Saoura jusqu'au Graben de Hun en Libye.

Ce bassin se subdivise en trois sous-entités : les deux sous-bassins du Grand Erg Occidental et du Grand Erg Oriental qui sont des cuvettes à écoulement endoréique aboutissant dans des dépressions fermées « chotts et sebkhas » et le plateau de la Hamada El Hamra.

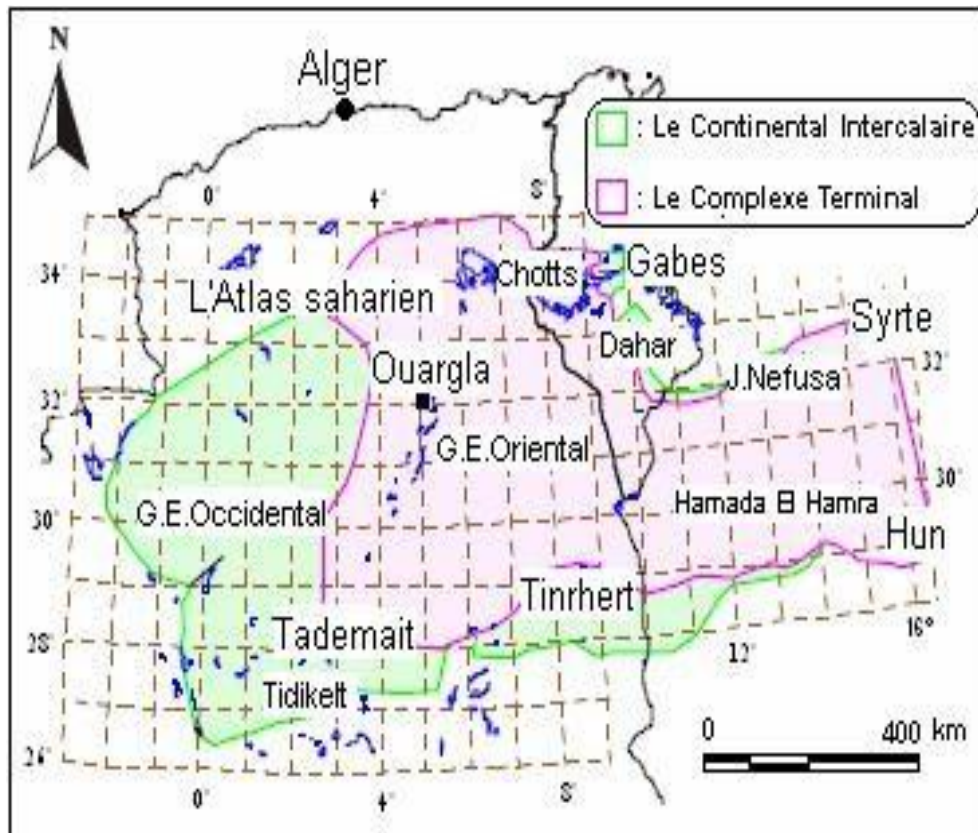


Figure III. 1 : Délimitation du "SASS" (OSS, 2003).

Le terme « Continental Intercalaire » désigne un épisode continental localisé entre deux cycles sédimentaires marins :

- À la base, le cycle du Paléozoïque qui achève l'orogénèse hercynienne.
- Au sommet, le cycle du Crétacé supérieur, résultat de la transgression cénomaniennne.

Le Complexe Terminal est un ensemble assez peu homogène incluant des formations carbonatées du Crétacé supérieur et des épisodes détritiques du Tertiaire, principalement du Miocène (Busson, 1970; Fabre, 1976).

III.1 Différents aquifères :

L'étude hydrogéologique générale a montré l'existence de trois horizons aquifère de haut en bas (figure III-2):

La nappe superficielle (libre) contenue dans les formations continentales du Quaternaire, se sont des sables fins localement intercalés d'argiles sableuses et gypseuses lenticulaires. Elle couvre toute la région d'étude.

Le Complexe Terminal (CT) s'étend sur une superficie de 350000 km². Il est constitué de formations de la fin du Crétacé supérieur (secondaire) jusqu'à la fin du Mio-Pliocène (Tertiaire).

Cet horizon aquifère est constitué de bas en haut par les formations calcaires et dolomies de l'Eocène (aquifère des calcaires), de la deuxième nappe des sables du Pontien et de la première nappe des sables mio-pliocènes.

Le Continental Intercalaire (CI) qui s'étend sur une superficie de 600000 km², limité dans sa partie ouest par Bechar et Touat, à l'Est il s'étend sur le territoire Libyen, au Sud il est limité par les affleurements du primaire et du socle et enfin au Nord par l'accident Sud atlasique (BOULIFA K, 2012).

Nature hydrogéologique		Nature lithologique	Etage		Ere
Nappe phréatique		Sables	Quaternaire		
Niveau imperméable		Argiles			
1 ^{ère} nappe des sables	Complexe Terminal	Sables	Pliocène		Tertiaire
Semi-perméable		Argiles gypseuses			
2 ^{ème} nappe des sables		Sables grossiers, graviers	Pontien	Miocène	
Niveau imperméable		Argiles lagunaires, marnes	Moyen	Eocène	
Nappe des calcaires (perméables)		Calcaire fissuré	Inférieur	Crétacé	
			Sénonien carbonaté		
Semi-perméable	Evaporites, argiles	Sénonien lagunaire	Crétacé	Secondaire	
Niveau imperméable	Argiles, marne	Cénomaniens			
Nappe de Continental Intercalaire	Sables et Grés	Albien			

Figure III. 2: Récapitulatif des systèmes aquifères d'El-Oued (KHECHANA S, 2007).

III.1.1 La Nappe phréatique:

La nappe 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, Le Souf, 2004).

L'alimentation de cette nappe se fait par les pluies torrentielles qui sont rares, faibles et typiquement sahariennes, par l'infiltration des eaux des forages détruits (corrosions) venant des nappes sous-jacentes (CT-CI), par les eaux d'irrigations (CT-CI), par les eaux industrielles et les eaux d'assainissements.

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 suit celui de la nappe du Complexe Terminal, c'est-à-dire du Sud vers le Nord (Figure III-3) avec une direction secondaire vers le Nord-ouest (Sud et Sud-est du terrain) (BELLAOUEUR A, 2008).

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

Cette nappe est exploitée par plus de 1200 puits traditionnels destinés en majorité à l'irrigation. L'implantation de deux forages (1956-1968) et neuf forages débitants de 20 à 30 l/s (1977-1985) dans le CT ainsi que les conditions, citées ci-dessus, étaient les premiers signes de la remontée des eaux constatées à partir de l'année 1980 (BOULIFA K, 2012).

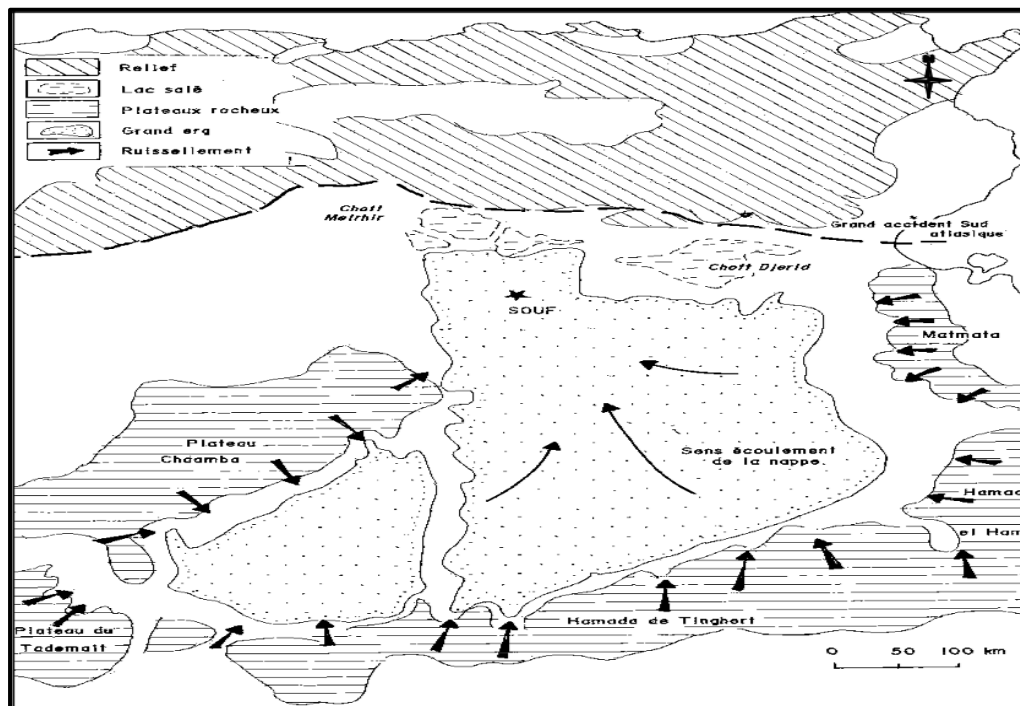


Figure III. 3: Zone d'alimentation de la nappe phréatique et le sens d'écoulement de la nappe (Cote M, 2006).

III.1.2 Complexe Terminal

la notion du «Complexe Terminal» est une 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.

Sur une superficie de 350 000 km² d'environ le Complexe Terminal couvrant essentiellement la majeure partie du bassin oriental et l'ensemble du Sahara septentrional en Algérie et en Tunisie Le Complexe Terminal affleure aux endroits suivants (Figure III-4):

- Au Nord, dans le sillon des chotts algéro-tunisiens.
- À l'Est, le long du flanc oriental du Dahar.
- Au Sud, sur les plateaux de Tinrhert et de Tademaït.
- À l'Ouest, sur la dorsale du M'Zab.

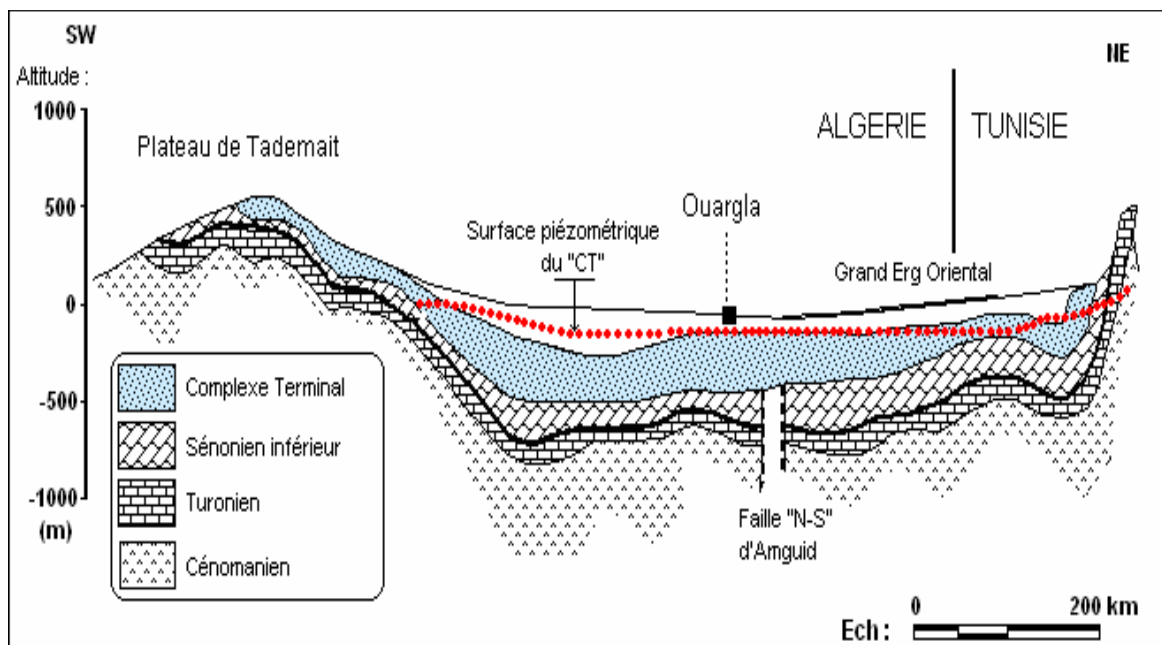


Figure III. 4: Coupe hydrogéologique transversale du "CT" (UNESCO, 1972).

Le complexe terminal est constitué de trois aquifères superposés, de bas en haut :

III.1.2.1 La première nappe des sables

Appelée aussi nappe des sables, contenue dans les formations sableuses et sablo-argileuse avec intercalations de gypses du Pliocène. Il s'agit d'un réseau de nappes communicantes. C'est la nappe la moins profonde, elle est de type captive.

III.1.2.2 La deuxième nappe des sables

Cette nappe est séparée par la précédente (première nappe des sables) par une formation d'argiles-gypseuse imperméable formant son toit. Elle est contenue dans les sables du Pontien (Miocène supérieur), plus perméable et plus continue que la première, elle est captive, son substratum est constitué d'argiles et d'argiles-sableuses.

III.1.2.3 L'aquifère des calcaires Sénonien-Eocène

Appelé *nappe des calcaires*, situé dans les calcaires fissurés du Sénonien carbonaté et de l'Eocène inférieur. Le Sénonien lagunaire forme son substratum et les argiles lagunaires et marnes de l'Eocène moyen forment le toit imperméable de cette nappe (figure III-2).

La profondeur du complexe terminal est comprise entre 100 et 600 m, sa puissance moyenne est de 300m. Elle est captive sur toute la région d'El-Oued, les zones d'alimentations sont situées au sud et au sud-est surtout le grand Erg oriental où la nappe devient moins profonde et libre (niveau statique entre 30 et 40 m).

Exploitée par 129 forages dans toute la wilaya avec 102 forages dans la zone d'étude (HPO-BG, 2002).

Les zones d'alimentations : au Nord : l'atlas saharien, au Sud : le Tihert, à l'Est le Dahar, et au Nord-Est le Nafusa, les exutoires de cette nappe sont les chotts algéro-tunisien et le golfe de Syrte.

III.1.2.4 Piézométrie et direction des écoulements

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)(Figure III-5).

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) (KHECHANA S, 2014) .

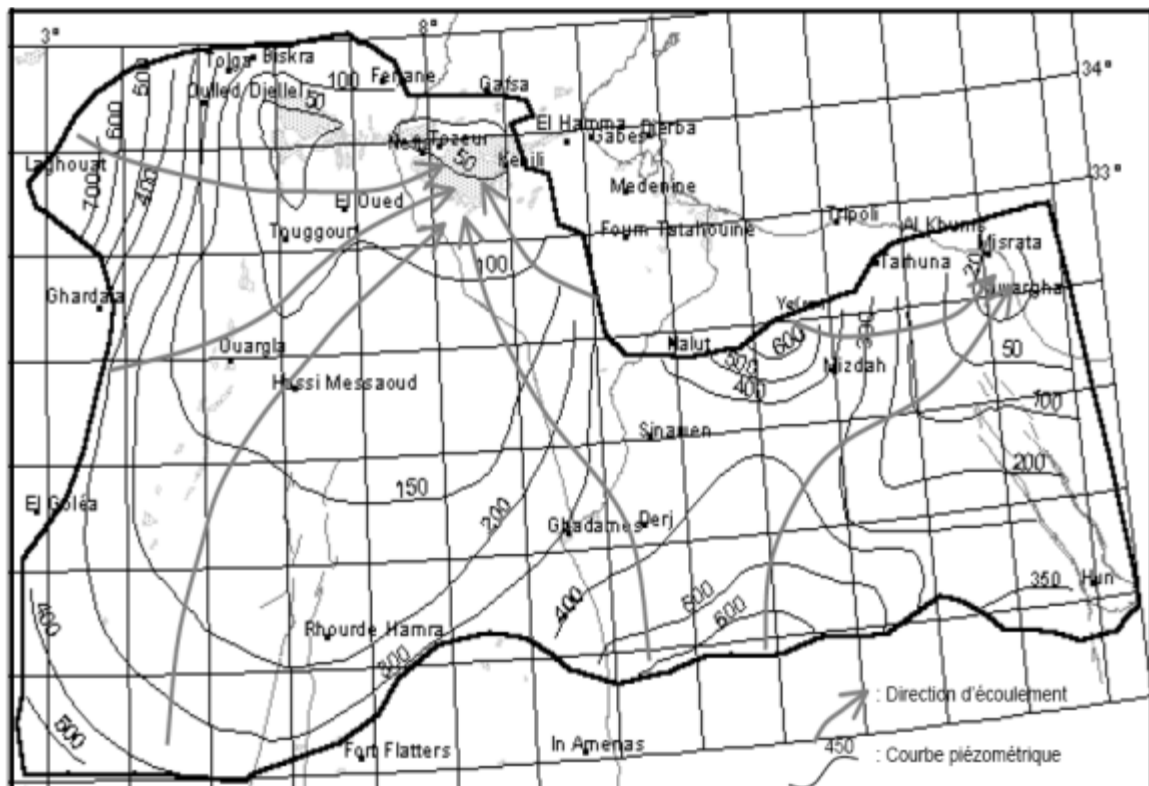


Figure III. 5: Limites de l'aquifère du Complexe terminale avec les niveaux piézométrique et les sens d'écoulement (Baba SY et al. 2006).

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'inféro-flux des oueds : bordure Sud- Atlasique, M'Zab, JebelTebaga, Dahar, JebelNefousa. 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 . 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.

Le premier forage profond artésien de prospection fut exécuté en 1953 à Sif El Menadi (90 Km N.O d'El Oued). Foré à 435 m de profondeur, il a débité quelques 4 m³ 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).

Les formations du Complexe Terminal sont très hétérogènes. Elles englobent les assises perméables du Sénonien calcaire et du Mio-Pliocène. En effet, il est possible d'y distinguer trois corps aquifères principaux, séparés localement par des horizons semi-perméables ou imperméables.

Ces trois corps sont représentés par les calcaires et les dolomies du Sénonien et de l'Eocène inférieur, par les sables, les grès et les graviers du Pontien, et par les sables du Mio-Pliocène.

III.1.3 Nappe du Continental Intercalaire C.I :

On peut définir le "CI" comme l'ensemble continental compris entre les plissements hercyniens, qui ont chassé la mer de la plate-forme saharienne et l'invasion marine du Crétacé supérieur. Cet ensemble comprend majoritairement les formations continentales gréso-argileuses du Crétacé inférieur, auxquelles l'étude des coupes de forages a permis d'associer des sédiments

L'aquifère est continu du nord au sud, depuis l'Atlas Saharien jusqu'au Tassili du Hoggar, et d'ouest en est, depuis la vallée du Guir et de la Saoura jusqu'au désert libyen.

Une structure N-S majeure, la dorsale du M'Zab, divise le bassin en deux sous-bassins, occidental et oriental (Zine B, 2010).

III.1.3.1 Les ressources en eaux du Continental Intercalaire

La nappe du Continental intercalaire est alimentée par les eaux des précipitations tombée sur les bordures du bassin, tout au long des oueds qui descendent des massifs montagneux, notamment de l'Atlas saharien au Nord -Ouest et du Dahar à l'Est.

Des ruissellements en bordure de plateaux peuvent également participer à l'alimentation de la nappe sur le bord du Tademaït et du Tinrhert.

Elle est exploitée par trois forages artésiens, 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° et 26 bars à la sortie du forage.

L'extension géographique de la formation aquifère dépasse beaucoup, en effet, la dépression du bas Sahara, elle dépasse 600 000 km² (Castagny G, 1968).

Cette nappe est limitée à l'Ouest par la vallée de oued Saour -Me ssaoud, au Sud par une ligne Est-Ouest de Reggan-Fort-Flatters, au Nord par la chaîne de l'Atlas, vers l'Est elle dépasse les frontières de l'Algérie et s'étend dans le Sud tunisien et le Nord libyen. La formation affleure largement au Nord, dans les régions montagneuses de l'Atlas et au Sud-Ouest autour de Tadmaït, d'El -Goléa et à l'Est de Ain-Salah.

Au cours des 50 dernières années, les prélèvements d'eaux souterraines, en particulier sur les zones algériennes et tunisiennes du SASS ont rapidement augmenté. En effet, en 2000, on a estimé les taux de prélèvements à 550 millions de m³/an en Tunisie, 1 500 millions de m³/an en Algérie, et 450 millions de m³/an en Libye (Tableau III-1).

Tableau III. 1:Présentation du Bassin (SASS) (OSS, 2003).

Surface	1.000.000 km²		
Réserves théoriques	60.000 milliards de m³ dont 10 000 milliards/m³ exploitables		
Recharge	1 milliard de m³/an		
Besoins (m³/an)	1970	2000	2030
	600 millions	2,2 milliards	8 milliards
Population (en millions)	1,0	4,0	8
Surfaces irriguées prévisionnelles	50 000 ha	170 000 ha	400 000 ha
Pays	Algérie + Libye + Tunisie		

Même s'il s'agit d'une eau principalement fossile, emmagasinée au cours des périodes pluvieuses du quaternaire, l'alimentation se poursuit encore dans les zones d'affleurement : Atlas saharien, Grand Erg Occidental.

L'agriculture consomme environ 80 % du volume d'eau prélevé et il faut s'attendre à ce que les trois pays augmentent leurs prélèvements durant les prochaines années. De 0,6 milliard

de m^3 environ en 1950, le volume d'eau prélevé annuellement est passé à 2,5 milliards de m^3 en 2000 (et ce, à partir de 8 800 points d'eau).

Les réserves de cette nappe peuvent permettre l'irrigation de 100 000 hectares pendant 200 000 ans, les prélèvements actuels sont de l'ordre de $5 m^3/s$.

Les eaux de l'Albien contiennent généralement moins de 2 g de résidu sec par litre, cependant, elles restent généralement moins salées que celles du Complexe Terminal.

III.1.3.2 Piézométrie et direction des écoulements

Les travaux de Cornet(1964), ERESS (1972) et OSS, (2003), ont participé à l'élaboration de la carte piézométrique du CI. Le niveau piézométrique de cette nappe (Figure III-6) est généralement supérieur à celui de la nappe du complexe intercalaire.

Les circulations d'eau souterraine du CI dans le Grand Erg Oriental convergent vers un seul exutoire : la région du Golfe de Gabès en Tunisie. La direction majeure d'écoulement, W-E, vient de l'Atlas Saharien et de la dorsale du M'Zab. Une autre direction vient du Sud et du Sud-Est.

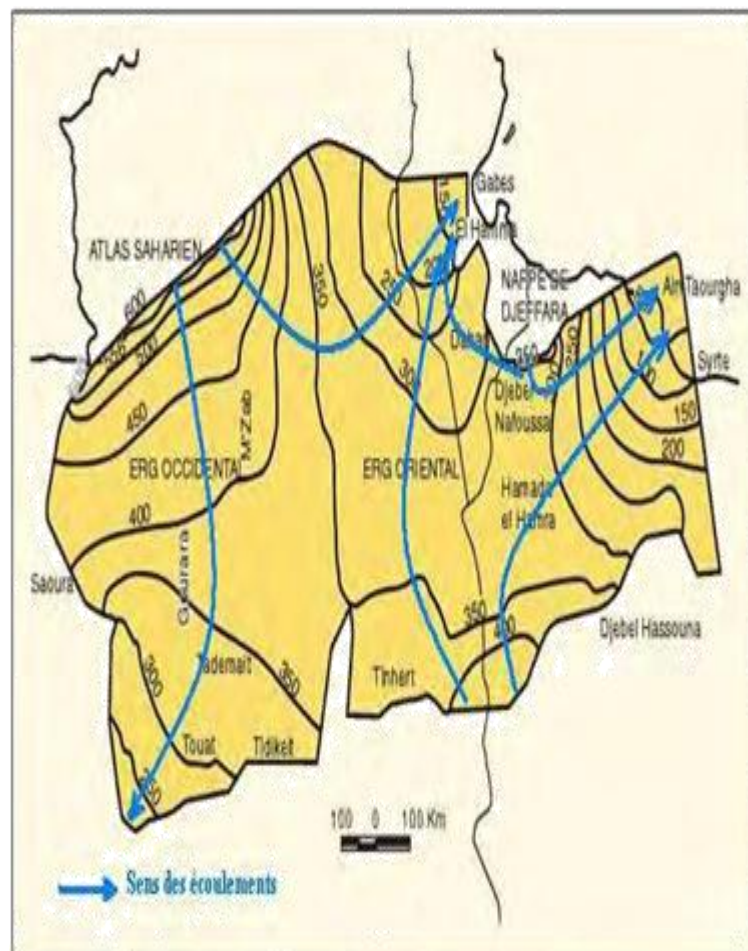


Figure III. 6: Piézométrie du Continental Intercalaire. (OSS, 2003)

Le sens des écoulements du Complexe terminal et celui du Continental intercalaire sont représentés sur la carte géologique (Fig III-7).

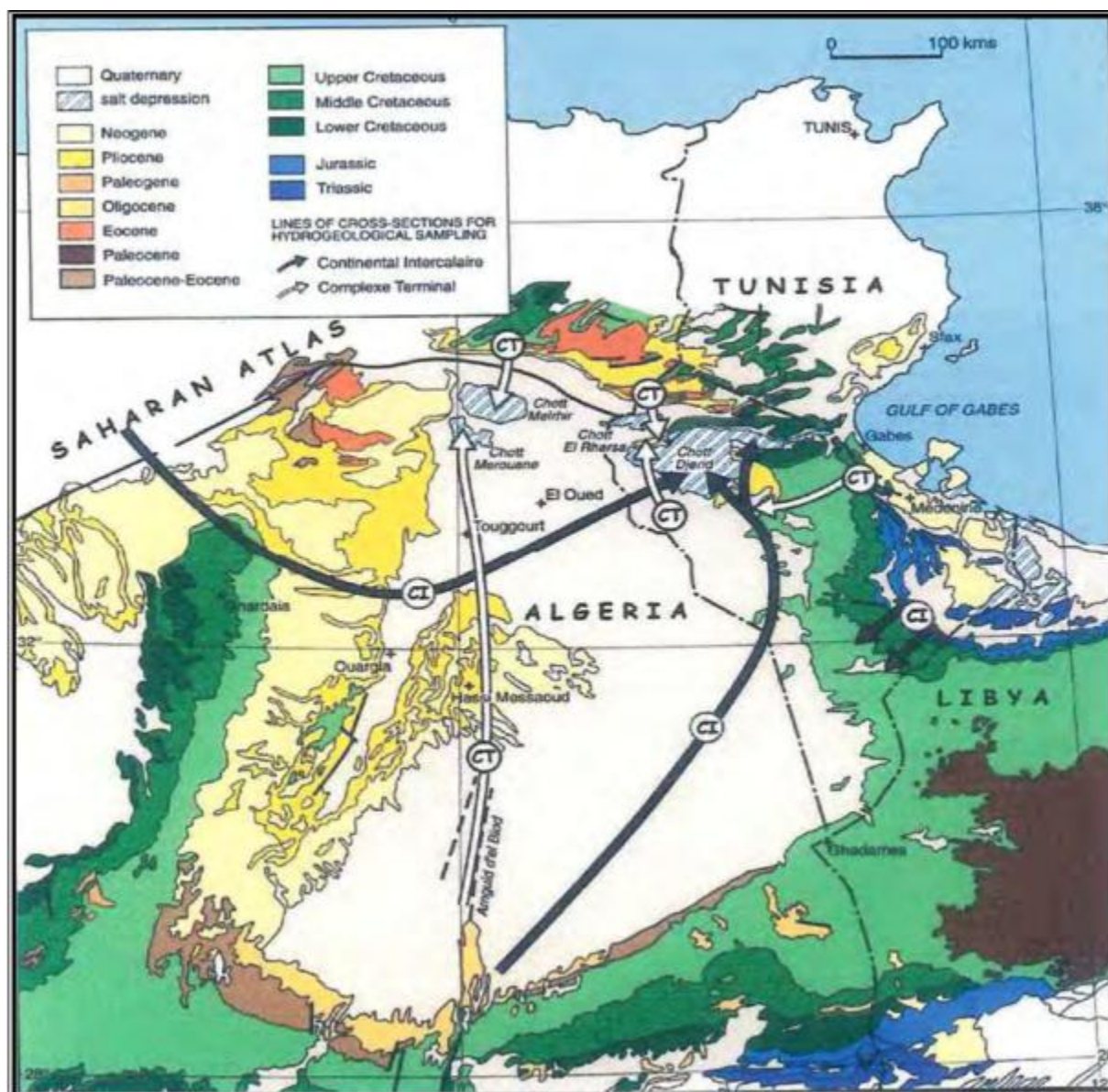


Figure III. 7 : Carte géologique du Sahara septentrional avec le sens d'écoulement du CT et CI. ERESS modifiée par (Guendouz et Al, 2003).

III.1.4 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 phréatique.

Selon (Miloudi A, 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.

La commune d'El-Oued exploite cet aquifère par deux forages artésiens pour l'AEP d'un débit cumulé de 340 l/s et une température avoisinant les 70 °C.

III.2 Historique de la remontée des eaux de la nappe phréatique du Souf:

La région d'Oued Souf c'est une région où la majorité de sa surface c'est du Sahara, dunes et des Oasis saharienne. La population dans ce coin de terre aussi importante, une vie aussi intense

L'Oasis saharienne classique fonctionne comme un agro-système, reposant sur la trilogie eau/habitat/palmeraie. Pour la région du Souf, les Soufis ne se sont pas implantés n'importe où dans le Grand Erg. Ils ont choisi le centre nord de ce vaste ensemble, c'est-à-dire le secteur qui combine un couvert végétal relativement dense et une nappe phréatique proche et abondante : les eaux souterraines s'y sont progressivement concentrées (Cote Marc, 2006).

III.2.1 Avant 1956.

Les Oasiens utilisaient uniquement les eaux de la nappe phréatique pour leurs besoins en eau pour les différents usages (pour l'alimentation en eau potable, l'irrigation et pour l'industrie...), assurait un équilibre entre les besoins et les ressources en eau.

La rareté des précipitations et l'augmentation de la demande en eau avec le développement rapide, nécessite le recours aux ressources en eau profondes, les prélèvements des eaux du complexe terminal et de continentale intercalaire augmentent chaque année.

Les jardiniers du Souf assistent depuis la fin du XIXe siècle et plus encore depuis 1930 à une sensible variation du niveau de leur nappe phréatique, il semble même qu'ils aient enregistré, à partir de 1940, une baisse des eaux plus fortes qu'auparavant. Faible ou nulle sur la bordure méridionale, elle atteint 50 centimètres au Sud d'El Oued, s'élève à 1 mètre près de cette ville, passe à 1,50 mètre dans les environs de Kouinine, puis à 1,80 mètres près de Guemar et s'élève à plus de deux mètres non loin de Reguiba, au Nord du Souf. Une accentuation de la baisse du Sud vers le Nord, sur l'axe principal des palmeraies au moins, est donc très nette (Nesson C, 1978).

En 1953, un rapport du laboratoire des BTP notait qu'une baisse avait dû intervenir dès 1890, qu'elle s'était accélérée dans les années 1930-1940, et inquiétait les agriculteurs. Elle était inégale, de l'ordre de 1 m dans la partie Sud, 1,50 m entre El Oued et Guemar, et atteignait 2,30 m au droit de Reguiba. Dans les secteurs de Ghamra Ouest ou Djedeïda, on voit, dressés encore aujourd'hui, les troncs insolites des palmiers morts de cette époque. Et un rapport sur la situation d'El Oued en 1948 note que « On ne peut songer », multiplier ces plantations car on constate

que le niveau de la nappe aquifère baisse par suite, semble-t-il, de l'accroissement du nombre des palmeraies ».

La société Soufie le sait bien, qui au cours des derniers siècles a eu à faire face à un lent rabattement de cette nappe, et a dû mettre au point les techniques d'approfondissement des ghouts et de "descente" du palmier (réaliser en creusant sous le palmier, et en descendant progressivement celui-ci avec des cordes, jusqu'à ce que ses racines atteignent à nouveau la nappe). A l'aide de cette technique, le Soufi a réussi à augmenter le nombre de palmiers (Figure III-8 et III-9), mais toujours il y a en une réaction de la nature par le rabattement de la nappe phréatique à cause du débit extrait.

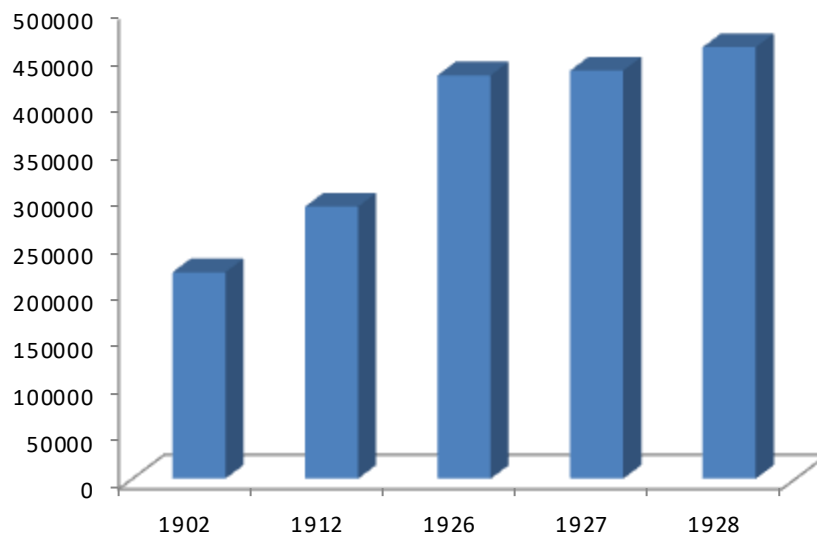


Figure III. 8 : Les nombres des palmiers du Souf au début de XXe siècle (Najah A, 1970).

Figure III. 9 : La nappe phréatique Avant 1956

III.2.2 De 1956 à 1986.

Devant cette situation d'accroissement démographique à cette époque, et les besoins en eau de l'agriculture, on a observé une baisse générale de la nappe phréatique. Pour remédier à cette situation on a opté pour la réalisation des forages, où en 1957 il a été réalisé le premier forage dans le Complexe terminal. Un autre forage exécuté à Hobba (30 Km de Nord Ouest d'El Oued), il donne 158 litres par seconde.

La profondeur exploitée allant de 325 à 400 m. Un troisième forage, à Guemmar, donne 8,3 litres par seconde sous une pression au sol de 8 m ; la profondeur exploitée allant de 285 à 350 m (Zine B, 2010).

Une douzaine des forages ont été effectués entre 1961 et 1969 : Hamraïa, El Oued, Guemmar, Amiche, Débila, Kouinine, Magrane et Hassani Abdel Karim, où on atteint un débit dans la région du Souf de 600 litres par seconde en 1969.

Et d'après la Chronologie de réalisation de forage de la DHW d'El Oued, on trouve que de 1956 (l'année du premier forage profond à atteint le Complexe terminal). A partir de 1970, un forage fut réalisé presque chaque année.

Après l'année 1970, le périmètre de Hobba (Reguiba) n'est pas unique dans la région, il existe également deux périmètres créés dans le cadre de révolution agraire : Akfadou et Sahane Berry. Les trois périmètres ont été accompagnés par la construction d'un village agricole auprès de chacun.

En 1973, le premier rapport de la direction de l'hydraulique de la Wilaya d'ElOued, notait des traces d'humidité au sol dans le fond du ghout, dans le ghout Sardouke au Nord-est de la ville d'El Oued (*Figure III-10*).



Figure III. 10 : La ville d'El Oued, vue d'avion en 1980 (Cote Marc, 2006)

On peut ajouter à ces 3 périmètres publics le grand périmètre privé de Dahouia, créée et développée au cours des 40 dernières années par Mer Djilali Mahri. Au prix de très gros investissements, il a réalisé une mise en valeur spectaculaire de 568 ha, portant sur environ 15 000 palmiers et 12 000 oliviers, irrigués par deux forages d'une profondeur de 90 mètres chacun et 7 forages d'une profondeur de 280 mètres.

L'accroissement démographique de cette région a entraîné une forte demande en eau ce qui a nécessité la réalisation d'un grand nombre de forages pour l'alimentation en eau potable sur une période relativement courte. Depuis l'année 1970, le rythme de la réalisation des forages, s'est accéléré où chaque année on a vu la réalisation de 2 ou 3 forages. Pendant l'année 1977 seule, le nombre de forage réalisé est de 12 à l'échelle de la région du Souf, neuf pour l'alimentation d'eau potable et trois pour le besoin d'irrigation, de 30 litres par seconde en moyenne chacun (Zine B, 2010).

L'état des forages situés dans la région du Souf montre qu'entre 1956 et 1980, 38 forages ont été réalisés par la DHW d'El Oued). Et la production disponible calculée est ainsi de l'ordre 34 560 m³ par jour en 1980.

Durant la décennie 1980, le Souf s'est senti basculer et entraîner la rupture d'un système fermé ou en d'autres termes, la mort du paysage agricole. Et ce basculement s'est présenté sous un visage inattendu, celui d'une crise hydraulique spectaculaire, par excès d'eau (Figure III-11), comme il n'y en a eu nulle part ailleurs au Sahara.

On parle ici sur la manifestation aux portes immédiates de la ville d'El Oued, l'eau a affleuré en hiver au centre du ghout, avant de finir par noyer en permanence le fond de celui-ci. La nappe phréatique a monté d'environ de 1,50 mètre, envahit le fond des palmeraies (Voisin A.R, 2004). Il est triste de voir des centaines de palmiers morts, dont les pieds baignant dans l'eau où pousse une végétation marécageuse.

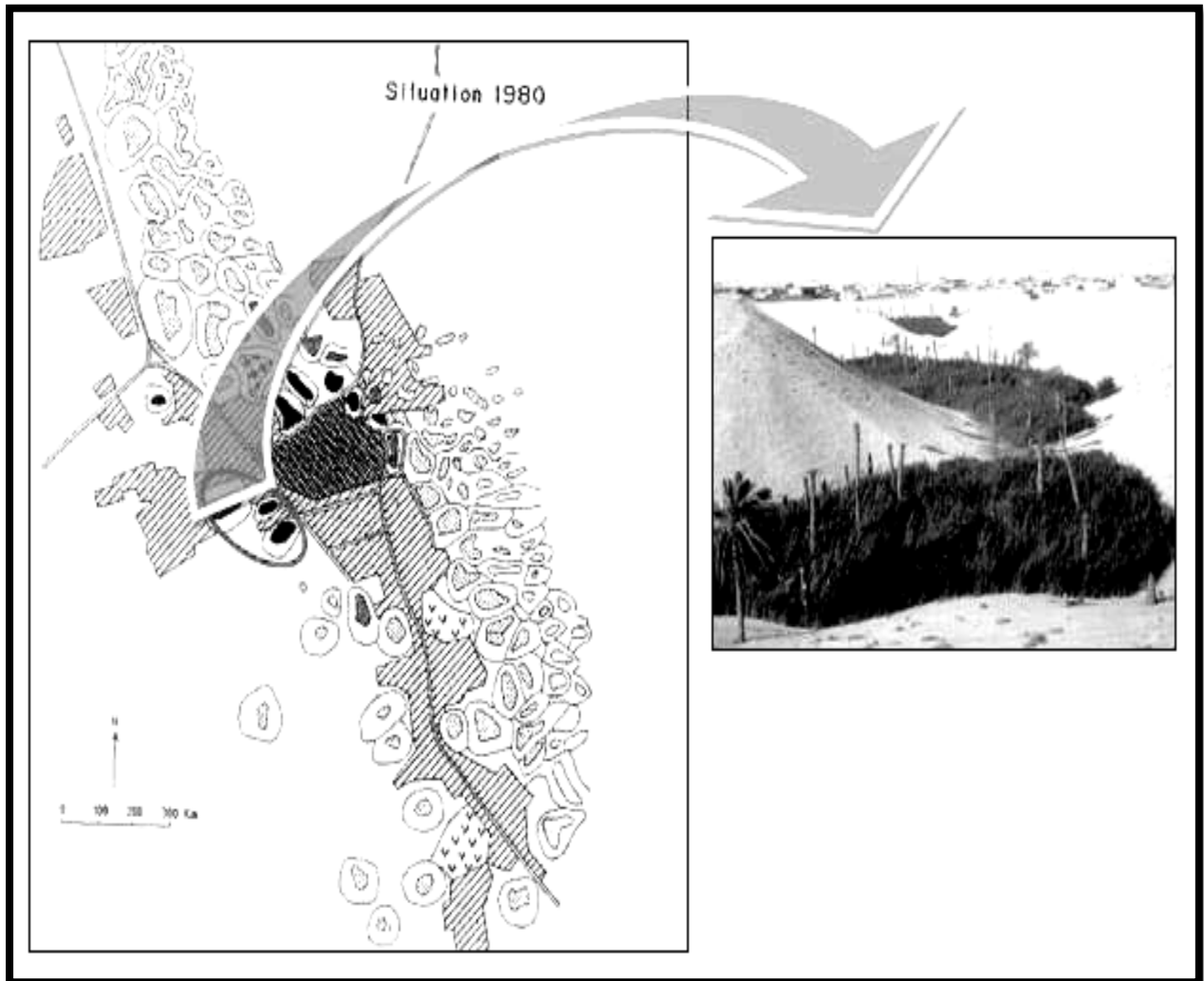


Figure III. 11: Evolution de la situation des ghouts autour d'El Oued en 1980.

La répercussion sur les palmiers sont claires et directes : envahissement par les joncs et roseaux, arrêt de fructification des palmiers, puis dépérissement des arbres, et enfin morts des palmiers et abandon du ghout (Figure III-11). On remarque qu'entre la saison 1980/81 et la saison 1982/83 il n'y a pas une diminution du nombre total des palmiers dans la région, mais il ya une diminution du rendement productif, qui passe de 74 % en 1980/81 à 32 % en 1982/83. (Travail effectué par la direction des services agricoles d'El Oued, 1984) (Fig III-12).

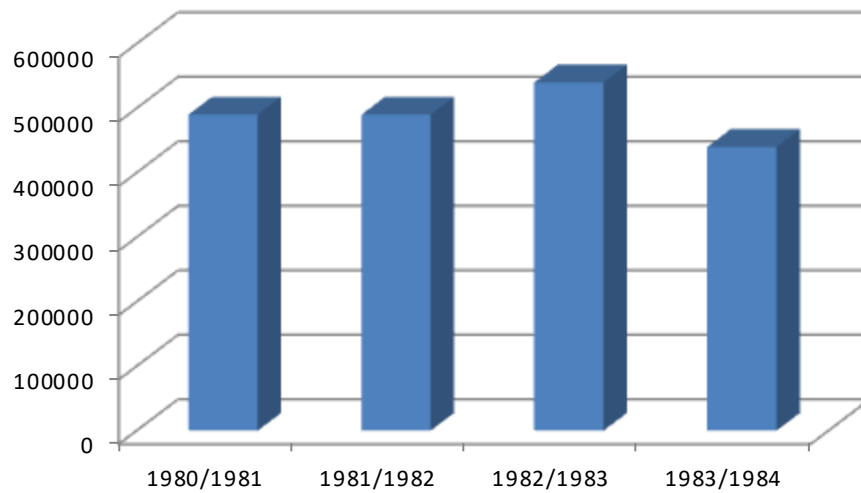


Figure III. 12: Evolution des nombres des palmiers au début des années 80.

Année après année (Fig III-13), la nature du Souf souffre en silence, et le charme de ce paysage commence à disparaître sous la source de notre vie. La situation devient plus complexe aux environs de la ville de Oued Souf, le phénomène s'est développé et a touché des autres cites (ghouts) (Zine B, 2010).

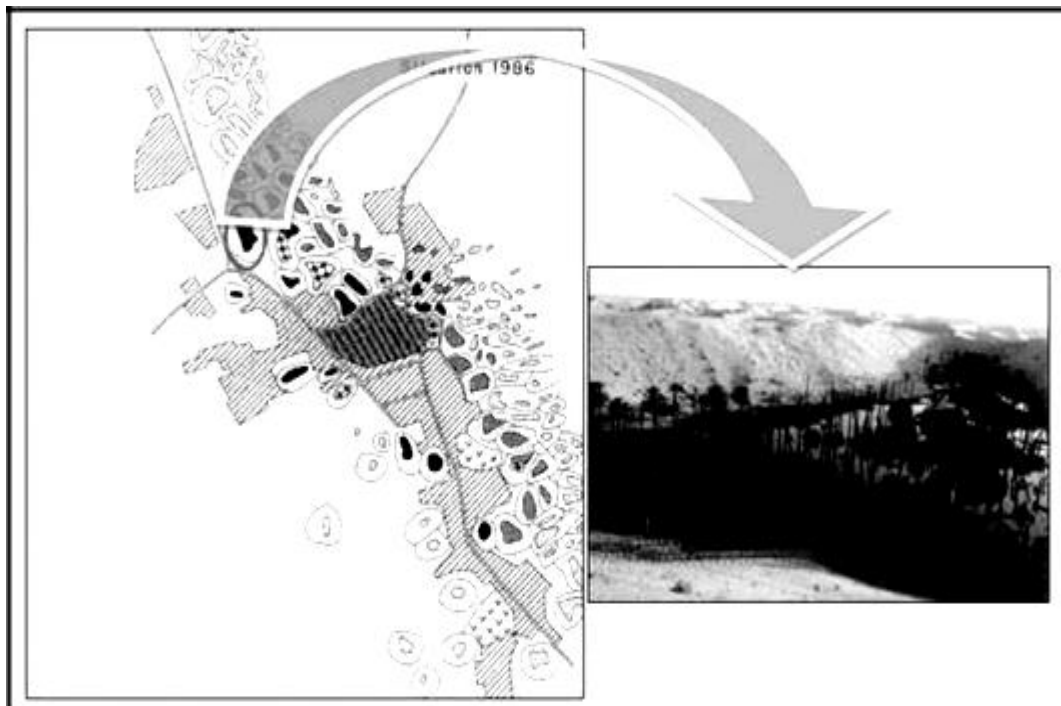


Figure III. 13: situation des ghouts d'El Oued en 1986 (Cote, 1998).

resume la situation de (14-La (figure III-La nappe phréatique entre les années 1956 à 1986.

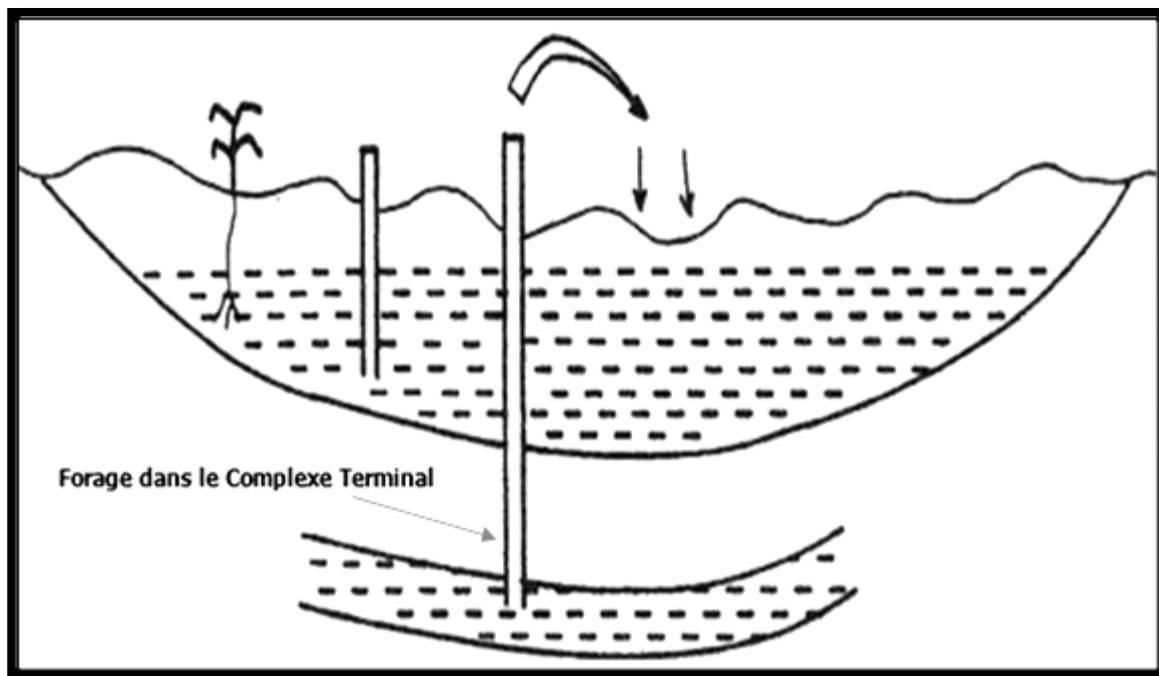


Figure III. 14 : La nappe phréatique entre 1956 à 1986(Zine B, 2010).

III.2.3 De 1986 à 1993

L'accroissement démographique de la région a entraîné une forte demande en eau ce qui a nécessité l'exploitation de l'aquifère du Continental Intercalaire (CI) pour l'alimentation en eau potable. En 1986 et en 1987, trois forages profonds, ont été exécutés dans l'aquifère du CI, deux d'entre eux sont exploités pour l'AEP d'El Oued, et le troisième à Hassi- Khalifa, pour l'agriculture. Les deux forages de la commune d'El Oued (DW 101, DW 102), ont été mis en services dès leur année de réalisation. Pour le forage de Hassi- Khalifa, il est resté fermé pendant dix (10) ans d'environ jusqu'à la fin de l'année 2006, puis a été raccordé au réseau de la distribution d'eau potable (Zine B, 2010).

Les forages profonds ont aggravé la crise et le système est toujours perturbé. Le prélèvement pour le besoin d'alimentation en eau potable à partir de la nappe du complexe terminale et celle du continental intercalaire a atteint les 3789 litres par seconde en 1993 (3109 l/s du CT et 680 l/s par le CI). Concernant l'irrigation, le débit prélevé dans la nappe phréatique est de 6123 litres par seconde (BRL-BNEDER, 1999) (Fig III-15).

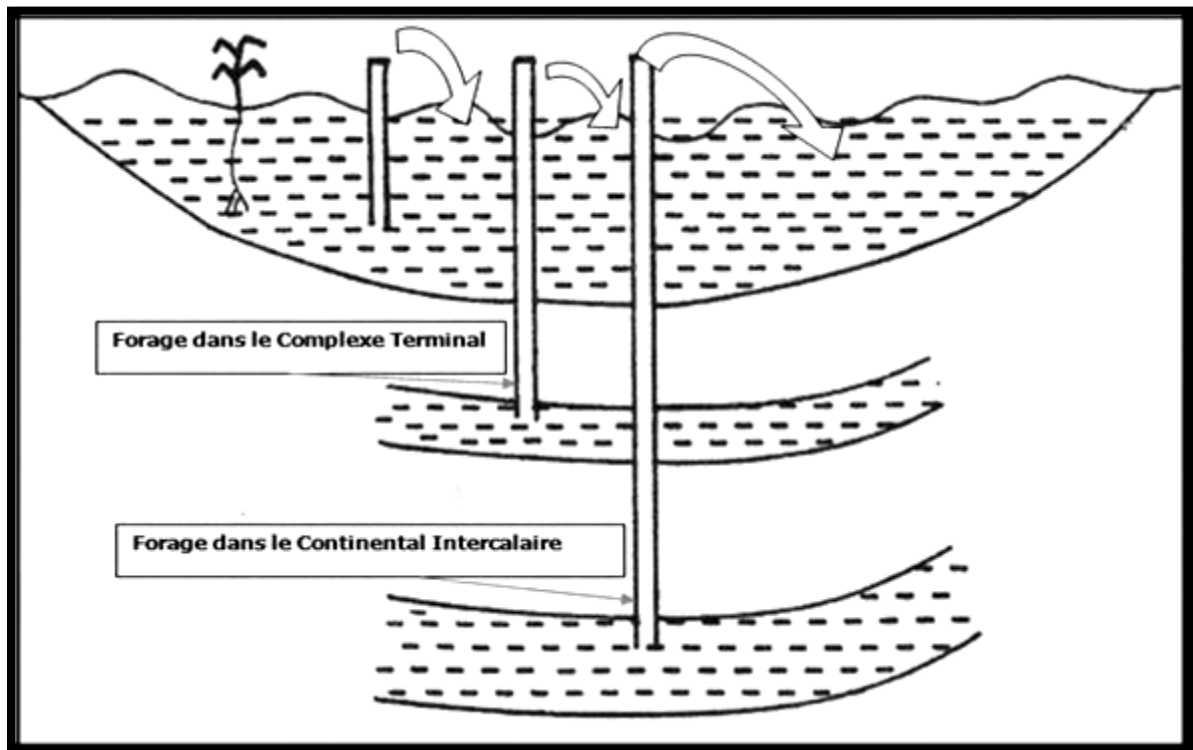


Figure III. 15:La nappe phréatique après 1986 (Zine B, 2010).

L'assainissement des eaux résiduaires dans la vallée du Souf est caractérisé par la prépondérance d'un assainissement individuel pour toutes les agglomérations de la vallée du Souf. Les puits (fosses) perdus ont été conservés dans la ville de Oued Souf, où le nombre a atteint les 36265 fosses. Donc, parmi les eaux introduites à la nappe phréatique, on a en plus les eaux usées. En 1993, le réseau d'assainissement des eaux usées n'a été installé que dans quelques quartiers de la ville de Oued Souf et dans la ville de Guemar.

III.2.4 De 1993 jusque 2011

En 1993, la nappe avait ennoyé la palmeraie sur 25 km dans le couloir Kouinine-Robbah. A partir de 1993 jusqu'en 2004, une série d'investigations ont été entreprises pour connaître les caractéristiques géométriques et géologiques de l'aquifère, et recensé et les forages existants. A la fin d'investigation une série des mesures telles que , l'arrêt de nouveaux forages pour l'irrigation dans le CT et le CI, et remplacés par des puits dans la nappe phréatique, la réduction des allocations d'AEP à la population, la construction pour l'agriculture de nouveaux puits améliorés dans la nappe phréatique et la mise en valeur de nouveaux périmètres agricoles ont eu un impact positif avec une stabilisation ou une baisse du niveau piézométrique dans certaines des zones affectées, alors que dans la ville d'El Oued, la nappe continue à monter de 40 à 60 cm par année dans les quartiers les plus touchés de la ville. Devant ce problème une étude a été faite pour effectuer un réseau de drainage vertical dans les centres urbains, constitué de 58 forages débitants de 6 l/s, connecté à 34 km de conduites, l'ensemble des eaux

drainées aboutit à la station de pompage qui refoulera vers Chott Halloufa, le réseau de drainage devient opérationnel depuis 2011, et maintient le niveau d'eau à 1 m de profondeur sous les zones les plus bas (ghouts) (Reciouï I, 2013).

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 III-16, III-17) exposent l'accroissement rapide de nombre des forages profonds, ainsi que les volumes soutirés dans la région du souf.

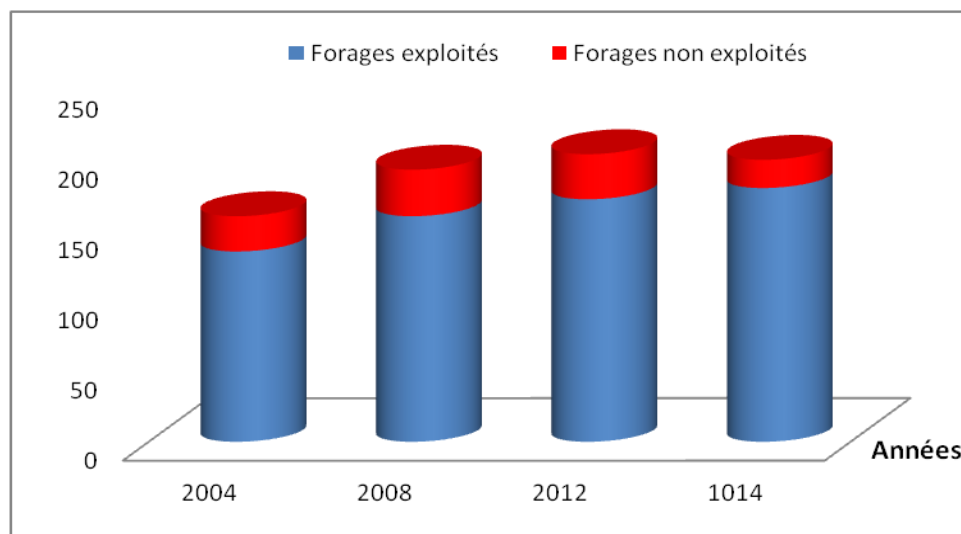


Figure III. 16 : Les nombres des forages profonds dans la région du Souf à la dernière décennie (DHW, 2016).

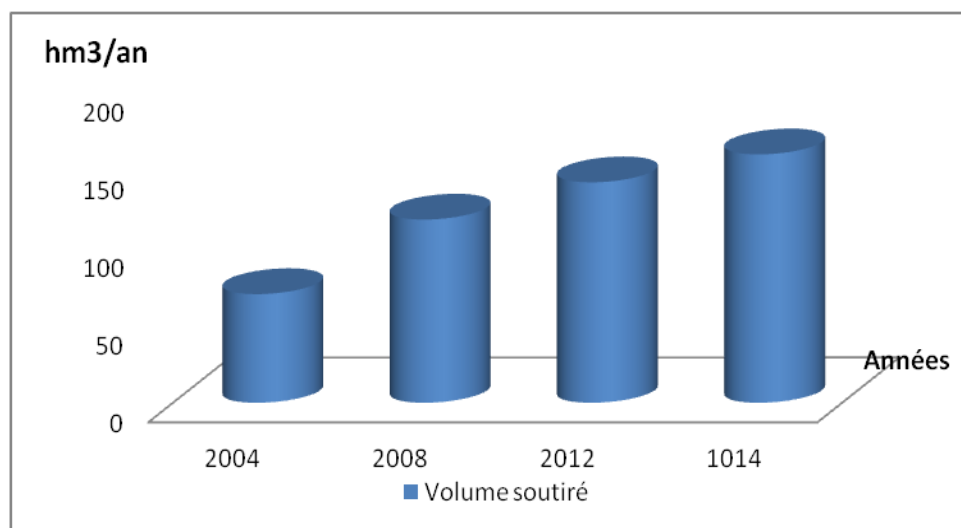


Figure III. 17 : L'accroissement des volumes soutirés dans la région du Souf à la dernière décennie (DHW, 2016).

III.2.5 Origine du phénomène

- ✓ Exploitation intensive des ressources en eau des nappes souterraines profondes (CI et CT).
- ✓ Fuites des réseaux d'AEP et d'assainissement ; Insuffisance de réseaux d'évacuation des eaux usées.
- ✓ Absence d'exutoire.

l'absence d'exécutoire naturel oblige toutes les eaux citées plus haut à rejoindre la nappe en question d'une part cette même nappe n'est plus sollicitée d'autre part, ceci montre clairement la cause de l'équilibre naturel qui existait avant la détérioration de la qualité des eaux de la nappe étudiée.

- ✓ Rejet dans la nappe phréatique des débits prélevés sur les nappes du complexe terminal et du continental intercalaire (albien) ;
- ✓ Insuffisance de drainage des eaux d'irrigation (Boulifa, 2012).

L'impact était des plus dangereux sur la santé des riverains, comme la propagation des maladies à transmission hydrique, ou encore sur l'urbanisme, avec les dommages occasionnés aux fondations des bâtisses (figure III-18) et à la qualité des sols, et ce, sans parler des odeurs nauséabondes qui persistaient et étouffaient les villes, mais le plus important, ces résurgences risquaient directement de polluer les nappes phréatiques de la région (Recioui, 2013).



Figure III. 18 : Etendue d'une remontée (Recioui, 2013).

III.3 ETUDE PIEZOMETRIQUE:

Pour déterminer l'évolution du niveau piézométrique et connaître la variation piézométrique avec les temps, nous avons exploitées les campagnes des mesures piézométriques d'Office National d'Assainissement en 2008 et 2014, les efforts du sœur (SALHI Hala, 2016) par le traité ces donnée à l'aide de SIG (Systèmes d'Information Géographique).

III.3.1 Définition d'un system d'information géographique (SIG) :

Un système d'Information Géographique est un outil informatique permettant de représenter et d'analyser toutes les choses qui existent sur terre ainsi que tous les événements qui s'y produisent.

Les SIG offrent toutes les possibilités des bases de données (telles que requêtes et analyses statistiques) et ce, au travers d'une visualisation unique et d'analyse géographique propres aux cartes. Ces capacités spécifiques font du SIG un outil unique, accessible à un public très large et s'adressant à une très grande variété d'applications.

III.3.1.1 Comment fonctionne un SIG :

Un SIG stocke les informations concernant le monde sous la forme de couches thématiques (Figure III-19) pouvant être reliées les unes aux autres par la géographie. Ce concept, à la fois simple et puissant a prouvé son efficacité pour résoudre de nombreux problèmes concrets.

Les Systèmes d'Information Géographique exploitent deux différents types de modèles géographiques : Le modèle vecteur Dans le modèle vecteur, les informations sont regroupées sous la forme de coordonnées (x, y) et Le modèle raster Le modèle raster, quant à lui, est constitué d'une matrice de points pouvant tous être différents les uns des autres. Il s'adapte parfaitement à la représentation de données variables continues telles que la nature d'un sol.

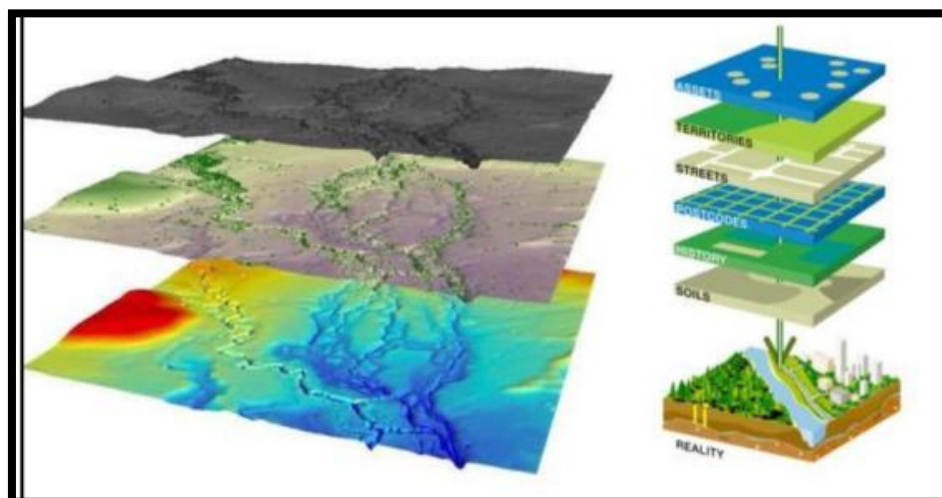


Figure II-9: forme de couches thématiques en SIG.

III.3.1.2 Domaines d'application de SIG :

Les SIG aident à la prise de décision, à la planification et à la gestion dans un environnement de résolution de problèmes. Les exemples suivant, montrent les possibilités d'applications des SIG.

- * Hydraulique
- * Urbanisme
- * Mine et pétrole
- * Agriculture
- * Gestion durable des ressources
- * Risques d'inondation
- * Collecte des déchets
- * Militaire
- * Géomarketing
- * Santé Publique

III.3.2 Inventaire des points d'eau

Le réseau de surveillance de la ville de Oued Souf, mis en place en 2006 a été composé à l'origine de 58 points, répartis dans la ville dans une zone de 40 km², les coordonnées ont été relevées au GPS et toutes les données recueillies ont été introduites dans une base de données liée à un S.I.G (système d'information géographique) (Fig III-20).

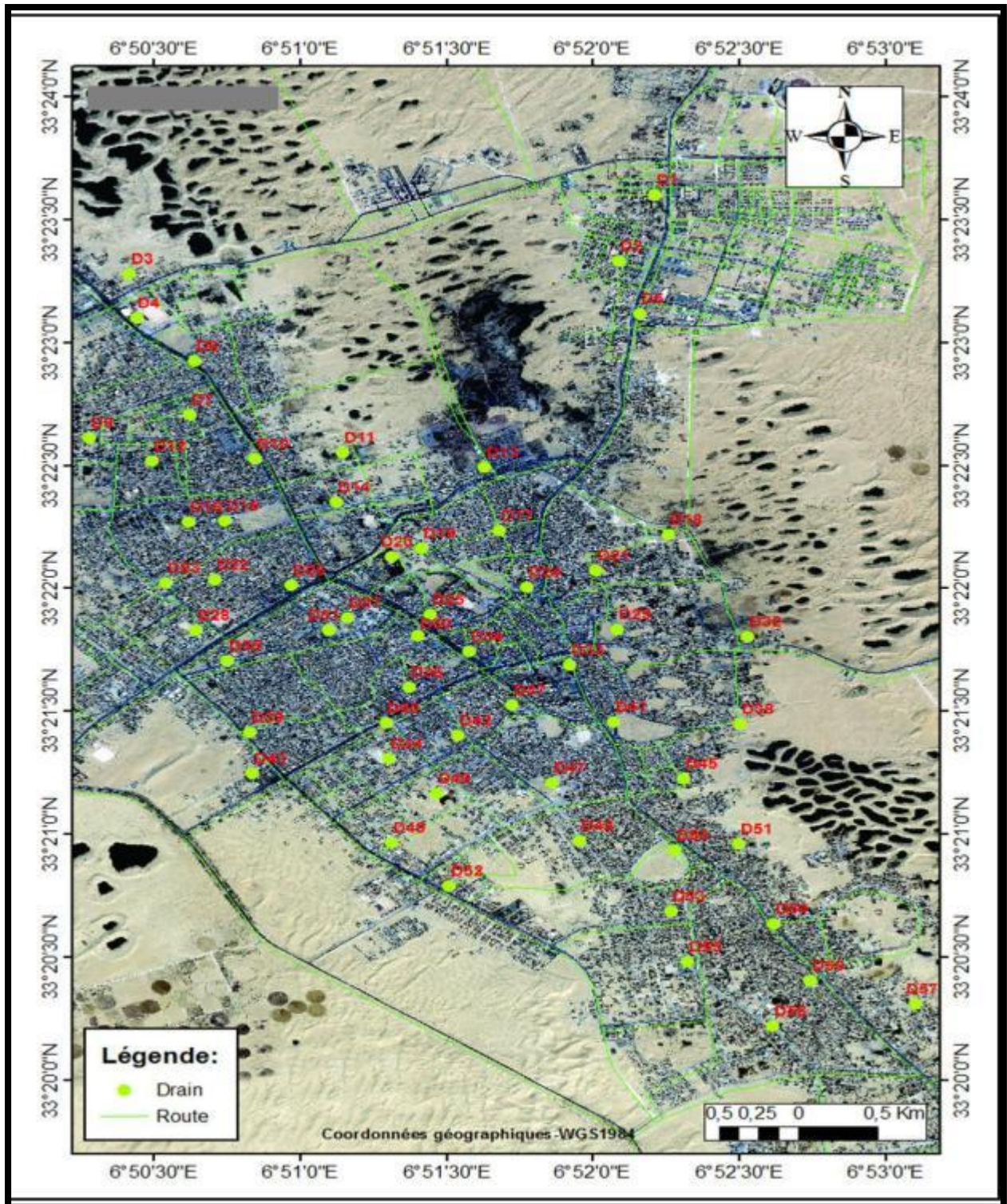


Figure III. 20 : Réseau de surveillance de la ville d'Oued Souf (SALHI H, 2016).

III.3.3 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 des eaux de la nappe phréatique (fig III-21).

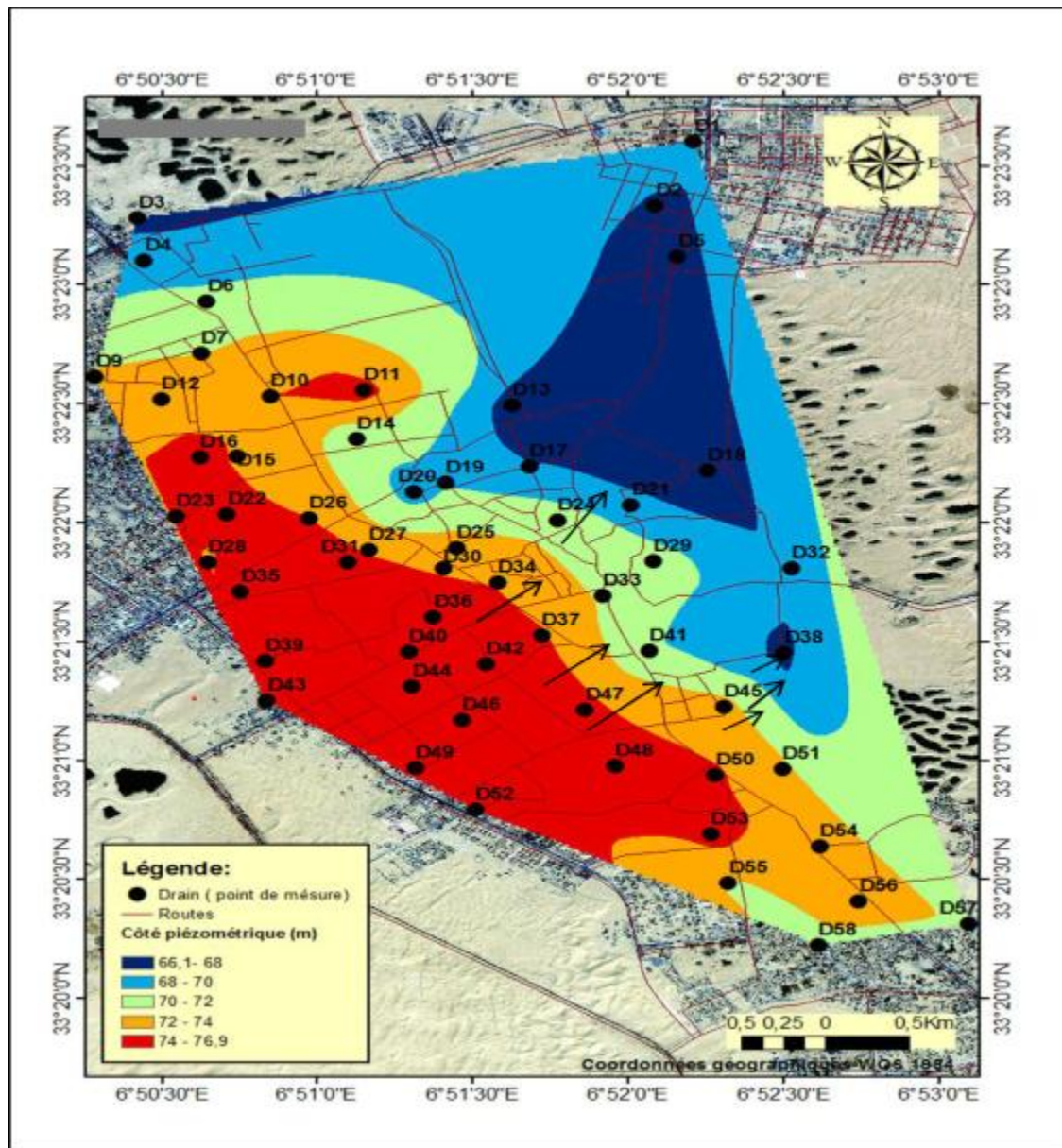


Figure III. 21: Niveau piézométrique de la nappe phréatique de la commune d'El Oued en 2008 (SALHI H, 2016).

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 Abd Elkader, 17 octobre et Ennour, El-Gara Cette zone est caractérisée par la présence d'un dôme piézométrique d'une altitude allant de 74 à 76.9 m, donc on peut considérer cette zone comme une source d'alimentation de la nappe phréatique.

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 66m et 68 m.

Le sens d'écoulement de La nappe phréatique de la ville d'El-Oued est généralement du Sud-Ouest vers le Nord-Est.

III.3.4 La piézométrie du mois de Mai 2014 :

L'utilisation des mesures piézométriques qui ont été déjà fait en mai 2014 par l'ONA, après la mise en marche de réseau de drainage vertical en Octobre 2012. Nous ont permis d'établir une carte piézométrique pour suivre l'évolution de la nappe phréatique.

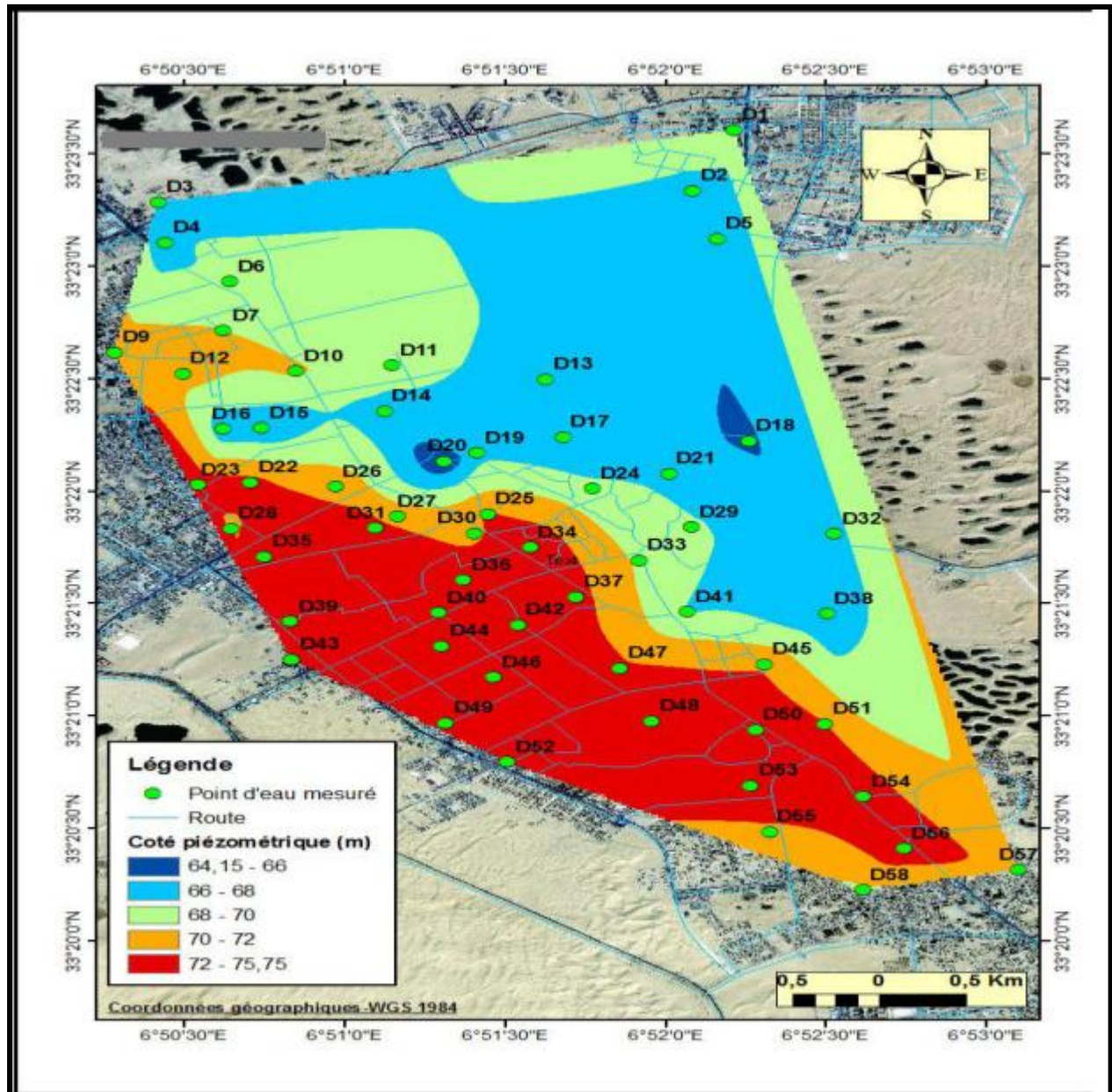


Figure III. 22 : Niveau piézométrique de la nappe phréatique de la commune d'El Oued en 2014 (SALHI H, 2016).

L'examen de la carte (figure III-22) 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.3.5 La piézométrie entre 2008 et 2014 :

La carte ci-dessous (**Figure III-23**) 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.

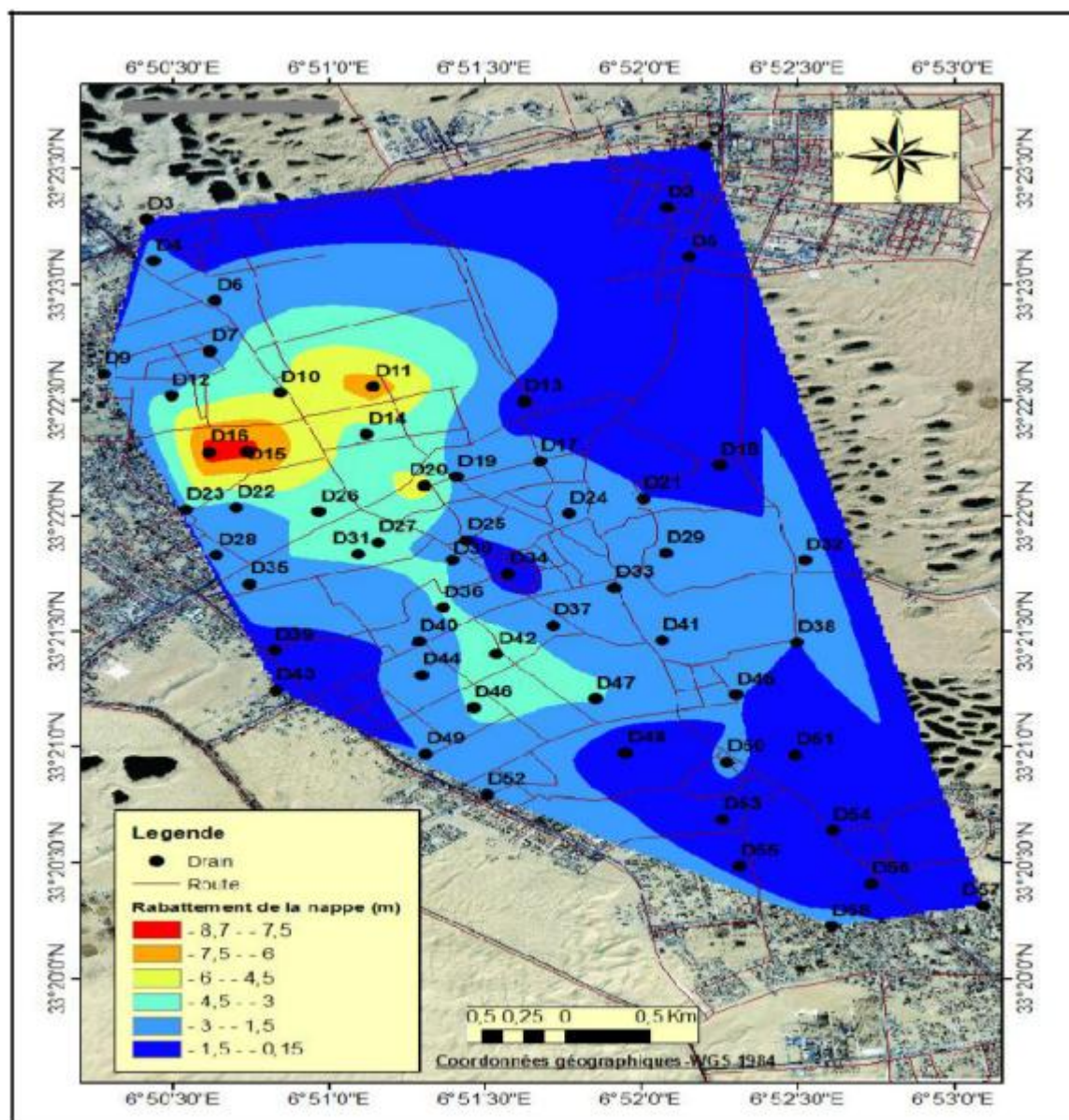


Figure III. 23 : Carte d'évolution du niveau piézométrique entre l'année 2008 et l'année 2014 de la ville d'El-Oued (SALHI H, 2016).

III.3.6 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-24). 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

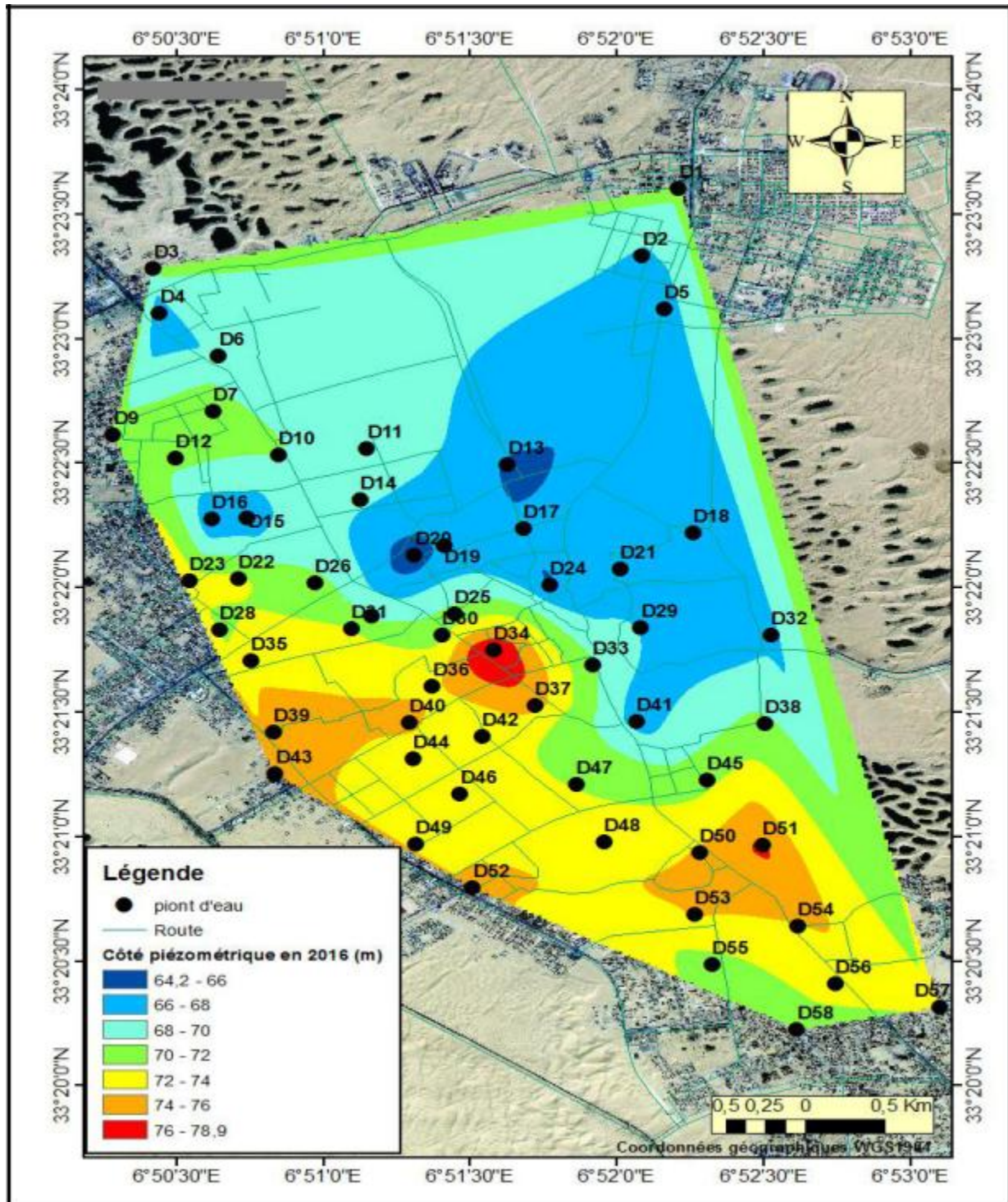


Figure III. 24 : Carte piézométrique de la nappe phréatique en Mai 2016 (SALHI H, 2016).

III.3.7 La piézométrie entre 2014 et 2016 :

Parmi la carte d'évolution de NP entre l'année 2016 et 2014 (**Figure III-25**), on relève l'apparition de trois catégories intéressantes :

La 1^{ère} 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.)

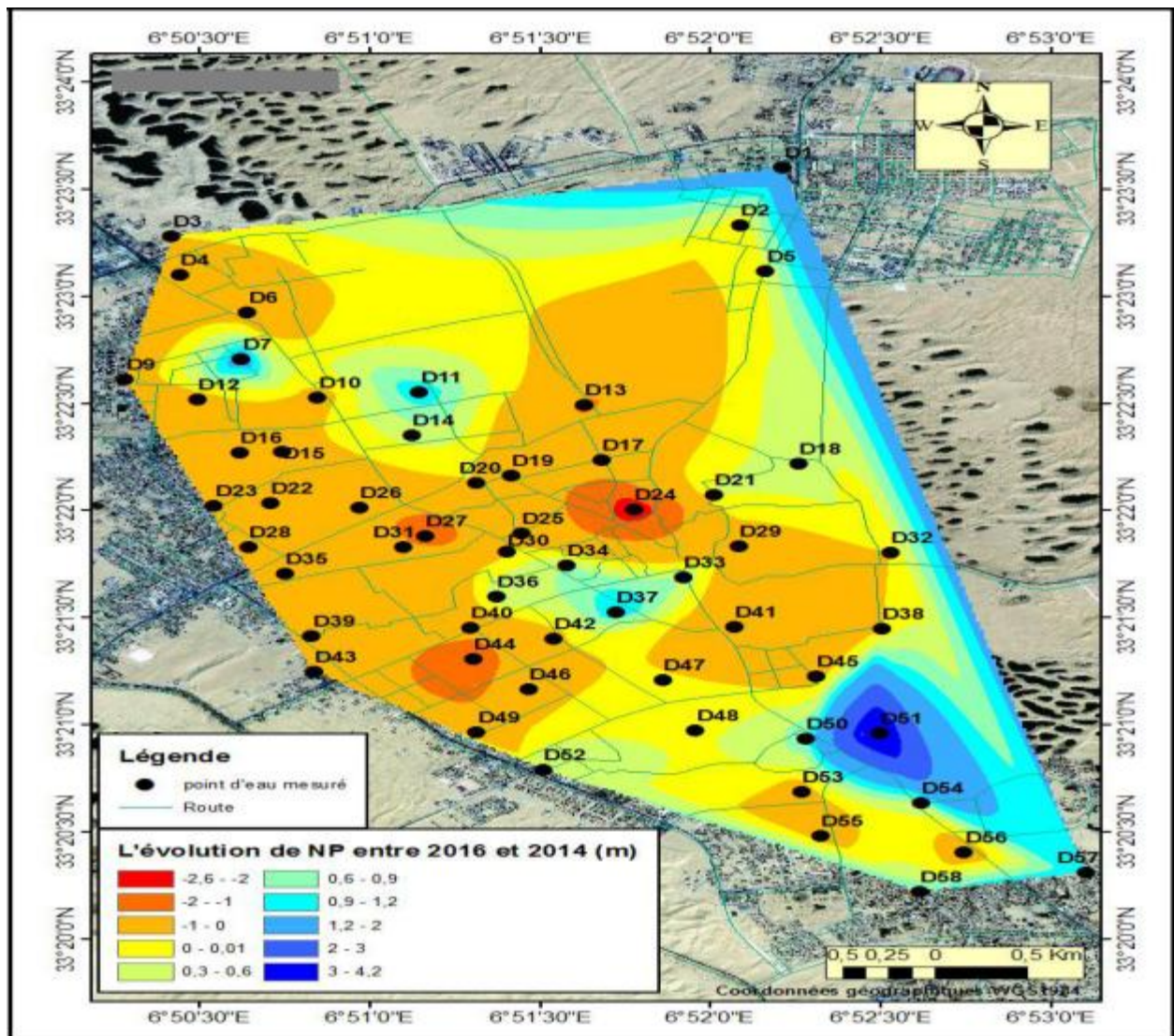


Figure III. 25: Carte d'évolution du niveau piézométrique entre l'année 2014 et l'année 2016 de la ville d'El-Oued. (SALHI H, 2016)

La 2^{ème} 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^{ème} 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).

CONCLUSION :

Les seules ressources hydriques disponibles dans la région d'étude sont les nappes souterraines. Le système aquifère d'El-Oued est constitué de trois nappes : nappe libre (phréatique), et deux nappes captives (nappe de complexe terminal CT et nappe de continentale intercalaire CI).

L'aquifère de la vallée du souf est contenu dans des formations de nature différente. L'alimentation de l'aquifère superficiel est assurée par l'infiltration des eaux des forages profonds du CT et CI, par les eaux urbaines, par les eaux d'irrigation et par les rares et faibles précipitations exceptionnelles. Cette nappe remonte surtout dans les dépressions et sous les agglomérations.

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.

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.

L'étude hydrodynamique et les cartes piézométriques nous a permis de constater que le sens d'écoulement des eaux souterraines est orienté suivant une direction générale Sud-Ouest vers le Nord-Est de la région d'étude. Les cartes piézométriques de la ville d'El-Oued expliquent bien cette situation. 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.

CHAPITRE 04

HYDROCHIMIE

IV HYDROCHIMIE :

INTRODUCTION :

L'hydrochimie étudie les processus chimiques qui affectent la distribution et la circulation des composés chimiques des eaux. Pour cela l'hydrochimie se sert essentiellement de la chimie (thermodynamique, acides-bases, précipitations-dissolutions, oxydation-réduction, interactions entre différentes phases, ...etc.), mais aussi de la biologie et de la géologie. Elle met en place des modèles propres tels les modèles de la dissolution du dioxyde de carbone, la précipitation et la dissolution des minéraux (oxydes, dioxydes, carbonates, ...etc.), la spéciation des métaux, les interactions solides-liquides. On peut également ranger dans l'hydrochimie les techniques et protocoles d'échantillonnage des eaux, l'étude de la pollution des milieux aquatiques et de nombreuses autres applications qui sont devenues des sciences à part entière au vu de leur complexité.

I. Facies des eaux par différentes méthodes :

➤ I.1. Caractéristiques chimiques des eaux :

L'utilisation des diagrammes et des graphiques divers est très fréquent et très utile par des applications d'hydrochimie. Nous avons utilisé le logiciel « Diagramme », version 6.59 (établi le 17/11/2018), qui a été conçu par Roland Simler, pour présenter des différents diagrammes (Stabler, Piper et Schöeller-Berkaloff...etc.). Donc, il est conseillé d'utiliser ce logiciel pour la détermination de faciès chimique des eaux. Les analyses sont effectuées en prélevant dix échantillons de différentes régions, qui sont : Reguiba, Mih-Ouansa, El-Oued, Ourmess, Taghzout, Guemar, Debila, Magrane, Hassi-Khalifa ; Houbba, (figure 4.1), en captant la nappe superficielle. Ces analyses concernent les paramètres physico-chimiques suivants : pH, T°, CE, TDS, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^{2-} , SO_4^{2-} , NO_3^- .

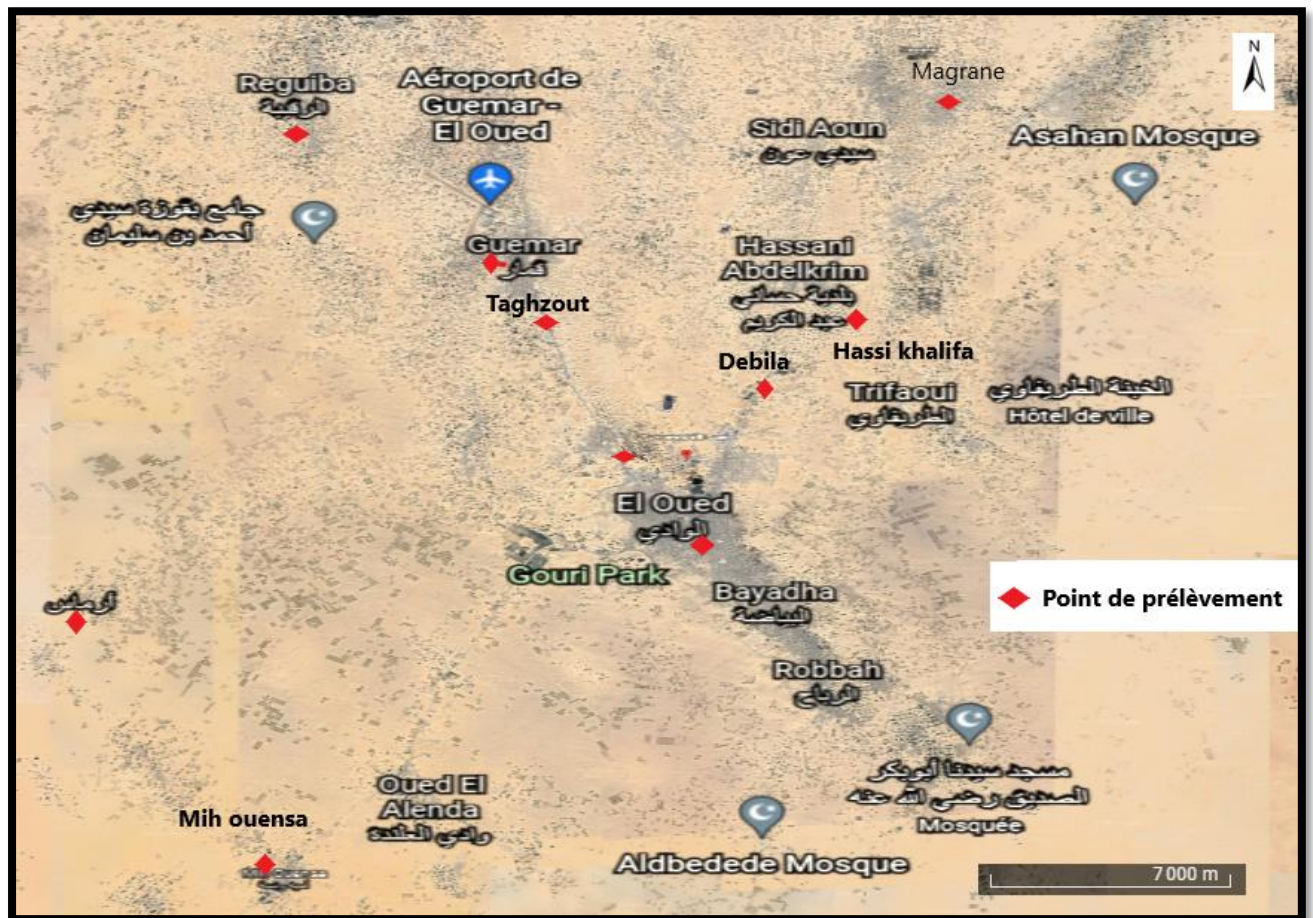


Figure 4.1: Points de prélèvement d'échantillons d'eaux dans la région d'Oued Souf.

I.1.2. Les paramètres physiques :

I.1.2.1. Potentiel d'Hydrogène (pH) :

Le pH est une mesure de l'activité des ions hydrogènes H^+ dans une solution aqueuse exprimée en mol /l. L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 « très acide » à 14 « très alcaline ». La valeur signet 7 correspond à une solution neutre. Le pH des échantillons d'eaux prélevés dans la région d'oued Souf est entre 7.54 et 6.71 selon le tableau 4.1, ce qui est conforme aux normes nationales (6.5 à 8.5) et celles de l'OMS, 2017 (6.5 à 8.5). Donc, ces eaux sont acceptables pour une eau de boisson.

Tableau 4.1 : Résultats de pH de la région d'oued Souf.

Point	Reguiba	Houbba	Hassi-Khalifa	Magrane	Debila	Guemar	Taghzout	Ourmess	El-Oued	Mih-Ouansa
pH	7.14	7.03	6.71	6.82	6.91	7.37	6.91	6.94	7,54	7,41

I.1.2.2. Le titre Hydrotimétrique TH :

Ce paramètre exprime les ions calcium (Ca^{2+}) et les ions magnésium (Mg^{2+}) contenues dans un litre d'eau. Une eau dure provoque l'obstruction des canalisations par le dépôt de tartre (sels) et peut nuire à la santé humaine en provoquant des maladies telles que l'insuffisance rénale.

D'après les normes de potabilité des eaux établies par l'O.M.S (organisation mondiale de la santé) (Tab. 4.2), et selon le tableau 4.3, on remarque que pour tous les échantillons prélevés, le titre hydrotimétrique dépasse 32°F ; ce qui montre que les eaux de cette région sont très dures, donc lors de l'utilisation des systèmes de goutte-à-goutte ou petites buses, il faut prendre soin d'enlever les substances qui peuvent obstruer les goutteurs.

Tableau 4.2 : Potabilité en fonction de la dureté de l'eau (normes de l'OMS).

TH ($^\circ\text{F}$)	0-5	5-12	10-25	25-32	>32
Classement	Très douce	Douce	Moyennement dure	Dure	Très dure

Tableau 4.3 : Dureté des eaux souterraines de la région d'Oued Souf.

Echantillon	Reguiba	Houbba	Hassi-Khalifa	Magrane	Debila	Guemar	Taghzout	Ourmess	El-Oued	Mih-Ouansa
TH ($^\circ\text{F}$)	133.3	129	114.6	109.6	122.3	138.1	134	134	108	113

I.1.2.3. Conductivité électrique (CE) :

La conductivité électrique est une mesure qui permet un contrôle simple et rapide de la minéralisation des solutions. Elle dépend de la force ionique de l'eau et augmente en fonction de la teneur en ions dissous, de la nature des différents solutés, de leurs concentrations réelles et relatives, et de la température à laquelle ils sont mesurés. La conductivité électrique de l'eau renseigne sur le degré de la salinité de l'eau et les risques de salinité des sols. On note que les valeurs fluctuent entre $3770 \mu\text{cm}$ et $5580 \mu\text{cm}$, car c'est la plus grande que $2800 \mu\text{cm}$ (les normes algériennes).

I.1.2.4. Température (T°) :

Les valeurs de la température mesurées dépendent principalement du temps de mesure, de la saison et de l'ensoleillement et de la profondeur de la nappe. Il n'affecte pas la solubilité des minéraux dans l'eau, et la température élevée est un facteur important pour la croissance des micro-organismes et des algues et affecte l'odeur et le goût de l'eau (OMS, 2017).

Donc d'après le tableau 4.4, la température oscille entre 23.2 et 19.3°C . Elles sont

inférieures à la norme de potabilité (25°C) dont la valeur maximale est de l'ordre de 24°C.

Tableau 4.4 : Température des eaux analysées de la région d'oued Souf.

Echantillon	Reguiba	Houbba	Hassi-Khalifa	Magrane	Debila	Guemar	Taghzout	Ourmess	El-Oued	Mih-Ouansa
T (°C)	23.2	22.9	22.1	19.3	21.6	23	22.5	22.7	22.5	22.6

I.2.1. Diagramme de faciès chimique représentant un seul échantillon d'eau :

Diagramme de Stabler :

Le diagramme de Stabler est utilisé pour déterminer rapidement les différents titres d'une eau (titre d'alcalimétrie, titre en sels d'acides forts et titre d'hydrotimétrie ...etc.). Pour cela les unités des concentrations en meq.L^{-1} et mg.L^{-1} des anions et des cations sont reportés sur deux barres ou colonnes distinctes de même longueur, la barre ci-dessus représente les cations et le plus bas pour représenter les anions.

➤ Analyse des résultats :

On constate d'une part, que les eaux souterraines de la région d'Oued Souf présentent une dureté élevée évaluée à partir des ions calcium et magnésium, par contre, un taux d'alcalinité assez faible. D'autre part, les teneurs en sodium et en sulfate sont dominantes par rapport au reste des ions.

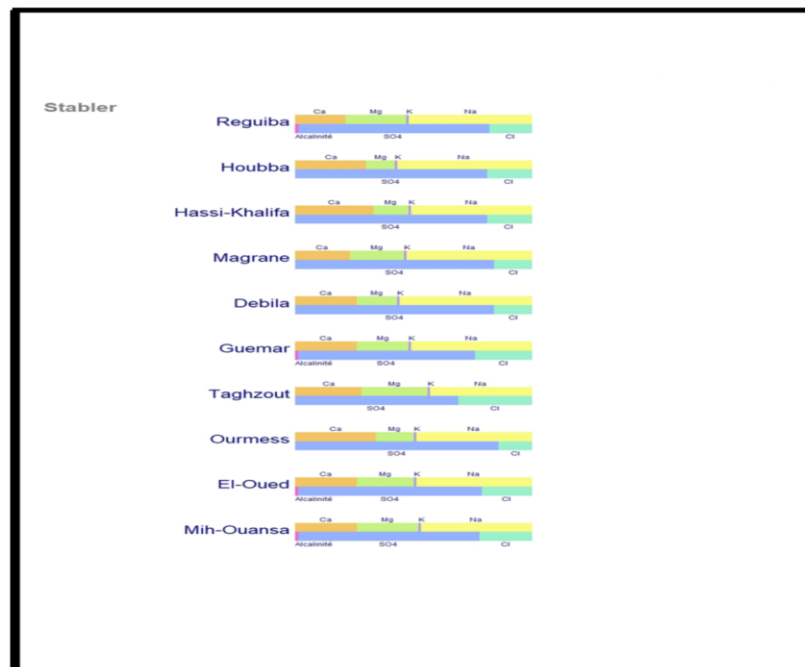


Figure 4.2: Diagramme de Stabler des eaux analysées captant la nappe phréatique d'Oued Souf.

4.2. Diagrammes de faciès chimique pouvant représenter plusieurs échantillons d'eau simultanément :

4.2.1. Diagrammes Piper :

L'utilisation de diagrammes de Piper pour la représentation des cations et des anions sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au total de ces ions et un losange.

La position d'un résultat analytique sur chacun de ces deux triangles permet de préciser en premier lieu la dominance anionique et cationique, ce point d'intersection sur le losange représente l'analyse globale de l'échantillon, sa position relative permet de préciser le faciès de l'eau concernée. À partir du diagramme de Piper le faciès chimique de l'eau dépend des conditions hydrogéologiques et des activités humaines.

➤ Analyse des résultats :

A partir du diagramme de Piper figure 4.3, nous remarquons que les eaux analysées ont deux faciès : **chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne** et **chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique** liaison avec la nature lithologique des terrains aquifères et des activités humaines (agriculture).

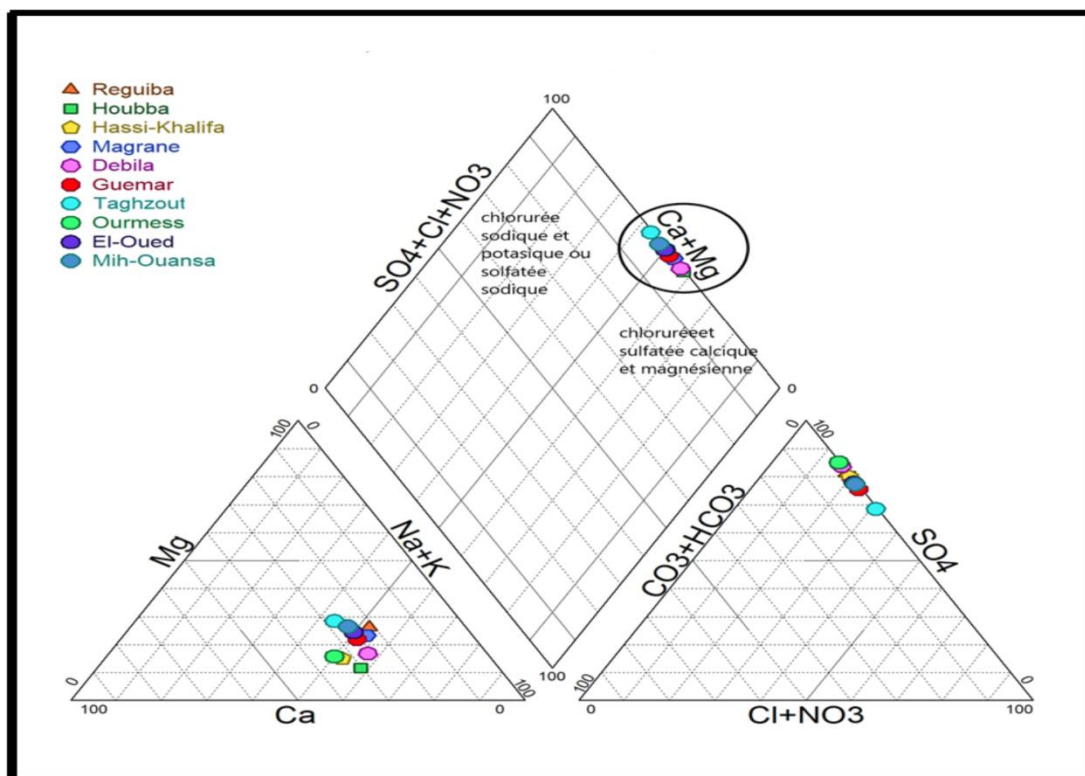


Figure 4.3: Diagramme de Piper des eaux analysées captant la nappe phréatique d'Oued Souf.

4.2.2. Diagrammes de Schöeller-Berkaloff :

C'est un diagramme qui permet la présentation des analyses chimiques de plusieurs échantillons d'eau et plusieurs analyses sur le même graphique, pour représenter la concentration des différents éléments chimiques sur des lignes verticales en échelle logarithmique par une ligne brisée en reliant tous points des concentrations des éléments chimiques.

➤ Analyse des résultats

On remarque que les profils géochimiques obtenus par le diagramme de la figure 4.3 confirment principalement un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien (70% des échantillons) et secondairement un faciès chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique pour le reste des points d'eaux (30%).

L'acquisition de ces faciès a été signalée précédemment. Un certain parallélisme entre les lignes représentant des éléments majeurs a été observé, cela signifie qu'il y a une certaine similitude compositionnelle entre les différentes eaux analysées et cela appuie l'uniformité des faciès trouvés pour la majorité des eaux analysées.

Les sulfates sont l'élément prédominant, suggérant une forte implication des formations évaporitiques comme le gypse. Le chlorure occupe la deuxième position dans l'ordre des anions, et montrent des concentrations significatives qui peuvent être attribuées à la dissolution de la halite (NaCl), au lessivage des argiles, aux drainages des eaux d'irrigation, aux eaux des égouts (dans le cas où le réseau d'assainissement est absent). Quant aux cations, le sodium et le potassium sont les éléments les plus dominants. Le sodium résulte de la dissolution du sel gemme (NaCl) et les eaux usées domestiques (s'il manque un réseau d'assainissement). Le potassium provient de l'altération des argiles potassiques, et du lessivage des engrais chimiques.

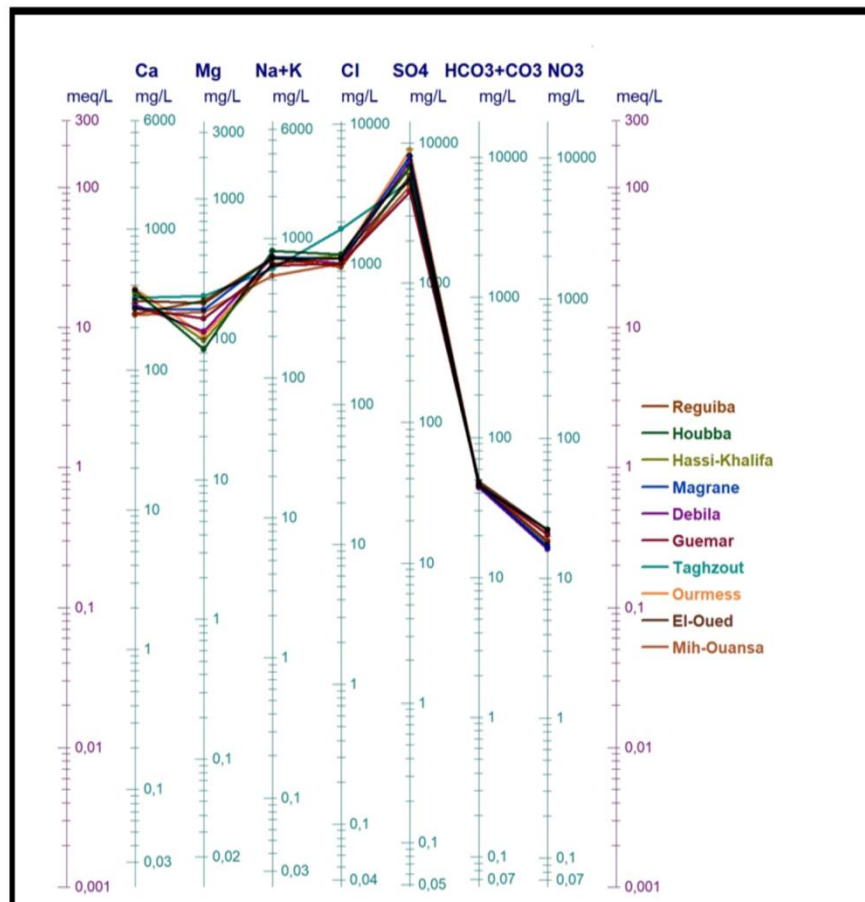


Figure 4.4: Diagramme de Schöeller-Berkaloff des eaux analysées captant la nappe phréatique d'Oued Souf.

4.2.3. Diagramme de Wilcox :

Ce diagramme est découpé en cinq classes de salinité (axe des abscisses) et trois classes de risques de sodisation (axe des ordonnées). L'objectif de représenter les échantillons sur le diagramme de Wilcox est de faciliter la caractérisation des eaux de la nappe phréatique selon leur aptitude à l'irrigation.

La conductivité électrique (CE) ou charge totale dissoute, il est lié à l'indice d'absorption du sodium (SAR), qui est une mesure du risque de sodation du sol par l'irrigation.

➤ Analyse des résultats :

D'après le diagramme de Wilcox (figure 4.5) et le tableau 4.5, on constate que les eaux appartiennent au groupe **C4-S1**.

Donc, ces eaux sont fortement minéralisées et pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.

Tableau 4.5 : Classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation par la méthode du Richards (Louvrier, 1976).

Degré	Qualité	Classe	Etat d'utilisation	Echantillons
1	Excellente	C1-S1	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart des sols.	/
2	Bonne	C2-S1 C2-S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel, sur sols ayant une bonne perméabilité.	/
3	Admissible	C3-S1 C3-S2 C2-S3	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel, sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.	/
4	Médiocre	C4-S1 C4-S2 C3-S3	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.	100%
5	Mauvaise	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions: sols très perméable, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel.	/

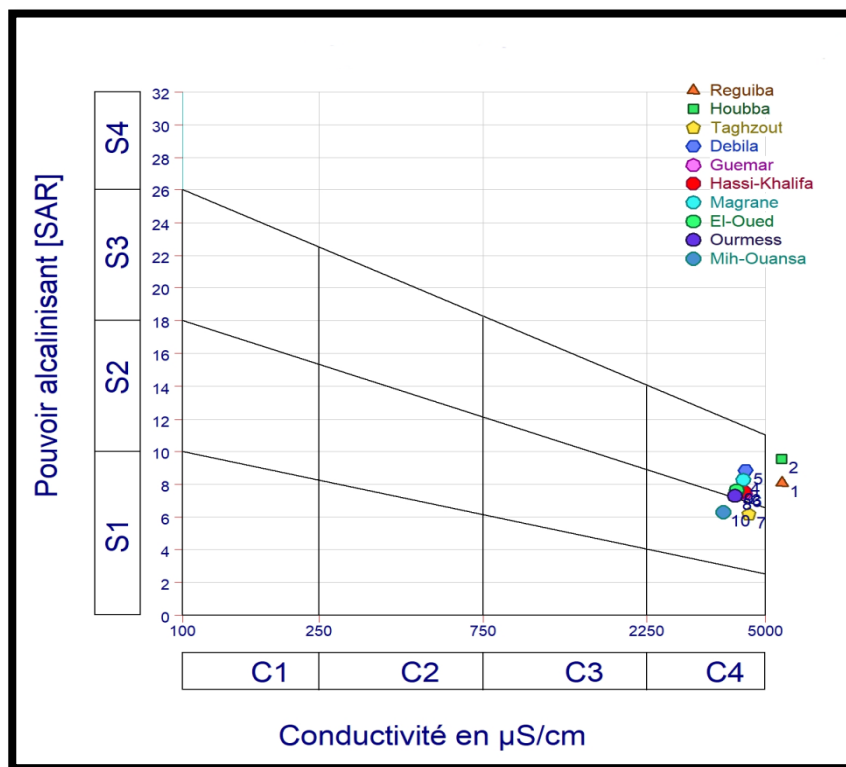


Figure 4.5: Diagramme de Wilcox des eaux analysées captant la nappe phréatique d'Oued Souf.

II. Aptitude des eaux à l'alimentation en eau potable :

L'aptitude des eaux à l'alimentation en eau potable peut être évalué par comparaison des valeurs des paramètres physico-chimiques des eaux étudiées avec les normes de potabilité ou en utilisant l'indice de qualité des eaux (IQE).

II.1. Calcul de l'indice de qualité des eaux souterraine IQE :

L'IQE se calcule en utilisant les normes de qualité de l'eau potable recommandées par l'organisation mondiale de la santé (OMS). Il est également calculé en utilisant la méthode de l'indice arithmétique pondéré. Cet indice est une technique de classification de la qualité de l'eau qui repose sur la comparaison des paramètres de qualité de l'eau avec les normes internationales ou nationales algériennes.

Les paramètres utilisés dans le calcul de cet indice sont : Cl, Ca, K, Na, SO₄, NO₃, CE. Le IQE résume de grandes quantités de données sur la qualité de l'eau en termes simples (Excellente, Bonne, Mauvaise, Très mauvaise, ...etc.).

La méthode de l'indice de qualité des eaux souterraines (IQE) reflète l'influence composite des différents paramètres de qualité de l'eau sur sa potabilité.

L'indice est calculé en utilisant l'équation suivante en concordance avec les standards de l'OMS.

Le calcul du poids relatif (W_i) de chaque paramètre est effectué en suivant l'équation :

$$W_i = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Avec :

W_i : Poids affecté à chaque paramètre.

n : Nombre de paramètres retenus.

$$q_i = \frac{C_i}{S_i} \times 100$$

q_i : Qualité de le eau estimée par rapport au paramètre.

C_i : Concentration en mg/l de chaque paramètre mesuré dans chaque échantillon d'eau.

S_i : Valeur guide proposée pour les eaux de boisson.

$$S_i = W_i \times q_i$$

S_i : Indice partiel désigne l'indice de qualité pour un paramètre i .

Donc :

$$IQE = \sum S_i$$

Tableau 4.6 : Classification de la qualité de l'eau selon l'IQE.

(Ramakrishnaiah et al ; 2009).

Classe de l'IQE	Qualité d'eau
<50	Excellente qualité
50-100	Bonne qualité
100 - 200	Mauvaise qualité
200 - 300	Très mauvaise
>300	Eau non potable

Tableau 4.7 : Pondération des paramètres de qualité.

Paramètres chimiques	Poids (w_i)	Poids relatif (W_i)
Conductivité électrique ($\mu\text{S/cm}$)	4	0.18
Sulfates (mg/l)	4	0.18
Chlorures (mg/l)	3	0.136
Sodium (mg/l)	2	0.091
Calcium (mg/l)	2	0.091
Potassium (mg/l)	2	0.091
Nitrates (mg/l)	5	0.23
Total	22	1

➤ **Analyse des résultats :**

Pour calculer l'indice de qualité de l'eau, les 7 paramètres suivants ont été pris en compte : conductivité électrique, sulfate, chlorure, sodium, calcium, potassium et nitrate. Sur la base de S_i , qui est la norme algérienne pour l'eau potable pour chaque variable, l'IQE obtenu varie pour les échantillons analysés provenant de dix régions différentes.

Après le processus de calcul et les résultats obtenus (Tab. 4.8), il a été constaté que la qualité de l'eau est très bonne ($IQE < 50$) pour tous les échantillons analysés.

Tableau 4.8 : Résultats des IQE.

Les points de prélèvement	IQE
Reguiba	3,84
Houbba	4,39
Hassi-Khalifa	4,19
Magrane	4,84
Debila	4,55
Guemar	3,12
Taghzout	3,75
Ourmess	5,20
El-Oued	3,67
Mih-Ouansa	3,23

II.2. Aptitude des eaux à l'irrigation :

Les eaux sont utilisées pour l'irrigation des périmètres agricoles, l'évolution des paramètres physico-chimiques des eaux influe sur les caractéristiques du sol ce qui aura des répercussions sur le rendement de l'activité agricole. L'étude chimique des eaux afin d'évaluer l'aptitude des eaux à l'irrigation est nécessaire, et pour mettre en évidence le danger que présente certains éléments chimiques pour les plantes qui supportent mal les sols saturés en sodium. Une classification des eaux en fonction du pourcentage du sodium absorbé par l'eau (méthode de Richards) permet de bien classer les eaux en fonction de la conductivité électrique, TH, Cl et le SAR (Sodium Adsorption Ratio) dans l'eau.

II.2. 1. Classification selon le SAR :

Le taux d'absorption du sodium (SAR) est utilisé pour déterminer la qualité de l'eau en sodium.

Il est défini par la formule suivante :

$$SAR = \frac{Na^{2+}}{\sqrt{Ca^{2+} + Mg^{2+}/2}}$$

-SAR < 10 mg/l l'eau est excellente.

-10 < SAR < 18 l'eau est bonne.

-18 < SAR < 26 l'eau est utilisable.

-SAR>26 l'eau est mauvais.

➤ **Analyse des résultats :**

Selon le rapport SAR (tableau 4.7), on remarque que tous les échantillons sont de mauvaise qualité.

Tableau 4.9 : Le SAR des eaux analysées.

Point	SAR	Classement
Reguiba	47.13	Mauvais
Houbba	46.66	Mauvais
Hassi-Khalifa	41.74	Mauvais
Magrane	47.37	Mauvais
Debila	49.45	Mauvais
Guemar	42.57	Mauvais
Taghzout	35.52	Mauvais
Ourmess	40.13	Mauvais
El-Oued	43.72	Mauvais
Mih-Ouansa	36.21	Mauvais

II.2. 2. Classification selon le pourcentage en sodium (Na%) :

Le Na% est un paramètre important pour classer la qualité d'une eau souterraine à des fins d'irrigation. Il est calculé par la formule proposée par Doneen (1962), où le Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+ sont exprimés en méq/l.

$$\text{Na}^+ (\%) = 100 (\text{Na}^+ + \text{K}^+ / \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+).$$

Tableau 4.10 : Classification de l'eau basée sur le pourcentage en sodium.

Na%	Qualité des eaux
< 20	Excellente qualité
20 – 40	Bonne qualité
40 – 60	Qualité mediocre
60 – 80	Qualité douteuse
> 80	Eau impropre à l'irrigation

➤ **Analyse des résultats :**

On remarque que les échantillons d'eau de la région d'oued Souf (tableau 4.9) sont divisés en deux groupes, le premier concerne les eaux impropres à l'irrigation (Mih-Ouansa, Guemar, Debila, Magrane, Houbba, Reguiba) et le deuxième s'agit d'une qualité d'eau médiocre pour l'irrigation, donc ces eaux sont convenables pour l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels.

Tableau 4.11 : Classification des eaux analysées de la région d'oued Souf, selon le pourcentage en sodium.

Point	Na%	Classement par Na%
Reguiba	62.30	Eau impropre à l'irrigation
Houbba	64.34	Eau impropre à l'irrigation
Hassi-Khalifa	59.23	Utilisable
Magrane	62.54	Eau impropre à l'irrigation
Debila	64.53	Eau impropre à l'irrigation
Guemar	60.78	Eau impropre à l'irrigation
Taghzout	53.3	Utilisable
Ourmess	57.32	Utilisable
El-Oued	59.02	Utilisable
Mih-Ouansa	66.28	Eau impropre à l'irrigation

II.2.3. PH (Potentiel d'Hydrogène) :

Le pH affecte la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation ce qui rend la croissance des plantes imparfaite, par conséquent il affecte le rendement. Le pH idéal pour une eau d'irrigation doit se situer entre 5,5 et 6,5. A ces valeurs, la solubilité de la plupart des microéléments est optimale, pour fournir les nutriments nécessaires aux cultures agricoles.

➤ **Analyse des résultats :**

Nous remarquons que le pH des échantillons d'eaux analysées dans la région d'oued Souf est entre 7.54 et 6.71. Selon le tableau 4.1, les valeurs ne sont pas loin des normes, donc ces eaux sont valables pour l'irrigation mais pas idéales.

II.2.4. Indice de perméabilité (IP) :

La perméabilité est la capacité d'un fluide à traverser le sol, plus la perméabilité est grande, plus la quantité de fluide à travers le sol est grande ; la perméabilité du sol est liée à la quantité de sodium, calcium, magnésium et le contenu du bicarbonate dans le sol qui affecte la qualité de l'eau d'irrigation, (Doneen, 1964).

$$Na\% = \frac{(Na^+ + \sqrt{HCO_3}) \times 100}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+}$$

➤ Analyse des résultats :

Nous remarquons que tous les échantillons d'eaux analysés (tab. 4.10) sont bonnes pour l'irrigation.

Tableau 4.12: Classification des eaux souterraines de la nappe phréatique d'oued Souf par l'indice de perméabilité.

IP%	Qualité des eaux	Echantillons analysés
> 75	Excellente	/
25 – 75	Bonne	100%
< 25	Impropre à l'utilisation	/

II.2. 5. Risque de magnésium (RM) :

Zsaboles et Darab (1964) ont proposé un rapport de magnésium pour évaluer l'adéquation de la qualité de l'eau pour l'irrigation. Généralement, Ca^{2+} et Mg^{2+} maintiennent un état d'équilibre dans l'eau et ne se comportent pas de même manière dans le sol. Le magnésium endommage la structure du sol, lorsque l'eau contient plus de Na^+ et une forte teneur en sel. Normalement, une teneur élevée en Mg^{2+} est causée par le Na^+ échangeable dans les sols irrigués. À l'équilibre, plus de Mg^{2+} peut affecter la qualité du sol en le rendant alcalin. Par conséquent, cela affecte les rendements des cultures. Le risque de magnésium est exprimé par la relation suivante :

$$RM = \frac{Mg^{2+} \times 100}{Ca^{2+} + Mg^{2+}}$$

➤ Analyse des résultats :

Après calcul (tab 4.14), nous avons constaté que le RM est inférieure à 50% pour tous les échantillons, donc l'eau est adaptée à l'irrigation.

Tableau 4.13 : Résultats Risque de magnésium (RM)

Les points de prélèvement	RM%
Reguiba	43.1
Houbba	18.78
Hassi-Khalifa	21.65
Magrane	37.5
Debila	27.95
Guemar	33.84
Taghzout	38.34
Ourmess	22.03
El-Oued	36.73
Mih-Ouansa	38.49

II.2.6. Salinité :

La salinité affecte négativement la croissance et les rendements des plantes. Elle constitue un obstacle à l'absorption par la plante des nutriments disponibles dans le sol.

Les minéraux responsables à la salinité des sols sont (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} et HCO_3^{2-}). La salinité peut être mesurée par la conductivité électrique ou par la masse des sels dissouts.

➤ Analyse des résultats :

D'après le diagramme de Richards, on note que les échantillons appartiennent à la zone C4 selon ces résultats, tous les échantillons d'eau appartiennent à la classe de risque très élevé (tableau 4.14).

Ces eaux peuvent être utilisées pour les cultures tolérantes au sel, pour faire pousser des cultures dans des sols légers (sableux), pour ajouter de l'eau supplémentaire et pour assurer le drainage.

Les solides dissous sont exprimés comme tous les métaux, les sels, les minéraux, les cations ou les anions dissous dans l'eau. Cela inclut tout ce qui se trouve dans l'eau autre que les molécules d' H_2O , y compris les solides en suspension. Ainsi, le total des solides dissous est la

somme de tous ces éléments. Le compteur TDS mesure la conductivité électrique (CE) de l'eau. L'eau pure a une conductivité de 0.

Le taux des sels dissouts (TDS) des échantillons est représenté par le diagramme (Fig 4.6). Le TDS des échantillons varie entre 1725 et 2402 mg/l, cela veut dire que les eaux souterraines de la nappe phréatique de la région d'Oued Souf sont très chargées en sels minéraux.

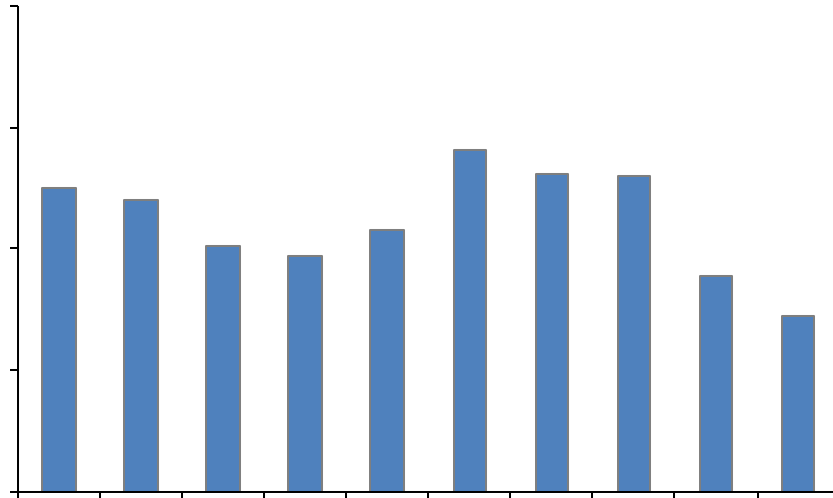


Figure 4.6 : TDS des eaux analysées dans la région d'Oued Souf.

Tableau 4.14: Classification de la salinité des eaux de la nappe phréatique d'oued Souf.

Désignation de classe		Risque salin	Conductivité électrique (dS/m)	Echantillons analysés
1	C1	Risque faible	$CE < 0.25$	/
2	C2	Risque modéré	$0.25 < CE < 0.75$	/
3	C3	Risque élevé	$0.75 < CE < 2.25$	/
4	C4	Risque très élevé	$CE > 2.25$	100%

II. 3. Évaluation de l'indice de qualité des eaux d'irrigation (IQEI) :

Pour calculer l'aptitude des eaux souterraines à l'irrigation, six principaux indices ont été utilisés, tels que : la conductivité électrique (CE), le pourcentage de sodium (Na%), le taux

d'adsorption de sodium (SAR), le risque lié au magnésium (RM) et dernièrement l'indice de perméabilité (IP). La détermination de ces indices était indispensable pour évaluer l'indice de qualité des eaux pour l'irrigation (IQEI), par la méthode suivante (Simsek et Gunduz, 2007) :

$$IQEI = \sum_{i=1}^5 G_i$$

G_i : Contribution de chacune des six catégories (groupes) importantes de danger pour évaluer la qualité d'une ressource en eau d'irrigation. Il est formulé comme suit :

$$G_i = W_i \times r_i$$

Dont :

w_i : Poids de ce groupe de danger.

r_i : Classement du paramètre (ou groupe).

Les cinq facteurs sont classés en fonction de la gravité de chaque facteur du facteur de salinité l'indice de perméabilité (IP) le pourcentage de sodium (Na%), le taux d'adsorption de sodium (SAR), sont classés par ordre d'importance décroissant pour la qualité de l'eau d'irrigation. La technique attribue également des facteurs de notation (r_i) pour chaque paramètre, comme indiqué dans le tableau suivant :

Tableau 4.15 : Classification des paramètres de l'indice de qualité des eaux d'irrigation (IQEI).

Groupe (G_i)	Poids (w_i)	Intervalles	Classes	Degrés d'aptitude
Conductivité électrique (CE en $\mu S/cm$)	5	< 0.25	1	Très élevé
		0.25 - 0.75	2	Elevé
		0.75 - 2.25	3	Modéré
		> 2.25	4	Faible
Indice de perméabilité (IP)	4	> 75	1	Elevé
		25 - 75	2	Modéré
		< 25	3	Faible
Pourcentage de sodium (Na en %)	3	< 20	1	Très élevé
		20 - 40	2	Elevé
		40 - 60	3	Modéré
		60 - 80	4	Faible

		>80	5	Très faible
Taux d'adsorption de sodium (SAR)	3	<10	1	Très élevé
		10 – 18	2	Elevé
		18 – 26	3	Modéré
		> 26	4	Faible
Risque du magnésium (RM en %)	1	< 50	1	Elevé
		>50	2	Faible

➤ **Analyse des résultats :**

Les valeurs de l'indice de qualité des eaux pour l'irrigation (IQEI) s'échelonnent entre 50 et 53 (tableau 4.16), ce qui permet de visualiser une seule classe en vue de l'aptitude à l'irrigation. Alors, 100% des eaux analysées sont très convenables à l'usage agricole (tableau 4.17).

Tableau 4.16 : Résultats de l'indice de qualité des eaux d'irrigation (IQEI)

Les points de prélèvement	IQEI
Reguiba	53
Houbba	53
Hassi-Khalifa	50
Magrane	53
Debila	53
Guemar	53
Taghzout	50
Ourmess	50
El-Oued	50
Mih-Ouansa	53

Tableau 4.17 : Classification de l'indice de qualité des eaux pour l'irrigation (IQEI).

IQEI	Aptitude à l'irrigation
< 22	Faible
22 - 37	Modérée
> 37	Elevée

Conclusion :

Afin de connaître l'adéquation des eaux souterraines dans une zone, une étude géochimique doit être menée sur celle-ci, afin d'identifier la qualité de l'eau qui règne dans la zone et connaître son impact sur les usages humains, agricoles et industriels.

-Selon le pourcentage de sodium (Na%), les eaux sont divisés en deux groupes, le premier concerne les eaux impropres à l'irrigation et le deuxième s'agit d'une qualité d'eau médiocre pour l'irrigation, donc ces eaux sont convenables pour l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels.

- Le diagramme de Richards, basé sur le SAR, montre que toutes les eaux sont fortement minéralisées mais pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.

- Pour le calcul de l'indice de qualité de l'eau, les sept facteurs suivants ont été pris en compte : conductivité électrique, sulfate, chlorure, sodium, calcium, potassium et nitrate. Les valeurs de l'indice de qualité de l'eau d'irrigation (IQEI) vont de 50 à 53, où on conclut que tous les échantillons qui ont été analysés sont très adaptés à l'irrigation, la raison qui permet le développement de l'activité agricole dans la région d'Oued Souf.

- Concernant le calcul de l'indice de qualité de l'eau de potabilité, montre que la qualité de l'eau est très bonne (IQE < 50).

CHAPITRE 5

GESTION DU PHENOMENE DE LA REMONTEE DES EAUX SOUTERRAINES

IV GESTION DU PHENOMENE DE LA REMANTEE :

INTRODUCTION :

La région d'Oued Souf se caractérise par une grande activité économique, notamment dans le domaine agricole, cependant il est exposé à des facteurs défavorables qui limitent son développement économique dans divers domaines, parmi ces facteurs : la remontée de l'eau de la nappe phréatique, c'est un phénomène naturel connu dans cette région qui provoque de plusieurs problèmes et des changements majeurs dans la région.

La mauvaise gestion des ressources en eau dans cette région provoque une augmentation de niveau piézométrique jusqu' à la surface du sol. Les conséquences de cette augmentation sont néfastes sur les populations et l'environnement.

En raison de ces problèmes, l'Etat algérien a étudié quelques solutions pour réduire ce phénomène, être acteur du développement durable de la région, et fournir des conditions de vie.

IV.1 Impacts de la remontée du niveau piézométrique de la nappe phréatique sur l'environnement :

IV.1.1 Diminution du nombre des ghouts :

Les ghouts est un système agricole traditionnel qui préserve les palmiers et les protège de la sécheresse. Le principe de fonctionnement de ce système est basé sur le fait des grands trous sur la terre et planter des arbres pour rapprocher les racines à l'eau, mais il risque de disparaître car la remontée de l'eau de la nappe phréatique, les palmiers suffoquent parce que les racines se noient dans l'eau, ce qui affecte grandement sur l'agriculture.

On remarque d'après la figure 5.1, la croissance du roseau à la place du palmier mort dans la zone bleue de la carte, où le phénomène a entraîné la mort de milliers de palmiers, et il était rempli d'eau.

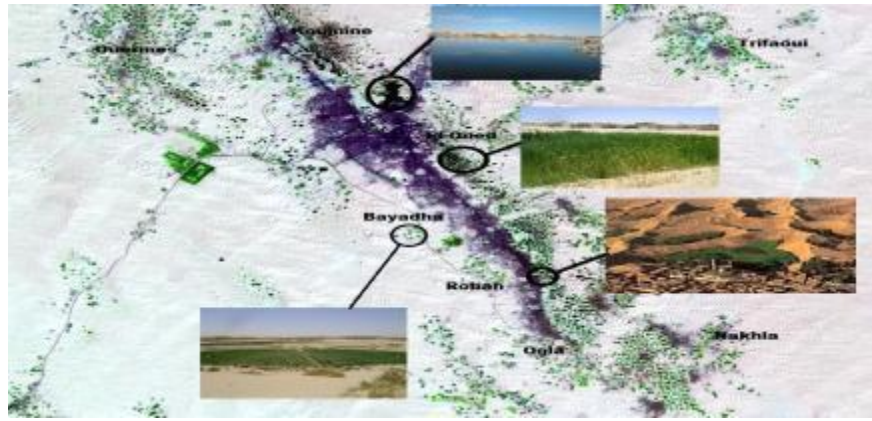


Figure V. 1: Photo satellitaire de la zone d'étude en 2005 (KHERICI, 2014)

IV.1.2 Pollution de l'eau de la nappe phréatique :

La pollution de l'eau se produit lorsque les eaux souterraines sont mélangées aux eaux usées et les eaux industrielles, et l'augmentation de l'élément nitrate nocif en raison de la pollution domestique ou de la pollution agricole.

La pollution de l'eau représente un grand danger pour la population et pour l'activité agricole de la région ce qui provoque des maladies hydriques comme le choléra et la typhoïde.

IV.1.3 Salinisation du sol :

Vu à la grande évaporation des eaux stagnantes provoquées par la remontée des eaux, les terres agricoles sont devenues très salées, ce qui a diminué les surfaces cultivées (figure 5.2) et a contribué à la désertification, cela conduit à une diminution des terres agricoles et par conséquent à l'élimination des activités économiques les plus importantes de la région.



Figure V. 2: Salinisation du sol « la cité Choot (2009) »

IV.1.4 Propagation de moustique :

Les plans d'eaux dispersés dans la région sont des zones idéales pour la reproduction des moustiques, qui transmettent des maladies comme leishmaniose ; en plus, il provoque des désagréments dus à ses piqûres douloureuses et fréquentes (figure 5.3).



Figure V. 3: Leishmaniose cutanée (A.ALLIA)

IV.1.5 Danger de chute des bâtiments :

Le phénomène de la remontée de la nappe phréatique a causé de lourdes pertes pour les habitants de la zone d'Oued Souf, à cause de l'inondation de certaines maisons ; cela a conduit au ramollissement des fondations des bâtiments et l'affaiblir, d'autant plus que le mode de construction des bâtiments dans la région est traditionnel, où ils utilisent de la boue et du plâtre dans le processus de construction.

IV.2 Solutions proposées :

Lorsque la solution proposée dépend du principe de traiter les causes et les conséquences négatives résultant du phénomène ; le principe de cette solution compte sur sous-estimer l'action pour limiter les apports d'eau et la diversification des actions pour augmenter les évacuations d'eau.

Ces solutions sont les suivantes :

IV.2.1 Assainissement :

L'homme se débarrasse de 80% de l'eau qu'ils consomment en une journée sous forme d'eaux usées, c'est la plus grande menace pour la population de la région, le nouveau réseau d'assainissement vise à collecter le maximum d'eaux usées, le réseau d'assainissement est divisé en 4 groupes, chaque groupe a une station d'épuration ensuite (figure 5.4), l'eau traitée est collectée dans une canalisation principale et pompée à une distance de 70 km.

Afin de résoudre complètement le problème, il est nécessaire que les autorités concernées doivent faire l'effort d'étendre davantage le réseau et d'éliminer les fosses individuelles et le système d'assainissement traditionnel.

IV.2.2 Drainage :

Un réseau de drainage permet de contrôler le niveau de la nappe phréatique et drainé l'excès d'eau. Il existe deux types de drainage : vertical et transversal. Un réseau de drainage vertical, consiste en un réseau de puits dans la nappe phréatique équipée de pompes. En fonction du niveau souhaité, on pompe plus ou moins. Il est possible de varier la quantité d'eau pompée en fonction des besoins agricoles. Un réseau de drainage horizontal consiste en une série de drains qui ne seront effectifs que quand la nappe atteindra leur niveau (figure 5.4).

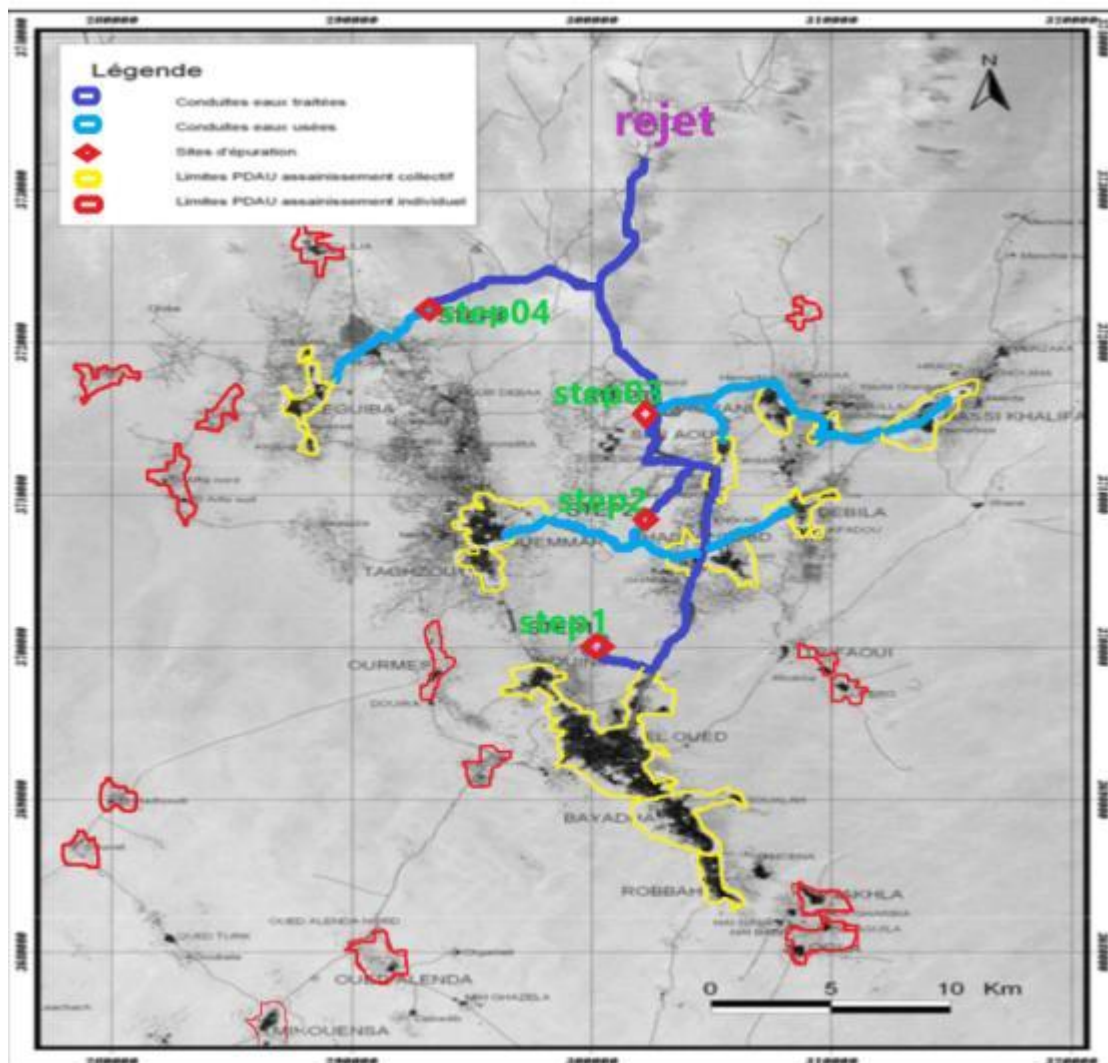


Figure V. 4: Schéma d'un réseau de collecte d'eau épurée.

IV.2.3 Epuration :

L'objectif de la mise en place de stations d'épuration est d'éliminer la pollution de la nappe phréatique, causée par les eaux usées au niveau des zones urbanisées. Créer des stations de filtration et les raccorder au réseau d'assainissement afin que l'eau puisse être traitée et réutilisée en agriculture.

IV.2.4 Réduction des fuites de réseau AEP :

Le taux de fuite d'un réseau est une cause du gaspillage d'eau, il atteint 30% dans la ville d'Oued Souf. Pour réduire le taux de fuite, il faut faire des travaux d'entretien à temps, poser des compteurs d'AEP au niveau des points de production et de consommation ainsi mettre des programmes de recherche des fuites.

IV.2.5 Lutte contre le gaspillage d'eau :

La consommation élevée d'eau joue un rôle négatif dans les zones caractérisées par des niveaux élevés d'eaux souterraines, donc, les citoyens doivent être sensibilisés à la nécessité de la réduction de la consommation d'eau.

IV.3 Objectif des solutions proposées :

Toutes les solutions proposées doivent viser les objectifs suivants :

- ✓ Protéger la nappe phréatique contre la pollution.
- ✓ Protection de la population contre les maladies à transmission hydrique.
- ✓ Réutiliser l'eau épurée en agriculture.
- ✓ Éliminer les facteurs qui bloquent le développement durable dans la région.

CONCLUSION :

La région d'Oued Souf est située dans la partie désertique de l'Algérie. Elle renferme une grande réserve d'eau souterraine. Elle est caractérisée par un phénomène de la remontée de la nappe phréatique, cela a causé de grands dommages à l'écosystème de la région en touchant plusieurs domaines tels que l'agriculture et la santé publique. Et tout en traitant ce phénomène, il faut s'assurer de ce qui suit :

- Éliminer d'effets négatifs sur la population.
- Atteindre le développement durable de la région.
- Protéger la nappe phréatique contre la pollution pour les prochaines générations.
- Préserver la qualité des eaux de la nappe phréatique.
- Réutiliser et valoriser les eaux transformées.

CONCLUSION

GENERALE

CONCUSION GENERALE

La ville d'Oued Souf est le chef lieu d'El Oued et la commune qui a la plus nombre des habitants, aussi c'est une unité importante de ressource en eaux souterraines, située au Sud-Est algérien, occupe une superficie de 11738 km², représente 18 communes administratives, est l'une de principales oasis du Sahara septentrional algérien et dans l'Erg oriental. 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, et de l'Ouest vers l'Est pour atteindre des valeurs négatives au niveau des chotts.

Le climat de la région est de type saharien se caractérisant par des températures élevées. Le bilan hydrique est déficitaire à cause des faibles précipitations et de forte évapotranspiration et du rayonnement solaire excessif.

La géologie d'El Oued est masquée par une épaisse couche de terrains quaternaires. La description a été effectuée grâce à l'interprétation des logs stratigraphiques des forages d'eau, elle est représentée par des terrains allant de Crétacé au Quaternaire. La lithologie des formations est détritique et évaporitique pour la Quaternaire, ainsi elle est détritique, évaporitique et carbonatée pour le Tertiaire et le Crétacé supérieure successivement.

Le système aquifère d'El Oued est constitué de trois nappes :

- Nappe libre (phréatique) contenue dans les formations continentales du Quaternaire, se sont des sables fins localement intercalés d'argiles sableuses et gypseuses lenticulaires. Elle couvre toute la région d'étude.

Deux nappes captives qui sont :

- Le Complexe Terminal (CT) s'étend sur une superficie de 350000 km². Il est constitué de formations de la fin du Crétacé supérieur (secondaire) jusqu'à la fin du Mio-Pliocène (Tertiaire).

- Continentale intercalaire (CI) compris entre les plissements hercyniens, qui ont chassé la mer de la plate-forme saharienne et l'invasion marine du Crétacé supérieur. Cet ensemble comprend majoritairement les formations continentales gréso-argileuses du Crétacé inférieur, auxquelles l'étude des coupes de forages a permis d'associer des sédiments.

L'étude hydrodynamique et les cartes piézométriques nous a permis de constater que le sens d'écoulement des eaux souterraines est orienté suivant une direction générale Sud-Ouest vers le Nord-Est de la région d'étude. L'étude d'évolution du niveau piézométrique de la nappe phréatique de la ville d'El Oued entre l'année 2008 et l'année 2014, montre un rabattement général au niveau de la nappe phréatique. 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. 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.

L'exploitation et l'utilisation des eaux des nappes profondes étaient nécessaires disant obligatoires. Mais, la surexploitation des eaux de ces nappes profondes a provoqué un énorme problème inattendu, celui de la remontée des eaux souterraines en surface. Les conséquences de phénomène sont : des habitations ont été endommagé, des fissures préjudiciables sont apparues dans plusieurs maisons, notamment au niveau des quartiers Sidi Mastour, Nezla et Choot. Plusieurs familles ont du être transférés vers d'autres lieux car elles avaient peur de l'effondrement de leurs maisons.

La caractérisation physico-chimique des eaux souterraines pour la consommation humaine dans la région d'Oued-Souf a montré que :

Le TH de toute l'eau analysée est inférieur à la norme de l'OMS (500°F) (valeur TH de 10,80 à 13,81) où toute les eaux sont douces et moyennement dures.

La température (23.2 à 19.3 °C) et le pH (environ 6.71- 7,54) des eaux étudiées sont conformes aux recommandations de l'Algérie et de l'Organisation mondiale de la santé.

Les eaux souterraines d'Oued Souf sont fortement minéralisées en raison du niveau élevé de solides dissous qu'ils contiennent.

L'analyse de quelques espèces chimiques majeures dissoutes dans l'eau nous a permis de connaître que les teneurs en Na^+ , Cl^- et SO_4^{2-} dépassent énormément les normes de l'eau potable. Néanmoins, les teneurs en HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} présentent des valeurs acceptables et

CONCLUSION GENERALE

inferieures à la norme. Généralement les espèces chimiques trouvées à fortes concentrations sont d'origine géologique, autrement dit, ils sont libérés par la roche mère riche en ces espèces. Ce type de salinisation se développe dans les dépressions soumises à un climat évaporant.

Selon l'IOE et l'IQEI, on peut conclure que ces eaux sont d'excellente qualité en vue la consommation humaine et l'irrigation dans toutes la région de la vallée d'Oued Souf.

Toutes les solutions proposées doivent viser les objectifs suivants :

- ✓ Protéger la nappe phréatique contre la pollution.
- ✓ Protection de la population contre les maladies à transmission hydrique.
- ✓ Réutiliser l'eau épurée en agriculture.
- ✓ Éliminer les facteurs qui bloquent le développement durable dans la région.

Bibliographie

- [1] s.d. El Oued (Province Capital, El Oued, Algeria)« - Population Statistics, Charts, Map and Location ») Consulté le janvier 24, 2021, sur citypopulation: www.citypopulation.de
- [2] Baba Sy.M. (2005). Recharge et paléorecharge du système aquifère du Sahara septentrional. Tunisie: Université de Tunis El Manar.
- [3] (DAV), P. D. (s.d.). Récupéré sur <https://power.larc.nasa.gov/cgi-bin/v1/DataAccess>
- [4] Allais, A. (s.d.). dateandtime.info. Consulté le 12 2014, 16, sur <https://dateandtime.info/fr/index.php>
- [5] ANRH. (2005). Inventaire des forages d'eau de la wilaya d'El Oued. . Ouargla: La Direction régionale Ouargla..
- [6] BEL F & CUCHE D. (1969). Mise au point des connaissances sur la nappe du Complexe Terminal. Ouargla, ERESS, Algérie.
- [7] BELLAOUEUR A. (2008). Etude hydrogéologique des eaux souterraines de la région de Ouargla Soumise à la remontée des eaux de la nappe phréatique et Perspectives de solutions palliatives (Sahara Nord-Est Septentrional - Algérie) . MEMOIRE DE MAGISTER En Géologie du Génie Civil et des Milieux Aquifères , Université El-Hadj Lakhdar – Batna Faculté des sciences Département des sciences de la terre.
- [8] BELLAOUEUR Abd El Aziz. (2008). Etude hydrogéologique des eaux souterraines de la région de Ouargla Soumise à la remontée des eaux de la nappe phréatique et Perspectives de solutions palliatives (Sahara Nord-Est Septentrional - Algérie) . MEMOIRE .
- [9] Ben Amara et Megdoud. (2019). Contribution à l'étude du régime alimentaire du lézard Scincus (LINNAEUS, 1759) dans la région du Souf. Mémoire de Master, Université d'El Oued, Algérie.
- [10] BOULIFA K. (2012). Synthèse hydrogéologique sur la region d'El-Oued Sahara nord oriental – Est Algérien -. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magister en Géologie, Université Constantine 1- Département des Sciences Géologiques-.
- [11] BRL-BNEDER. (1999). Etude du plan directeur générale de développement des régions sahariennes. Alger. 63p..
- [12] BRL-BNEDER. (1999). Etude du schéma directeur de développement de l'agriculture de la wilaya d'El Oued. Alger.

- [13] BUSSON G. (1970). Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. Thèse de doctorat, Paris.
- [14] Castagny G. (1968). Prospection et exploitation des eaux souterraines. Paris: Dunod édit.
- [15] Castany G. (1982). Bassin sédimentaire du Sahara septentrional (Algérie Tunisie). Aquifères du continental intercalaire et du complexe terminal. Bull. BRGM 2 III, Vol. 2..
- [16] Cheurfi, A. (2011). Dictionnaire des localités algériennes : villes, villages, hameaux, ksars et douars, mechtas et lieux-dits. Casbah-Éditions.
- [17] Cornet A. (1964). Introduction à l'hydrogéologie saharienne. Rev. Géogr.Phys. & Géol. France.
- [18] Cote M. (2006). Si le Souf m'était conté, comment fait et se défait un paysage. Constantine: Edition Média-plus.
- [19] Côte, M. (1996). paysages et patrimoine. Guide d'Algérie. Algérie: Média-Plus.
- [20] DSA (Direction Des Services Agricoles). (2010). Rapports et canevas (1999-2009). Rapports et canevas (1999-2009).
- [21] el, T. (s.d.). tawfisouk. Consulté le 09 12, 2016, sur <http://tawfisouf.50webs.com/geo.html>
- [22] ERESS. (1972). Nappe du Continental intercalaire. Plaquette 2, Tunisie. 46 P .
- [23] Fontaine, a. K. (2018). « Démographie et urbanisation au Sahara algérien à l'aube du XXIe siècle ». Dans Les Cahiers d'EMAM. Études sur le Monde Arabe et la Méditerranée.
- [24] G, B. (1971). Principe, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mesozoique saharien. Thèse, Paris.
- [25] Guendouz, A., Moulla, A. S, Edmunds W. M, Zouarik, Shands. P. and Mamou A. (2003). Htdrogeochemical and isotopic evolution of water in the Complex Terminal aquifer in Algerian sahara. Hydrogeology journal.11. 483-495..
- [26] Haddadou, M. A. (2006/2007). Dictionnaire des racines berbères communes.
- [27] HELISSE. (2007).
- [28] HPO-BG. (2002). Vallée du Souf Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation.
- [29] J, FABRE. (1976). Introduction à la géologie du Sahara algérien. Alger, Algérie: SNED.

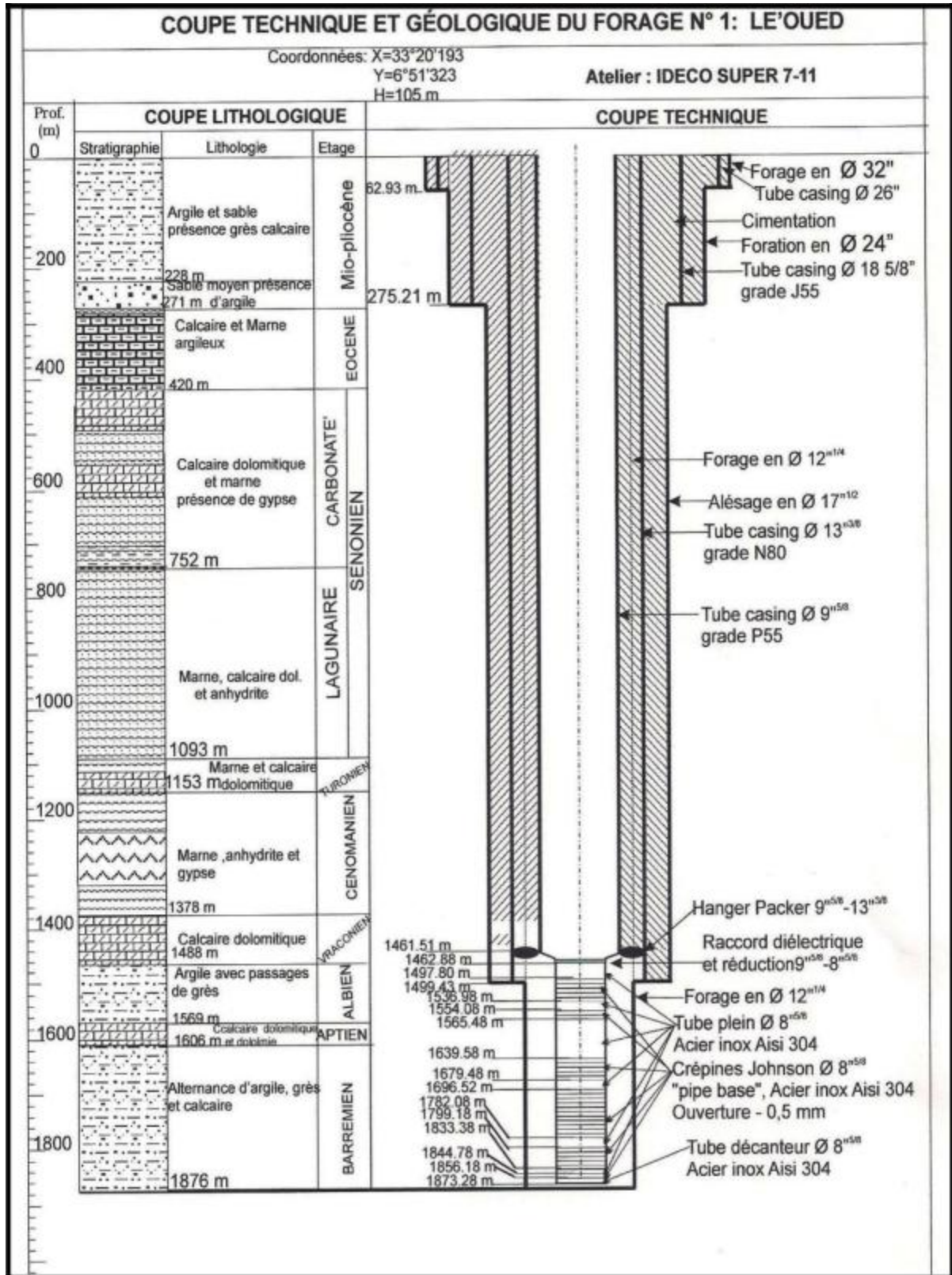
- [30] Journal officiel de la République Algérienne. (1984). , 19 1984. Décret no 84-365, fixant la composition, la consistance et les limites territoriale des communes. Wilaya d'El Oued.
- [31] KHECHANA S. (2007). Etude de la gestion intégrée des ressources en eaux dans la vallée d'Oued souf (Sud-Est Algérien). Mémoire magistère en Hydrogéologie, Université BADJI MOKHTAR Annaba.
- [32] KHECHANA S. (2014). Perspective et méthode de la gestion intégrée des ressources en eau dans une zone hyper-aride. Application sur la vallée d'Oued-Souf (Sud-Est algérien). Mémoire présente pour l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences, Université de Annaba.
- [33] M, B. s. (2006). Holocene recharge and present recharge of the Saharan aquifers. . Dijon, France.: A study by numerical modelling, Colloque international - Gestion des grands aquifères .
- [34] Marc Côte. (1996). Guide d'Algérie : paysages et patrimoine,. Algérie: Média-Plus.
- [35] Medarag, H. (2009, septembre 9). Le rôle des services et des investissements dans l'hypertrophie de la ville d'El Oued au bas Sahara algérien. 3.
- [36] 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..
- [37] NADJAH, A. (1971). Le Souf des oasis. (m. livres, Éd.) p. 174.
- [38] NASA. (s.d.). Récupéré sur <https://power.larc.nasa.gov/docs/tutorials/data-access-viewer/user-guide/>
- [39] Nesrat Ali. (2016). impact du changement climatique sur les ressources hydriques en Algérie. Mémoire du Master, Université de Tébessa.
- [40] Nesson C. (1978). L'évolution des ressources hydrauliques dans les oasis du Bas – Sahara Algérien. 85 p.
- [41] OSS. (2003). Système Aquifère du Sahara Septentrional, Rapport interne. Annexes.Tunis, Tunisie, 229p..
- [42] OSS. (2003). Système Aquifère du Sahara Septentrional. Volume 4 : Modèle Mathématique. Projet SASS . Tunis, Tunisie.
- [43] Reciouï I. (2013). Contribution à l'étude de l'évolution piézométrique de la nappe phréatique d'Oued Souf, Mémoire de Master, Université d'Ouargla, Algérie..
- [44] REMINI B. (2005). L'évaporation des lacs de barrages dans les régions arides et semi arides , exemple Algérien. Larhyss (04).
- [45] SALHI Hala. (2016). Détermination de la piézométrie et la qualité des eaux de la nappe phréatique dans la zone urbaine(Cas de la commune d'El-Oued) . diplôme de

Master en hydraulique OPTION : Conception et Diagnostic des systèmes d'AEP et d'assainissement, Université HAMMA LAKHDAR EL-Oued Faculté de Technologie, département de : Hydraulique & Génie Civil,41-47p.

- [46] Sifi Mbarka et Radouani Nizar . (2018). Caractéristique qualitatif des eaux de la nappe phréatique de la ville d'El oued. Présenté En vue de l'obtention du diplôme de Master en hydraulique, HAMMA LAKHDAR.
- [47] Source : université du lemans, cours exo 3 (Internet). (s.d.). Récupéré sur .
http://ued.univ-lemans.fr/Grain-1_Kit_1-Bilan/co/grain_Exo_03.html
- [48] UNESCO. (1972). 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.
- [49] VOISIN. (2004). Le Souf. (E. El-Walide, Éd.) pp. 190-319.
- [50] 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,45-55 p.

ANNEXES

Annexes I



Annexes II

Tableau. A.1- Piézométrie de la nappe phréatique

Propriétaire / Localisation	N° du Point d'eau	Coordonnées UTM Clarke 1880		Altitude (m)	Profondeur du niveau statique (m)	
		X	Y		mai-08	mai-09
BELAID	G08	297645.00	3694464.00	74.63	3.60	3.75
GHARBI A. MADJID	G12	298808.00	3697410.00	66.95	2.50	2.71
Station d'essence BEN BARDI	G81	297997.00	3691880.00	80.39	6.20	6.31
Route de Touggourt	P17	296274.40	3692349.00	92.21	14.90	14.70
BEYA ALI	H80	304144.00	3694023.00	73.96	9.75	9.98
MAAMRA MESSAOUD	H90	302623.60	3698915.00	72.3	5.60	5.49
APC BAYADA	G37	303666.00	3689185.00	82.36	8.60	8.35
Ghout SAHANE	S01	302615.54	3691994.13	70.39	-0.95	-1.20
Choott	C01	301160.32	3695203.77	64.52	-0.45	-0.40
Choott	C02	301084.17	3695597.73	64.26	-0.70	-0.80
Choot	C03	301100.37	3695807.44	64.11	-0.80	-0.88
Chfteau d'eau chott	D01	301968.70	3696621.38	74.2	4.95	4.02
école Hazla Tahar	D02	301750.82	3696111.35	73.87	5.62	4.89
CM Tiksept Nord	D03	299162.67	3696067.37	74.8	7.13	7.04
Complexe sportif Tiksept	D04	299190.00	3695750.00	75.75	6.94	6.88
Parc Wilaya	D05	301868.62	3695710.67	76.15	9.15	8.40
ST1 Tiksept	D06	299503.46	3695415.65	76.02	4.62	5.11
Lycée Tiksept	D07	299407.64	3695094.86	76.91	4.51	4.69
école Ferhat Ben Amara Tiksept	D08	299807.22	3694969.33	75.59	3.42	3.56
école nouvelle Tiksept ouest	D09	298939.31	3694850.67	79.45	6.37	6.35

Chfteau d'eau El Gara	D10	299803.90	3694674.57	76.94	3.55	3.68
école El gara est	D11	300259.41	3694719.18	73.05	2.22	2.26
Direction El Moudjahidine	D13	301008.60	3694585.54	66.42	0.79	0.83
CM Tksept Est	D14	300215.12	3694473.90	73.89	2.40	2.39
école pratique Ali Ayadi	D15	299621.10	3694205.77	79.01	4.41	3.98
Mosquée El Kautar	D17	301085.67	3694108.35	70.34	1.88	1.55
CM Ghendire Omar	D18	301964.77	3694100.74	68.3	1.62	1.75
�cole Djebeli Djbeli	D19	300657.20	3694003.18	76.25	6.48	6.53
Hotel Louss	D20	300463.06	3693926.22	69.57	-0.30	-0.40
Nazla Mehria	D21	301614.01	3693782.90	72.64	3.76	3.35
Annexe centre uni El Oued	D23	299322.30	3693745.35	80.87	4.81	4.11
DTP	D25	300683.31	3693511.99	79.07	5.46	5.11
Direction �ducation (service p)	D27	300265.86	3693473.52	80.15	5.83	5.47
Souk	D29	301688.58	3693356.45	73.36	2.30	1.85
Chfteau d'eau Sidi Mestour	D32	302373.47	3693286.29	70.33	0.43	0.41
ADE centre ville	D34	300940.78	3693170.57	80.81	6.56	5.41
ST3	D35	299617.02	3693170.07	78.9	2.50	2.16
ST 400logements	D36	300570.70	3692922.98	79.66	3.50	2.70
CFPA 3	D37	301099.26	3692773.55	80.31	5.26	4.20
CM Bachir Djab Alah	D38	302327.70	3692632.31	71.6	3.89	3.38
�cole Mouhamed Serouti	D39	299732.34	3692603.67	84.02	7.45	7.23
�cole Ouinissi El Hachemi	D41	301654.93	3692665.43	78.61	7.55	7.51
Chfteau d'eau 300 logements	D42	300827.58	3692571.42	88.78	12.68	11.80
�cole 300 logements	D46	300676.19	3692148.17	87.2	11.00	10.36
Annexe c uni El Oued Sahane	D47	301319.54	3692206.56	84.1	8.50	7.86

école Essaghaire Mouldi 1	D48	301459.31	3691779.63	80.43	2.90	3.53
Conservation des Forets	D49	300500.69	3691766.95	89.46	13.85	13.16
Cimetière Sahane 1	D50	301948.40	3691704.98	78.61	3.60	2.75
école Maragni Kalifa Sahane 1	D51	302338.15	3691647.24	79.33	5.92	5.46
DHW	D52	300762.06	3691450.00	92.13	15.30	15.17
école Kina El Aich	D53	301927.28	3691220.61	80.32	4.50	4.37
Mosquée Sahane 2	D54	302475.58	3691120.03	78.55	4.48	3.99
Résidence Universitaire	D55	302040.85	3690862.76	77.12	4.30	3.90
école Touati Ahmed Moustapha 1	D56	302653.43	3690698.26	79.45	5.32	5.21
école Mirhouet Ali Ouled Touat	D57	303214.34	3690502.62	78.65	6.42	6.08
école Bekakra Ben Ali	D58	302460.08	3690346.14	75.93	3.88	3.00
Choott	C04	301444.04	3694700.36	64.99	0.45	0.50
Choott	C05	301163.17	3694857.25	65.50	0.48	0.45
Sidi Mestour	S02	302366.17	3693175.59	69.51	0.41	0.45
Nazla	N01	301542.44	3694290.21	65.10	0.80	0.80
Choott	C07	301501.24	3694935.95	64.58	0.42	0.40
Choot	C06	300954.89	3695064.28	65.92	0.35	0.44
Choott	C08	300983.44	3695729.51	64.33	-0.58	-0.60

Annexes III

Tableau 1 : Résultats de T (°C) et pH des différents points de prélèvement à la vallée d'Oued-Souf.

Point de prélèvement	T (°C)	pH
Reguiba	23.2	7.14
Houbba	22.9	7.03
Hassi-Khalifa	22.1	6.71
Magrane	19.3	6.82
Debila	21.6	6.91
Guemar	23	7.37
Taghzout	22.5	6.91
Ourmess	22.7	6.94
El-Oued	22,5	7,54
Mih-Ouansa	22,6	7,41

Tableau 2: Résultats du TAC et du TH des différents points de prélèvement à la vallée d'Oued-Souf.

Point de prélèvement	TAC		TH	
	(méq.L ⁻¹)	(F°)	(méq.L ⁻¹)	(F°)
Reguiba	3.54	17.7	13.33	133.3
Houbba	3.01	15.05	12.9	129
Hassi-Khalifa	3.09	15.46	11.46	114.6
Magrane	2.94	14.73	10.96	109.6
Debila	3.28	16.4	12.23	122.3
Guemar	3.6	18	13.81	138.1
Taghzout	3.06	15.3	13.4	134
Ourmess	2.91	14.55	13.4	134
El-Oued	2.62	13.1	10.8	108
Mih-Ouansa	2.68	13.4	11.3	113

Tableau 3: Données d'analyse des espèces chimiques obtenues par la DRE et la ADE d'El Oued.

Point de prélèvement	Na ⁺ (mg.L ⁻¹)	K ⁺ (mg.L ⁻¹)	Ca ²⁺ (mg.L ⁻¹)	Mg ²⁺ (mg.L ⁻¹)	Cl ⁻ (mg.L ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ (mg.L ⁻¹)	NO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹)	HCO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹)
Reguiba	698.6	27.6	250	189.4	958.6	5788.4	18.23	46.6
Houbba	779.1	29.9	364	84.2	1179.4	6712	22.47	45.1
Hassi-Khalifa	625.3	27.6	352	97.3	1189.2	6635.3	21.98	45.4
Magrane	701.2	30.9	274	164.4	1100.2	8075.6	16.74	45.1
Debila	701.2	31.3	290	112.5	1029.6	7454.6	16.25	43.9
Guemar	612.6	24.6	274	140.2	1025.9	4436.5	20.49	46.3
Taghzout	579.1	28.9	328	204	1792.7	5345.2	17.24	45.1
Ourmess	626.5	28.2	380	107.4	1118.2	8950.6	20.93	46.3
El-Oued	688.6	26.4	314	182.3	1118.4	5505.4	21.91	48.8
Mih-Ouansa	513.9	27.2	248	155.2	1019.5	4856.7	18.53	46.3