



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE D'EL OUED

Faculté des sciences et technologie

Département d'hydraulique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

**Présenté en vue de l'obtention du diplôme Master (LMD)
en Hydraulique**

**Option: diagnostic et conception d'un system d'AEP et
d'assainissement**

THEME

***Rendement des ouvrages destinés à résoudre le phénomène
de la remontée des eaux de la nappe phréatique de la région
du souf a l'aide de l'ArcGis***

Encadré par:

Mr: Miloudi Abdelmonem

Réalisé par:

Madani Khaireddine

Sahraoui abdesselami

Promotion: 2013 / 2014

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude avant tout à Dieu tout puissant qui nous a aidés et donné le courage pour mener à bien ce modeste travail.

Notre gratitude et nos vifs remerciements vont directement à notre directeur du mémoire Mr : **Miloudi Abdelmonem**, d'avoir encadré et suivi notre travail de près avec sa rigueur scientifique exceptionnelle et ses conseils qui nous ont permis de mener à bien ce travail.

Nous remercions tout particulièrement Messieurs les jurys, d'avoir bien voulu assister au jury et critiquer ce mémoire.

Nos remerciements vont à tous les enseignants du département de l'hydraulique à l'université d'El Oued.

Nos remerciements vont aux responsables du ANRH de Ouargla, DRE d'El-Oued pour ces aides, ONA d'El-Oued et ADE d'El-Oued, pour leurs aides et leurs conseils.

Enfin, Nous tenons à remercier tous les amis et les collègues qui nous ont aidés et encouragés pour réaliser ce mémoire.

ملخص

لقد عرفت منطقة الوادي في الثلاثون السنة الماضية مشكلة خطيرة هددت البيئة والإنسان. تمثلت في ظاهرة صعود مياه الطبقة المائية الحرة. إن دراسة هاته الظاهرة بينت إن فعل الإنسان هو السبب الرئيسي لهذه الظاهرة, في هذه الحالة وضعت الدولة مشاريع للإنجاز للتخلص من هذه الظاهرة.

نلاحظ تطور مقبول في نزول المياه الجوفية في منطقة وادي سوف, ومن المعطيات المقاسة نستخلص أن مستوى المياه الجوفية قد نزلت من 0.1 م الى 8.72 م . اذا هذا المشروع على العموم شبه فعال.

Résumé

La région d'El-Oued à connaît dans les dernière trente années un grave problème, qui a menacé l'homme et l'environnement, représenté par la remontée de niveau piézométrique de la nappe phréatique. L'examen de cet phénomène montre que les activités humains sont les causes de cette remontée, Cependant l'état a mis en œuvre plusieurs études et projets pour endiguer ce phénomène.

Nous constatons un progrès appréciable sur la baisse du niveau piézométrique de la nappe phréatique, et a partir des données mesurées on a trouvé que le niveau piézométrique a été rabattu entre 0.1m et 8.72m, et que le projet s'avère assez efficace.

Liste des abréviations

ANRH	: l'Agence Nationale des Ressources Hydriques.
BG	: Bonnard & Gardel.
BNEDR	: Bureau National d'Etude pour le Développement Rural.
CT	: Complexe terminal.
CI	: Continental intercalaire.
CDTN	: Centre de développement des techniques nucléaires.
DBO ₅	: Demande Biochimique en Oxygène en 5 jours.
DCF	: Direction De Conservation Des Forêts.
DCO	: Demande Chimique en Oxygène.
DSA	: Direction des Services Agricoles.
ERESS	: Etude des ressources en eau du Sahara Septentrionale.
ENAGEO	: l'Entreprise Nationale de Géophysique.
ENHPO	: l'Entreprise Nationale des Projets Hydrauliques de l'Ouest.
MES	: Matières En Suspension.
PHD	: Polyéthylène Haute Densité.
Q	: débit.
ONA	: Office National d'Assainissement.

ONM	: Office Nationale de Météorologie.
STEP	: Station d'Épuration.
DPSB	: Direction de Programmation et Suivi Budgétaire
SASS	:system aquifère de sahara septentrional
OSS	:observation du sahara et du sahel
DRE	:Direction De Ressource En Eau

Liste des figures

N° figure	Titre	Page
Figure 1	<i>Localisation de la zone d'étude.</i>	6
Figure 2	<i>carte 3D présente le relief du souf</i>	8
Figure 3	<i>Histogramme des précipitations moyennes mensuelles</i>	11
Figure 4	<i>Histogramme des températures moyennes mensuelles</i>	12
Figure 5	<i>Histogramme d'humidité relative moyenne mensuelle</i>	12
Figure 6	<i>Histogramme de l'évaporation moyenne mensuelle</i>	13
Figure 7	<i>Histogramme de La vitesse du vent moyenne mensuelle</i>	13
Figure 8	<i>Carte géologique SASS</i>	17
Figure 9	<i>Log de forage F1 de l'Albien Chouhada</i>	21
Figure 10	<i>Coupe hydrogéologique du Souf</i>	23
Figure 11	<i>Coupe hydrogéologique à travers le Sahara</i>	24
Figure 12	<i>Système du ghout dans la région du Souf</i>	27
Figure 13	<i>Recensement de nombre de ghouts de la région du souf</i>	27
Figure 14	<i>Le périmètre de Hobba vue d'avion avec le plan au sol</i>	29
Figure 15	<i>Les puits entre El-Oued et Ghadamès en 1883</i>	31
Figure 16	<i>Les nombres des palmiers du Souf au début de XXe siècle</i>	31
Figure 17	<i>Les Oasis du Souf aux XIXe et XXe siècles</i>	32
Figure 18	<i>Les palmeraies du Souf</i>	34
Figure 19	<i>La ville d'El Oued, vue d'avion en 1980</i>	35
Figure 20	<i>Evolution de la situation des ghouts autour d'El Oued en 1980</i>	36
Figure 21	<i>Evolution des nombres des palmiers au début des années 80</i>	37
Figure 22	<i>La catastrophe situation des ghouts d'El Oued en 1986</i>	37
Figure 23	<i>Situation d'un ghouts ennoyée complètement par les eaux polluée</i>	39
Figure 24	<i>Carte piézométrique de la nappe phréatique du Souf</i>	40
Figure 25	<i>Situation d'un ghout dans la commune d'El Oued remplis d'eau et de roseaux à la place des palmiers</i>	42
Figure 26	<i>Les nombres de palmiers de l'année 1995 à 2014 du Souf</i>	43
Figure 27	<i>Le comportement de la nappe dans le temps pour cette période</i>	43

Figure 28	<i>Etat des ghouts du Souf en 2001</i>	44
Figure 29	<i>Le chott d'El Oued (remontée capillaire de l'eau de la nappe)</i>	45
Figure 30	<i>Puits traditionnel pour Le réseau de surveillance de la nappe phréatique</i>	46
Figure 31	<i>Etat du réseau de surveillance en 2001</i>	47
Figure 32	<i>La carte de différent piézométrique</i>	47
Figure 33	<i>Forme de l'agriculture nouvelle le mini-pivot de fabrication artisanale</i>	51
Figure 34	<i>Le comportement spatial de la nappe phréatique pour cette période</i>	51
Figure 35	<i>Station de pompage des eaux de drainage ST10</i>	55
Figure 36	<i>Conduite d'amiante ciment utilisée dans le réseau drainage horizontale</i>	55
Figure 37	<i>Coupe transversale du tranche de drainage horizontale</i>	56
Figure 38	<i>Réseau de drainage horizontale de sidi mastour</i>	57
Figure 39	<i>Variante 1 - Profil schématique</i>	58
Figure 40	<i>Variante 2 - Profil schématique</i>	59
Figure 41	<i>Coupe transversale de forage</i>	61
Figure 42	<i>représentation l'équipement da forage</i>	62
Figure 43	<i>canal de collecte des eaux de drainage</i>	63
Figure 44	<i>bâche d' eau des eaux de drainage .</i>	63
Figure 45	<i>plan de réseau de drainage verticale</i>	64
Figure 46	<i>Répartition des diamètres</i>	65
Figure 47	<i>Le réseau d'assainissement de la commune d'El Oued</i>	66
Figure 48	<i>Localisation des stations de relèvement existantes</i>	67
Figure 49	<i>Le système traditionnel d'assainissement</i>	70
Figure 50	<i>La zone de rejet d'El Oued .</i>	71
Figure 51	<i>La zone de rejet actuel d'El Oued</i>	72
Figure 52	<i>Schéma directeur d'assainissement de la vallée du Souf</i>	73
Figure 53	<i>Schéma d'une installation type d'assainissement individuel</i>	75
Figure 54	<i>Débits d'eaux usées vers le réseau d'assainissement dans la vallée du Souf.</i>	77
Figure 55	<i>Les dispositifs d'épuration pour l'assainissement individuel</i>	79
Figure 56	<i>Schéma de principe (plan d'implantation) la station d'épuration</i>	81
Figure 57	<i>chemine d' équilibre MC03</i>	84
Figure 58	<i>chemine d' équilibre CH01</i>	85

Figure 59	<i>chemine d' équilibre CH02.</i>	85
Figure 60	<i>chemine d' équilibre ET03</i>	85
Figure 61	<i>chemine d' équilibre ET04</i>	86
Figure 62	<i>chemine d' équilibre ET05</i>	86
Figure 63	<i>chemine d' équilibre CH03</i>	87
Figure 64	<i>chemine d' équilibre CH04</i>	87
Figure 65	<i>chemine d' équilibre CH05</i>	87
Figure 66	<i>La ceinture verte du côté les routes à droite (b) et dans les zones inondées (Sidi Mastour) à gauche (a).</i>	88
Figure 67	<i>Présente la différence entre deux périodes</i>	89
Figure 68	<i>La ceinture verte de la région du Souf</i>	90
Figure 69	<i>la sonde électrique</i>	95
Figure 70	<i>trayeur de creusage</i>	95
Figure 71	<i>la théodolite</i>	96
Figure 72	<i>l'appareille GPS</i>	96
Figure 73	<i>les points de station dans chott</i>	97
Figure 74	<i>les piézomètre foré par trayeur</i>	97
Figure 75	<i>la mesure de NS par la sonde électrique</i>	98
Figure 76	<i>lecture de la affichage dans l'armoire.</i>	98
Figure 77	<i>carte piézométrique de la nappe phréatique d'El Oued en 2008</i>	10 1
Figure 78	<i>carte 3D présente les zones touchée par le phénomène en 2008</i>	10 2
Figure 79	<i>carte piézométrique de la zone d'étude en 2014</i>	10 3
Figure 80	<i>carte 3D présente les zones touchée par le phénomène en 2014</i>	10 4

Liste des tableaux

N° Tableau	Titre	Page
Tableau 1	<i>Répartition de la superficie et nombre d'habitant et la densité apparente par commune de la Wilaya d'El-Oued</i>	7
Tableau 2	<i>Moyennes mensuelles des différents paramètres climatiques Station météorologique de Guemmar Oued Souf (1978-2013)</i>	9
Tableau 3	<i>Bilanhydrique de la station de Guemmard'après THORNTWAITE</i>	16
Tableau 4	<i>Gamme des diamètres</i>	65
Tableau 5	<i>Caractéristiques de quelques pompes des stations de relevage</i>	68
Tableau 6	<i>Répartition des fosses par commune</i>	69
Tableau 7	<i>Les débits estimés d'eaux usées collectées par chaque commune</i>	76
Tableau 8	<i>Les caractéristiques des stations d'épuration dans le cadre de réalisation</i>	82
Tableau 9	<i>recensement des arbres de ceinture verte</i>	89
Tableau 10	<i>le taux de raccordement par commune</i>	93
Tableau 11	<i>rendement d'élimination des paramètres physico-chimique</i>	94
Tableau 12	<i>le niveau piézométrique et statique en 2008</i>	99

SOMMAIRE

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

Chapitre I

Présentation générale de la région du Souf

<i>I-1 Historique Et Situation géographique.....</i>	<i>5</i>
<i>I-2 Le relief de la région</i>	<i>7</i>
<i>I-3 Climatologie.....</i>	<i>8</i>
<i>I-3.1 Introduction.....</i>	<i>8</i>
<i>I-3.2 Climat de la région d'étude</i>	<i>8</i>
<i>I-3.2.1 Les indices climatiques</i>	<i>9</i>
<i>I-3.2.2 Les précipitations</i>	<i>11</i>
<i>I-3.2.3 La température:.....</i>	<i>11</i>
<i>I-3.2.4 L'humidité relative de l'air.....</i>	<i>12</i>
<i>I-3.2.5 L'évaporation:.....</i>	<i>12</i>
<i>I-3.2.6 Les Vents:.....</i>	<i>13</i>
<i>I-4 Bilan hydrique :.....</i>	<i>14</i>
<i>I-4.1 Evapotranspiration :.....</i>	<i>14</i>
<i>I-4.2 L'évaporation potentielle (ETP) :.....</i>	<i>14</i>
<i>I-4.3 L'évapotranspiration réelle (ETR) :.....</i>	<i>15</i>
<i>I-4.3.1 Formule de L. TURC annuelle:.....</i>	<i>15</i>
<i>I-4.3.2 Méthode de THORNTHWAITE:.....</i>	<i>15</i>
<i>I-4.4 Ruissellement :.....</i>	<i>16</i>
<i>I-5 Géologie régionale :.....</i>	<i>16</i>
<i>I-5.1Géologie locale :.....</i>	<i>17</i>
<i>I-5.2 Stratigraphie :.....</i>	<i>18</i>
<i>I-5.2.1 formation de l'ère primaire (paleozoïque):.....</i>	<i>18</i>
<i>I-5.2.2 formation de l'ère secondaire (mésozoïque).....</i>	<i>18</i>
<i>I-5.2.3formations de cénozoïque.....</i>	<i>20</i>

I-6 Présentation des nappes aquifères de la région d'El-Oued :	22
I-6.1 Nappe Phréatique :	22
I-6.2 Nappe du Complexe Terminal (C.T):	22
I-6-2-1 La Nappe des Sables :	22
I-6.2.2 La Nappe des Calcaires :	23
I-6.3 Nappe du Continental Intercalaire (C.I)	24

Chapitre II

Histoire de la remontée des eaux de la nappe phréatique

II-1 Le systèmes Agricole de souafa :	27
II-1.1 Houds ou Ghouts :	27
II-1.2 les palmiers :	28
II-1.3 Les jardins :	29
II-1.4 le tabac (DOUKHAN)	30
II-2 Historique de la remontée de la nappe phréatique:	30
II-2.1 La variation piézométrique de la nappe phréatique et son impact sur la vie des	30
II-2.1.1 Rabattement de la nappe traditionnel du Souf	30
II-2.1.2- l'équilibre critique du niveau de la nappe	32
II-2.1.3- la rupture d'un système fermé et l'ampleur du phénomène	36
II-2.1.4- la rupture totale d'un système fermé et l'éveil les pouvoirs publics	39
II-2.1.5- l'activité des pouvoirs publics et le lancement des grands projets de la vallée du Souf:	44

Chapitre III

Le projet réalisé contre ce phénomène

III-1 Les remèdes de phénomène de la remontée de la nappe phréatique	54
III-1-1 Le système de drainage	54
III-1-1-1 réseau de drainage horizontal	54
III-1-1-2 Réseau de drainage vertical	58
III-1-1-2-1 Variante I	58
III-1-1-2-2 Variante II	59
III-1-1-2-3 Variante III	59

III-1-1-2-4 Choix du système de drainage	60
III-1-1-2-5 Forages	60
III-1-1-2-6 Equipement des forages	61
III-1-1-2-7 Réseau de drainage vertical	62
III-1-1-2-8 Diamètre des conduites	65
III-1-2- Le système d'assainissement.....	65
III-1-2-1-le réseau d'assainissement.....	65
III-1-2-1-1-historique de réseau d'assainissement du Souf:.....	65
III-1-2-1-2-le réseau d'assainissement actuelle	71
III-1-2-2- Volet d'épuration des eaux usées	75
III-1-2-2-1- l'épuration dans l'assainissement individuel.....	77
III-1-2-2-2- l'épuration des eaux usées dans l'assainissement collectif.....	79
III-1-2-3- Transfer des eaux vers le point de rejet	84
III-1-2-3-1 Le chemine d'équilibre " MC03 ".....	84
III-1-2-3-2 Le chemine d'équilibre " CH01 ".....	84
III-1-2-3-3 Le chemine d'équilibre " CH02 ".....	85
III-1-2-3-4 Le chemine d'équilibre " ET03 ".....	85
III-1-2-3-5 Le chemine d'équilibre " ET04 ".....	86
III-1-2-3-6 Le chemine d'équilibre " ET05 ".....	86
III-1-2-3-7 Le chemine d'équilibre " CH03 ".....	86
III-1-2-3-8 Le chemine d'équilibre " CH04 ".....	87
III-1-2-3-9 Le chemine d'équilibre " CH05 ".....	87
III-1-3- ceinture verte (la solution biologique)	88

Chapitre IV

Rendement de projet

IV-1- Les rendements des ouvrages	93
IV-1-1- Le rendement d'un réseau d'assainissement	93
IV-1-2- Le rendement d'une station d'épuration.....	93

<i>IV-1-3-le rendement de drainage vertical</i>	<i>94</i>
<i>IV-1-3- 1- la sonde électrique</i>	<i>95</i>
<i>IV-1-3-2-le trayeur</i>	<i>95</i>
<i>IV-1-3-3-la théodolite</i>	<i>96</i>
<i>IV-1-3-4- l'appareille GPS</i>	<i>96</i>

CONCLUSION GENERALE	105
----------------------------------	------------

REFERENCES BIBLIOGRAPHIES.....	108
---------------------------------------	------------

Introduction

Générale

La ville d'El Oued, fait partie de la vallée du Souf, dite région du Bas-Sahara à cause de sa faible altitude, elle est située au Sud-Est du pays et englobe 18 communes, limitées au Nord par la région des chotts (Melrhir et Merouane), au Sud par l'extension des dunes du grand erg oriental, à l'Ouest par la vallée de l'oued Rhir et à l'Est par la frontière tunisienne. La vallée du Souf est caractérisée par une topographie plane, monotone (oscillant entre 20 et 120m d'altitude) et sans exutoire.

La région est caractérisée par un climat aride de type saharien, des précipitations faibles et variables et une forte évaporation.

Les données hydroclimatiques interannuelles pour la période (ONM, 1978-2013), enregistrées au niveau d'El Oued donnent une température moyenne de 21,52°C et une Pluviométrie de 75,78mm.

Les mesures et données concernant l'évaporation et l'évapotranspiration sont rares et limitées, les enregistrements au niveau de la station de Guemmar (ONM, 1978-2013) donnent une évaporation de l'ordre de 2374,60mm/an.

Le bilan hydrique établi par la méthode de Thorntwaite a montré que l'ETP atteint le maximum au mois d'Août (187.67 mm) et son minimum au mois de janvier (12.63 mm).

La constitution de la RFU ne s'effectue qu'au mois de janvier avec une

Depuis plus de trois décennies, la ville d'El Oued, à l'instar de toute la vallée souffre d'un épineux problème aux dimensions multiples et aux conséquences dévastatrices sur l'écosystème.

Le recours systématique et irréfléchi aux eaux souterraines plus profondes (du C.I et du C.T), destinées aux besoins d'AEP et d'irrigation, induits par le développement économique, l'accroissement démographique et une extension effrénée de l'urbanisation dans certaines agglomérations (suralimentées et insuffisamment couvertes par un réseau d'assainissement) notamment la ville d'El Oued, a accéléré la hausse du niveau hydrostatique de la nappe phréatique et la formation de lagunes, provoquant et accentuant ainsi le phénomène de la remontée des eaux.

Le cas de la ville d'El Oued est typique, en effet, d'après les dernières mesures piézométriques effectuées en avril 2002 dans la ville d'El Oued mettent en évidence une montée de la nappe phréatique qui peut dépasser 0,5m/an, dans les parties hautes de la ville. En 2001, le bilan d'eau au niveau de la ville d'El-Oued était excédentaire de 22 185 m³/j (8097525 m³/an), rapportée à la surface bâtie (980 ha), représente une lame d'eau de 0,8 m (recharge annuelle). Celle-ci s'infiltre dans le sous-sol et fait monter le niveau de la nappe

phréatique. Pour l'éviter, il faudrait éliminer ces 22 000 m³/jour (260 l/s) par drainage ou évapotranspiration.

Ceci correspond à l'EVT de 600 ha de superficies agricoles (13000 m³/année/hectare) soit à une surface équivalente aux 2/3 de la surface de la ville.

Ce bilan d'eau est équilibré en éliminant le surplus d'eau par pompage dans 58 forages répartis sous la ville. L'eau ainsi drainée peut être utilisée pour l'agriculture et irriguer localement 620 ha.

Le drainage vertical, par pompage dans les forages permet d'abaisser suffisamment la nappe (entre 5 et 10 m de profondeur), sa pente devient ainsi pratiquement nulle et l'écoulement souterrain vers les points bas s'arrête.

Après la mise en marche des ouvrages on peut savoir le rendement et l'efficacité de ce grand projet.

Pour connaître le rendement de ce projet, on va établir une carte piézométrique de la nappe phréatique de la région d'étude.

Aumai 2014 et à l'aide de système d'information géographique (arc GIS), établir une carte piézométrique et une carte de trois dimension 3D

Chapitre I

Presentation générale de la région du Souf

En Algérie, du fait de sa situation géographique se trouve partagée en trois zones climatiques distinctes, la première à climat méditerranéen au Nord, la seconde semi-aride vers l'intérieur du pays (hauts plateaux) et enfin un climat aride qui caractérise le grand Sahara.

La connaissance des caractéristiques hydro-climatiques est nécessaire pour toute étude Hydrogéologique car, elles influent sur les apports souterrains, donc sur l'hydrodynamique des aquifères en particulier lors de l'établissement du bilan hydrique de ces derniers. En effet, Elle permet d'une part d'évaluer l'alimentation des nappes souterraines (recharge) et d'autre part d'avoir une idée sur la variation climatique caractérisant la région d'étude

Le Sahara, qui recèle l'essentiel des ressources en hydrocarbures est un désert formé de grandes étendues de dunes (Erg Oriental et Erg Occidental), de plaines caillouteuses (regs) et parsemé d'oasis, qui sont autant de centres urbains comme El Oued, Ghardaïa et Djanet. Le massif des Eglab à l'ouest et le massif du Hoggar à l'est forment, pratiquement la limite méridionale du Sahara algérien.

I-1 HISTORIQUE ET SITUATION GÉOGRAPHIQUE

La wilaya d'El Oued se trouve au Sud-est de la République Algérienne démocratique et populaire.

Elle 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, aujourd'hui elle se repose sur une superficie égale à 44586 km² divisée en 30 communes avec une population de 750840 habitants et une densité de 16,84 hab/km², le taux d'accroissement de population égale à 2.58 ‰ selon le recensement de la DPSB 2014.

Les limites de la Wilaya sont :

A l'Est par la République Tunisienne.

Au Nord –Est par Tebessa

Au Nord par Khenchla et Biskra

Au Nord-Ouest par Biskra.

A l'ouest par Djelfa.

Au Sud-ouest et sud par Ouargla

Géographiquement El Oued est limitée par les coordonnées suivantes :

Longitudes $X_1 = 05^{\circ}30'$ et $X_2 = 07^{\circ}00'$ Est.

Latitudes $Y_1 = 35^{\circ}30'$ et $Y_2 = 37^{\circ}00'$ Nord.

El Oued c'est la région du haut Sahara septentrionale, il est un petit morceau d'un immense territoire géomorphologique qui constitue le grand Erg oriental, vaste étendue de sable 200000 km², constituée par les alluvions des oueds qui au cours de Quaternaire ont désagrégé les reliefs situés plus au sud (massif central saharien) et ont épandu leurs matériaux sur le grand pan incliné qui s'ouvrait en direction des chotts, c'est à dire que les matériaux sont remodelés inlassablement sur place par les vents sahariens, en dunes de types variés.

Les contraintes de l'erg sont grandes : pas d'eaux superficielles, pas de sources, difficultés de circulation.

Pour le saharien, l'erg est le territoire le moins attractif, dans un Sahara très peu peuplé, l'erg est un territoire vide.

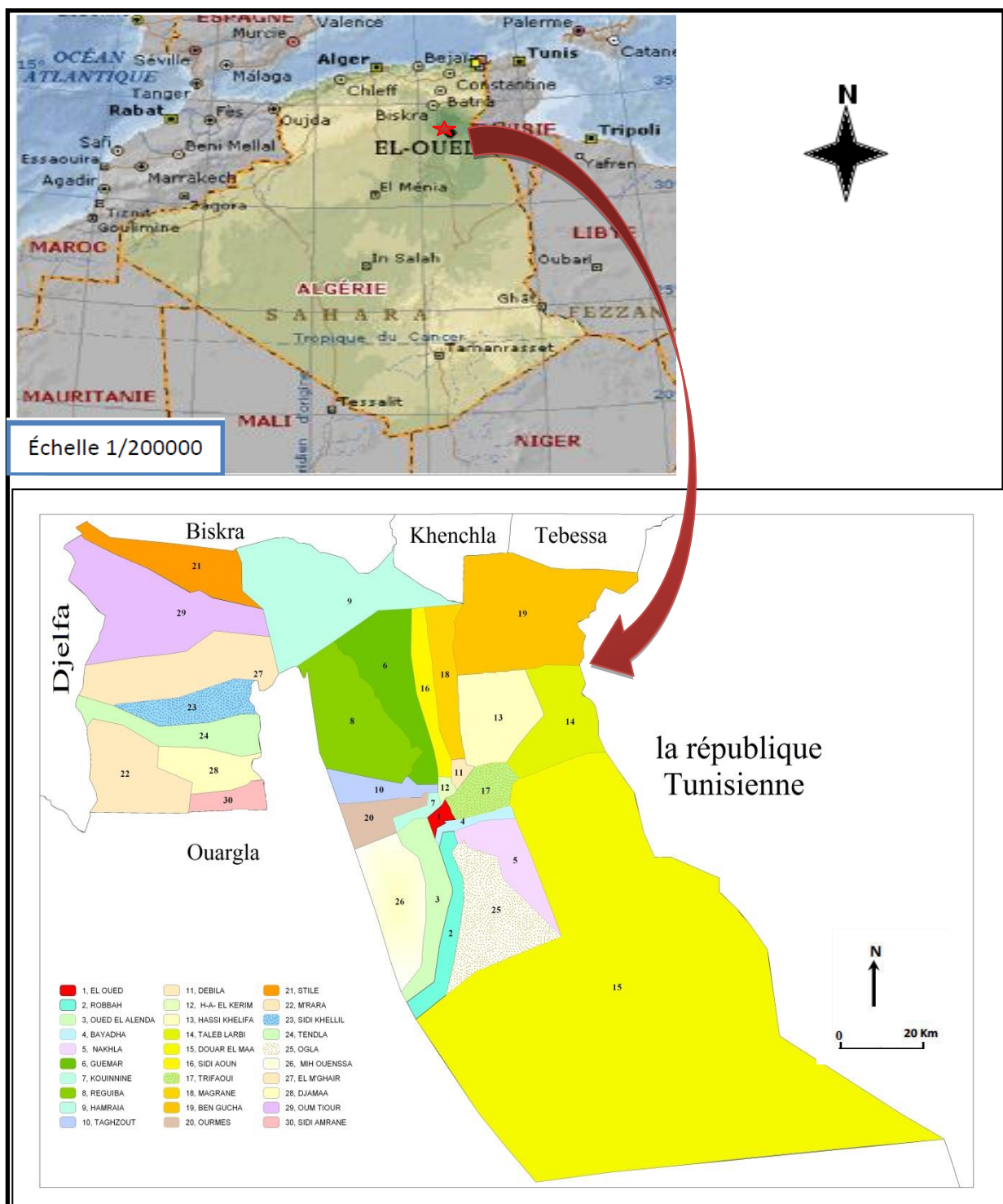


Figure 01 : Localisation de la zone d'étude (DPSB 2014)

Les Soufis ne se sont pas implantés de localiser n'importe où dans le Grand Erg, ils ont choisi le centre nord dans le secteur qui combine un couvert végétale dense et une nappe phréatique roche et abondante : les eaux souterraines s'y sont progressivement concentrées.

Plus au sud, les dunes se dénudent et deviennent vives, la nappe est faible profonde.

Plus au nord, les terrains se salent à proximité des grands Chotts Melrhir et Merouane.

Tableau 01: Répartition de la superficie et nombre d'habitant et la densité apparente par commune de la Wilaya d'El-Oued (DPSB 2014)

communes	population	superficie (km2)	densité (hab/km2)	T,A,A,M(%)
El-Oued	155525	77,2	2014,57	2,55
Kouinine	11900	116	102,59	2,96
Reguiba	47630	1965,6	24,23	2,94
Hamraia	6060	2444	2,48	2,82
Guemmar	46470	1264,4	36,75	3,04
Taghzout	15865	539,2	29,42	2,3
Ouermes	6450	442,8	14,57	1,58
Debila	28675	78	367,63	2,32
Hassani Abdelkrim	26775	58	461,64	2,89
Hassi Khalifa	36450	1112	32,78	2,43
Trifaoui	9605	474	20,26	2,69
Magrane	27625	618	44,7	2,07
Sidi Aoun	13745	480	28,64	2,06
Robbah	25290	499,2	50,66	2,5
Nakhla	14950	700	21,36	2,97
El-Ogla	7085	1352	5,24	2,66
Bayada	37320	138,8	268,88	2,22
Taleb Larbi	10510	1110	9,47	7,2
Ben Guecha	4205	2646	1,59	9,5
Douar El-Maa	7210	17813,6	0,4	4,7
Mih Ouensa	19380	1111,2	17,44	3,26
Oued El-Alanda	7480	712	10,51	1,61
El-Meghaier	56380	1532	36,8	2,2
Sidi Khalil	7225	840	8,6	1,75
Still	6065	904,8	6,7	3,52

Oum Touyour	11930	2116	5,64	1,32
Djamaa	59865	780	76,75	3,07
Sidi Amrane	23750	552	43,03	1,54
M'rara	9480	1132	8,37	3,02
Tendla	9940	978	10,16	1,38
Total Wilaya	750840	44586,8	16,84	2,58

I-2 Le relief de la région :

Les reliefs de la région sont formés essentiellement par trois formes principales :

Une zone sableuse qui se présente sous un double aspects l'Erg et le Sahara.

Une forme de plateau rocheux qui s'étend vers le Sud avec une alternance de dunes et crêtes rocheuses.

Une zone de dépression caractérisée par la présence de chotts qui plonge vers l'Est.

La région du Souf se trouve dans la partie Nord de grand Erg oriental qui se caractérise par un ensemble des dunes de sable d'origine continentale et d'âge quaternaire, ces dunes sont déposées longitudinalement dépassent parfois 60m de hauteur, entre les cordons dunaires se forment les plateaux déprimés souvent assez étendus et parfois caillouteux ou recouverts par les vieilles formations d'encroûtements gypseux du Quaternaire.

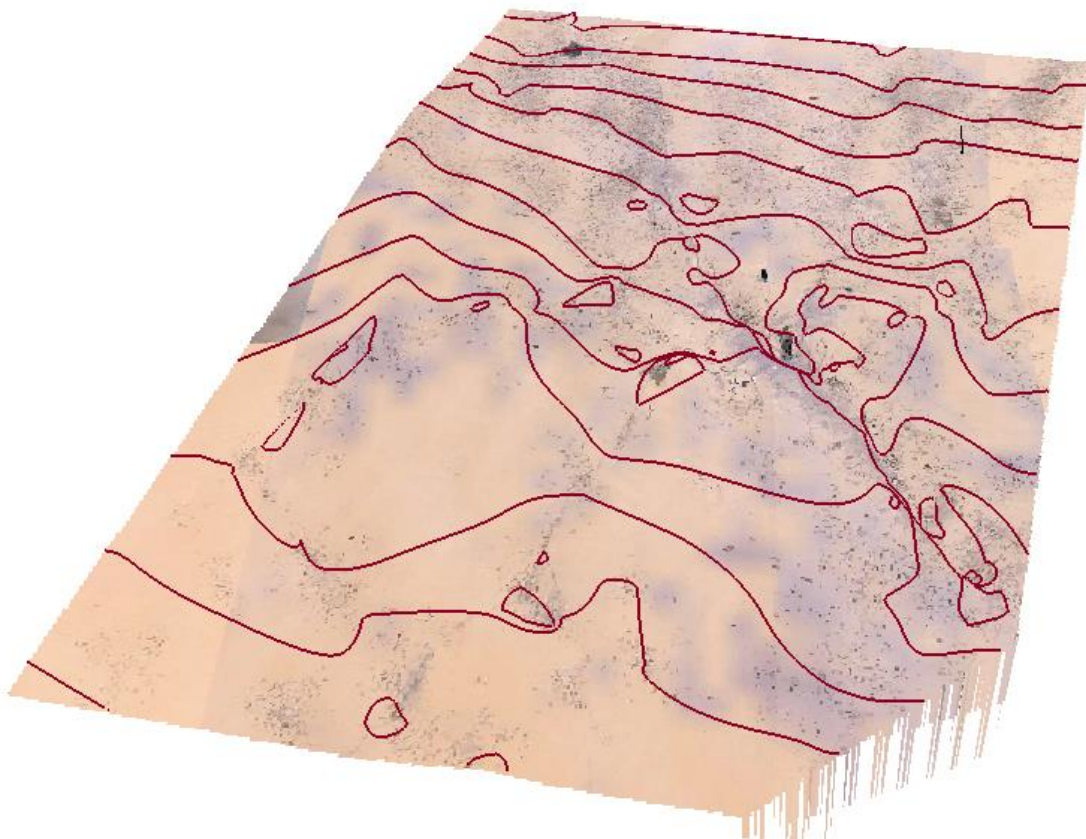


Figure 02 : carte 3D présente le relief du souf

I-3 CLIMATOLOGIE

I-3.1 Introduction

La connaissance des caractéristiques hydro-climatiques est nécessaire pour toute étude hydrogéologique car, elles influent sur les apports souterrains, donc sur l'hydrodynamique des aquifères en particulier lors de l'établissement du bilan hydrique de ces derniers. En effet, elle permet d'une part d'évaluer l'alimentation des nappes souterraines (recharge) et d'autre part d'avoir une idée sur la variation climatique caractérisant la région d'étude.

I-3.2 Climat de la région d'étude :

La région d'étude a un climat de type saharien, caractérisé par un été chaud et sec dont la température peut atteindre 54°C, et un hiver doux jusqu'à 3°C. Les principales contraintes climatiques restent la fréquence régulière des vents et leur violence, connus sous le nom de "Chehili" ou le sirocco, ainsi que des vents de sables durant le printemps. Les données relatives aux différents paramètres climatiques (précipitations, température, humidité et évaporation...etc.) ont été recueillies auprès de l'Office National de la Météorologie (ONM, 2013), enregistrées par la station météorologique de Guemmar. Pour une meilleure caractérisation du climat de la région de Souf nous avons utilisé les données de la station météorologique de Guemmar sur une période de 35 ans (1978-2013). (tableau 02) montre les résultats moyens de mesure des précipitations.

Tableau 02 : Moyennes mensuelles des différents paramètres climatiques

Station météorologique de Guemmar Oued Souf (1978-2013)

Paramètre	Temperature			Precipitations (mm)	Evaporation (mm)	Humidité (%)	Vent (m/s)
Mois	Tmin °C	Tmax °C	Tmoy °C				
Septembre	26.2	31.8	28,44	5,94	184,20	46,93	2,20
Octobre	18.6	24.8	22,27	6,35	144,80	52,72	1,69
Novembre	12.4	25.1	15,75	7,86	105,20	60,04	1,60
Décembre	8.5	14,00	11,03	7,13	87,30	66,81	1,56
janvier	8.5	13.7	10,43	12,83	80,30	64,87	1,83
Février	10.8	15.6	12,81	6,93	93,10	56,22	2,34
Mars	10.25	18.9	16,38	12,97	167,70	49,49	2,85
Avril	10.9	29.9	20,19	7,90	203,00	43,43	3,08
Mai	22,00	28.7	25,28	4,14	288,50	38,50	3,07
Juin	20.3	39.3	30,09	1,84	337,70	34,74	2,92

Juillet	27.4	35.8	32,84	0,18	361,50	31,90	2,45
Août	30.8	34.7	32,78	1,71	321,30	34,63	2,17
Moyenne	17.22	26.02	21,52	75,78 cumulé	2374,60 cumulé	48,36	2,31

I-3.2.1 Les indices climatiques :

Dans le présent paragraphe nous essayerons d'évaluer les indices climatiques et de classer la zone d'étude selon ces indices.

Il existe beaucoup de méthodes et de formules qui permettent d'évaluer les indices climatiques, nous citons celle de De Martonne, d'Émerger, de Moral, de Stewart et celle d'Ouverte. Pour notre cas nous nous contenterons de calculer l'indice d'aridité annuel de De Martonne et l'indice pluviométrique annuel de Moral.

Indice d'aridité de De Martonne :

Cet indice proposé par De Martonne en 1923 est fondé sur le régime des Précipitations et sur les températures, il est calculé par la formule suivante :

Où :

I : indice d'aridité annuel de De Martonne;

P : précipitations moyennes annuelles (mm);

T : température moyenne annuelle (°C).

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

Selon Martonne :

- Si $20 < I < 30$, le climat est tempéré.
- Si $10 < I < 20$ le climat semi-aride.
- Si $7,5 < I < 10$ le climat est septique.
- Si $5 < I < 7,5$ le climat est déserte.
- Si $I < 5$ le climat est hyper aride.

Donc :

I : 2.4070

La valeur de l'indice d'aridité calculé selon la formule de De Martonne présenté dans le tableau suivante :

Région	P (mm)	T (c °)	I	Climat
El oued	75.78	21,52463	2.407	hyper aride

Le quotient pluviométrique annuel de Moral :

Moral propose en 1964 d'utiliser la relation :

$$I_A = \frac{P}{T^2 - 10T + 200}$$

où :

IA : quotient pluviométrique de Moral;

P : précipitations moyennes annuelles (mm);

T : température moyenne annuelle (°C).

Cet indice pluviométrique utilise également la hauteur annuelle des précipitations (P en mm) et les températures moyennes annuelles (T en °C) pour délimiter l'humidité et la Sécheresse.

Avec : - IA = 1, on est à la limite de la zone aride;

IA < 1, on est dans un climat sec.

La valeur de l'indice d'aridité calcule selon la formule de Moral présenté dans le tableau suivante :

Région	P (mm)	T (c °)	IA	Climat
El oued	75.78	21,52463	1.581	Climat sec

I-3.2.2 Les précipitations :

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 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 Mars avec 12.97 mm, tant dis que le module pluviométrique interannuel est égale à 75,78 mm. (Figure 03)

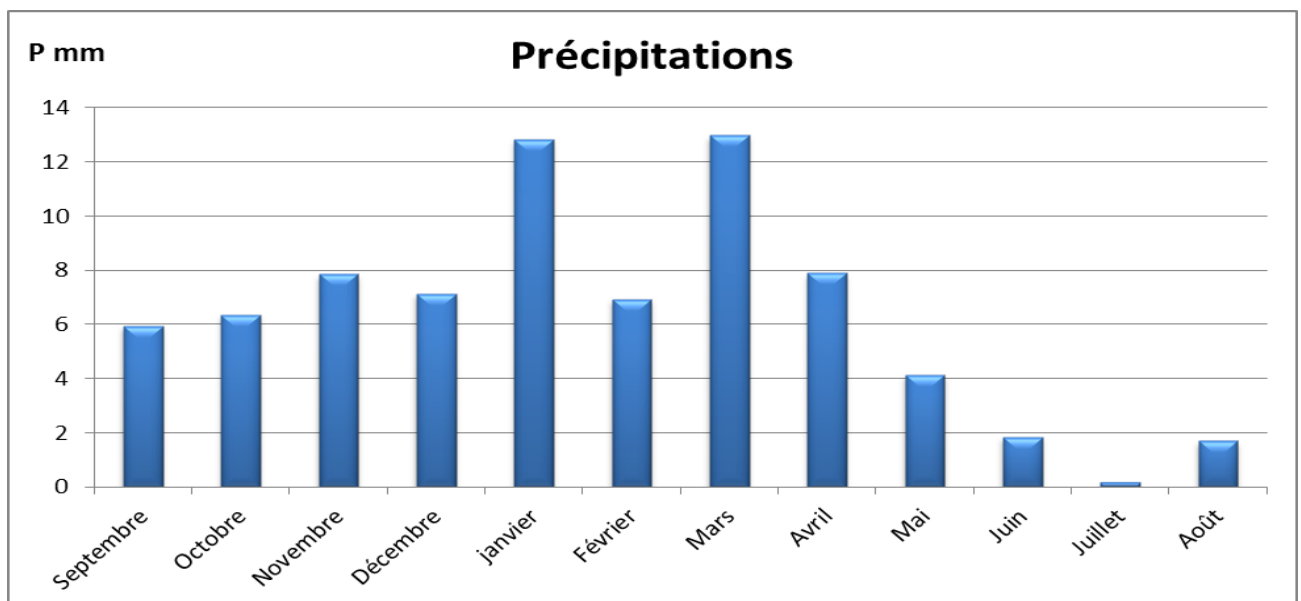


Figure 03 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (mm)

(1978 – 2013) ONM d'Oued Souf

I-3.2.3 La température:

Les températures moyennes mensuelles et annuelles régissent directement, en interaction avec les autres facteurs météorologiques (précipitations, insolation, l'hygrométrie....etc.), le phénomène d'évaporation et par la même, le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. La température est donc l'un des éléments majeurs influençant le climat d'une région.

Les données observées pendant une période de 35 ans à la station de Guemmar font ressortir que les températures moyenne enregistrées prennent en générale des valeurs élevées avec un maximum enregistré au mois de Juin (30.09 °C) et un minimum pendant le mois de Janvier et décembre (10.43°C). (Figure 04).

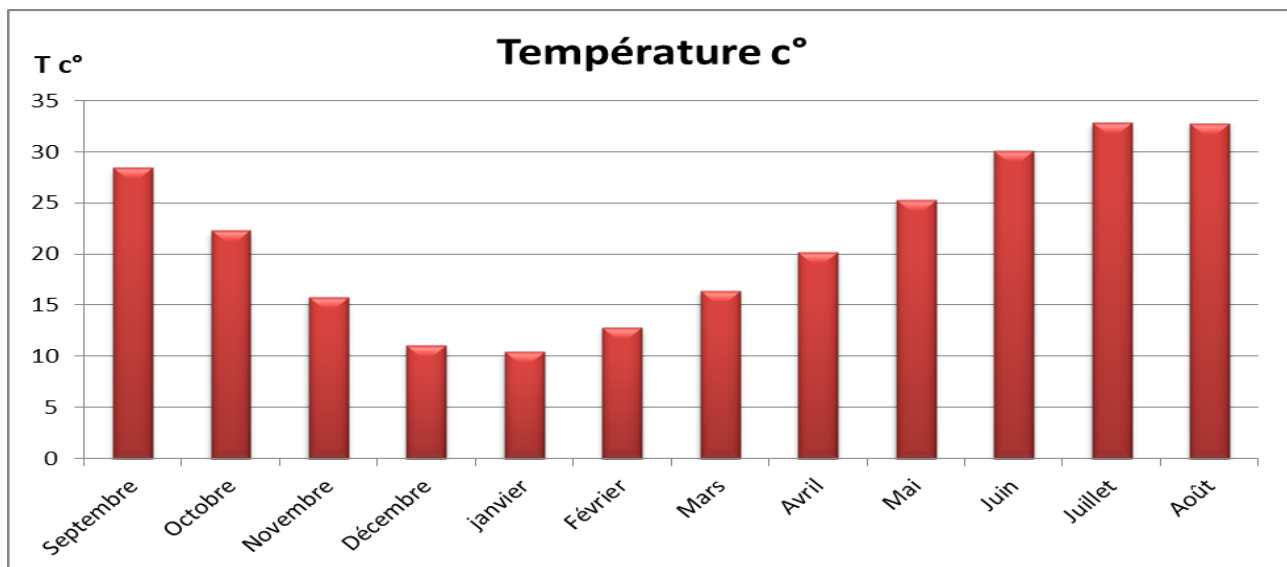


Figure 04 : Histogramme des températures moyennes mensuelles (°C)
(1978 – 2013) ONM d'Oued Souf

(1978 –

I-3.2.4 L'humidité relative de l'air:

Elle est conditionnée par la température et l'existence de l'eau, selon les données fournies par (l'ONM) on peut dire que la variation de l'humidité est homogène avec des moyennes mensuelles varient entre 31.9% et 66.81% et une moyenne annuelle de l'ordre de 48,36%.(Figure 05)

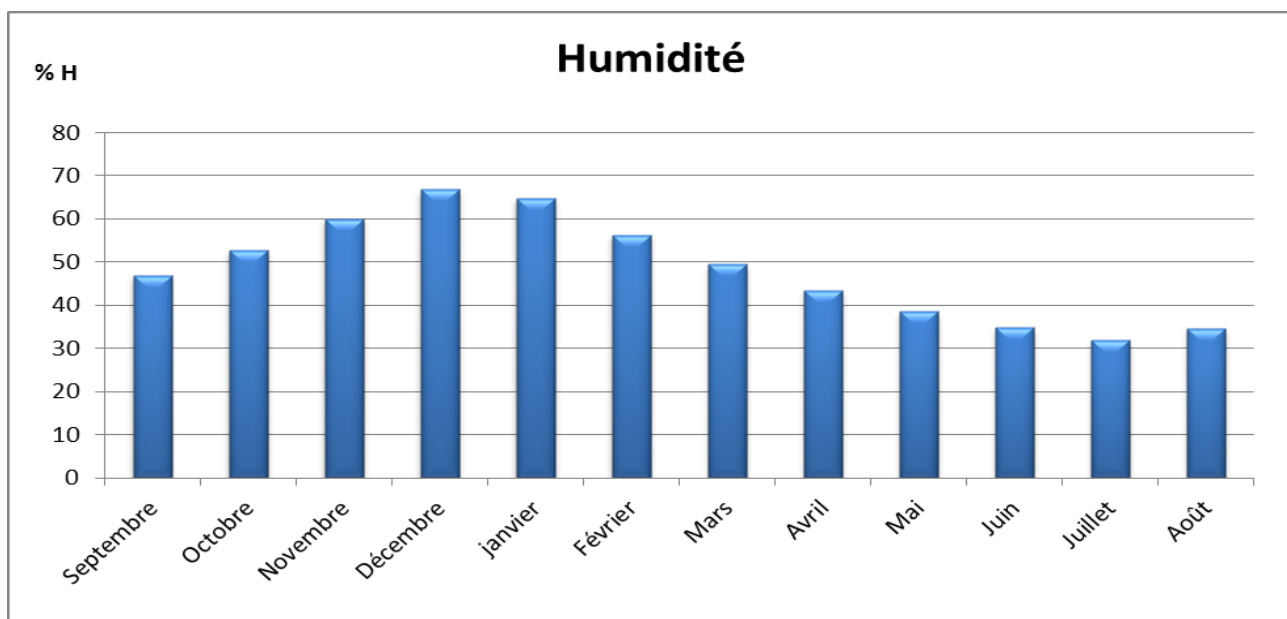


Figure 05 : Histogramme d'humidité relative moyenne mensuelle (%)
(1978-2013) ONM d'Oued Souf

(1978-

I-3.2.5 L'évaporation:

L'évaporation est très intense, surtout lorsqu'elle est renforcée par les vents chauds, elle est de l'ordre de 2374.6 mm/ans avec un maximum mensuel de 361.5 mm au mois de Juillet et un minimum de 80.3 mm en Janvier. (Figure 06).

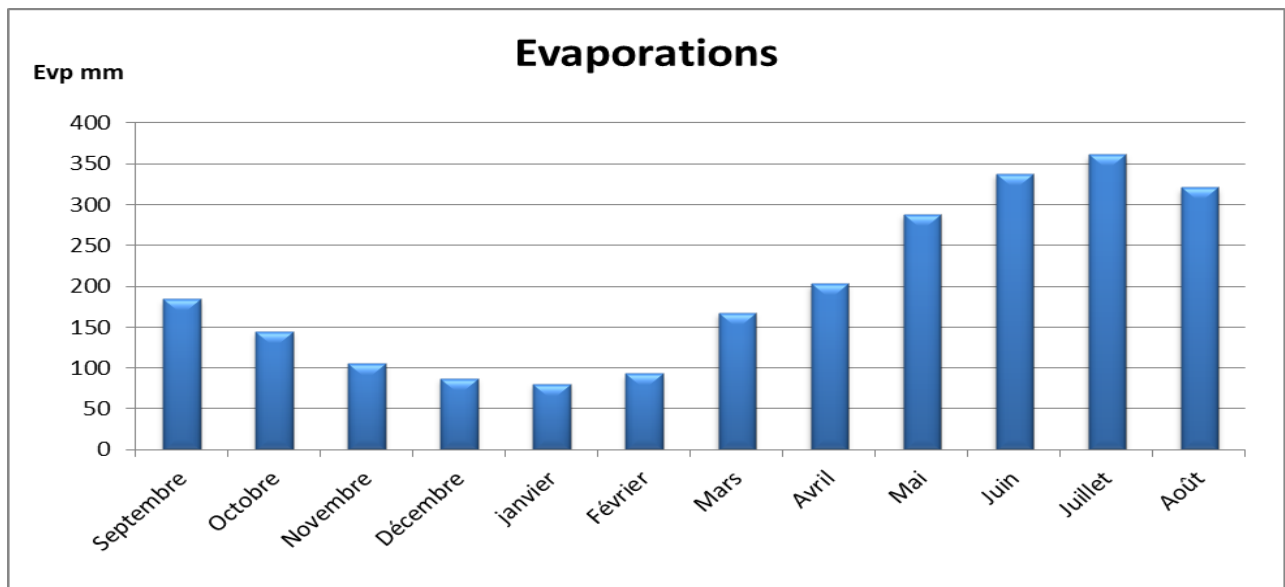


Figure 06 : Histogramme de l'évaporation moyenne mensuelle (mm)
(1978 – 2013) ONM d'Oued Souf

I-3.2.6 Les Vents:

D'après les observations notées au niveau de la station d'ONM d'El Oued les vents ont une direction Est, Nord -Est, dites BAHRI, prédominant ; puis à degrés moindre ceux de direction Ouest et Sud –Ouest caractérisée par une température élevée (SIROCCO).

Généralement c'est au printemps que les vents sont les plus forts (coïncidence avec la période de pollinisation des palmeraies) pouvant durer jusqu'à trois jours successifs avec une vitesse allant de 40 à 50 Km/h.

D'après le tableau le maximum est enregistré au mois d'Avril avec une vitesse de 3.08 m/s et le minimum en Décembre de 1.56 m/s. (Figure 07)

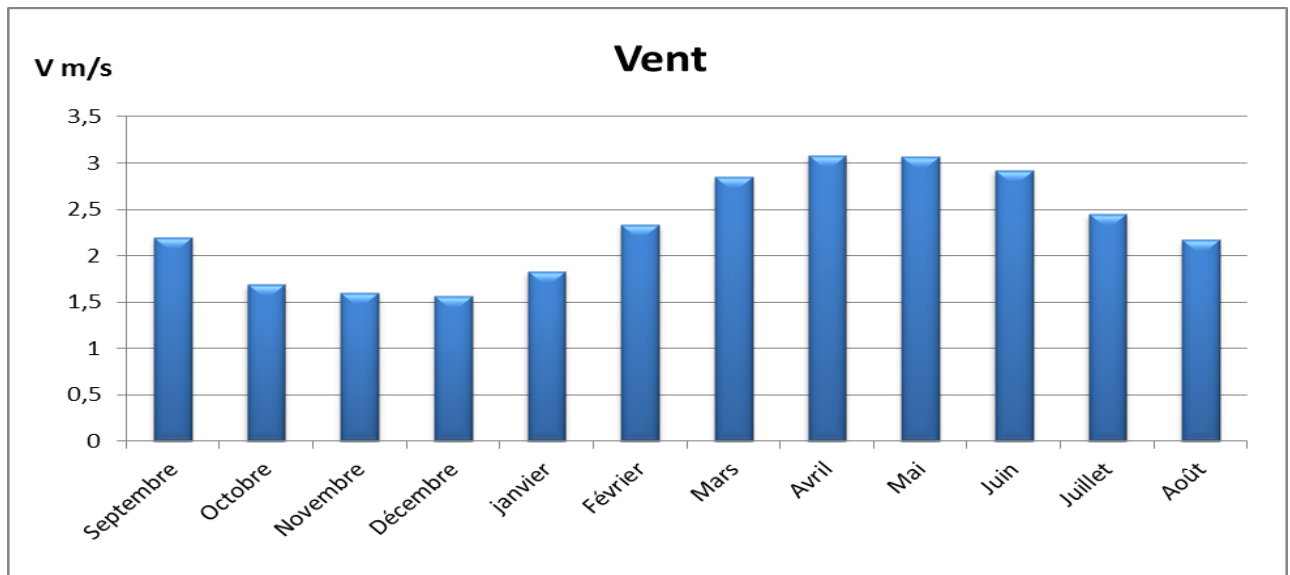


Figure 07 : *Histogramme de La vitesse du vent moyenne mensuelle (m/s)
(1978 – 2013) ONM d'Oued Souf.*

I-4 Bilan hydrique :

Le calcul du bilan est comme suit :

I-4.1 Evapotranspiration :

L'évapotranspiration est en quelque sorte l'exemple de toutes les pertes en eau (la végétation, les nappes libre) par la transformation de cette dernière en vapeur.

Donc l'évaporation résulte de deux phénomènes : l'un physique (évaporation) et l'autre

biologique (Transpiration). Elle est en fonction de plusieurs facteurs tels que : climat, humidité, température, l'insolation et aussi végétation.

I-4.2 L'évaporation potentielle (ETP) :

L'ETP représente la quantité d'eau qui serait évaporée et transpirée si les réserves en eau étaient suffisantes pour compenser les pertes maximales.

La région d'étude est une zone- aride, on a utilisé la méthode de Thornthwaite et à partir de cette dernière, on peut calculer l'évaporation potentielle.

Pour calculer l'ETP, on utilise :

- Formule de Thornthwaite :

C'est une des plus anciennes formules mises au point, elle reste très employée en hydrologie car sa résolution ne nécessite que la connaissance de la température moyenne, un facteur correctif (K) prend en compte la durée du jour ; il est lu sur des tables qui donnent sa valeur en fonction de la latitude et du mois considéré.

Elle est exprimée par la relation :

$$ETP = 16 \left(\frac{10t}{I} \right)^a K$$

- ETP : Evapotranspiration potentielle mensuelle, en cm.

- t : Température moyenne mensuelle en °C.

- K : coefficient d'ajustement mensuel

- I : Indice thermique annuel :

$$I = \sum_{i=1}^{12} i$$

- a : exposant constante :

$$a = 6.7510^{-7} I^2 + 7.7110^{-2} I + 0.492, \text{ pour SERRA : } a = 1.6 \frac{I}{100} + 0.5$$

- i : Indice thermique mensuel : $i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$

Avec : t : température moyenne mensuelle °C.

I-4.3 L'évapotranspiration réelle (ETR) :

I-4.3.1 Formule de L. TURC annuelle:

TURC a proposé une formule permettant d'évaluer directement l'ETR annuelle moyenne à partir de la hauteur annuelle de la pluie et de la température moyenne annuelle, à l'aide de la formule suivante :

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

Avec :

ETR : L'évapotranspiration réelle (en mm/an).

P : précipitation moyenne annuelle en (mm).

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

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

d' où T est la température moyenne annuelle en °C. 1785715.83-5742.6084

L'application de cette formule a permis d'obtenir les résultats qui ont été reportés dans le tableau suivants :

Paramètre station	P (mm)	T (C°)	L
Guemar	75.78	21,52463	1336.3067

Donc : $ETR = 79.76 \text{ mm}$

On remarque que la valeur théorique de l'ETR est légèrement supérieure à la lame d'eau précipitée pendant l'année ce qui, pose donc le problème de la validité de cette formule dans

I-4.3.2 Méthode de THORNTWHAITE:

Pour le calcul de l'évapotranspiration réelle, on utilise la méthode de C.W Thornthwaite, Elle est basée sur la notion de réserve d'eau facilement utilisable (RFU). On admet que la hauteur d'eau stockée dans le sol qui est reprise par l'évapotranspiration est de 100 mm au maximum. (G-De Marsily 1981).

Les résultats des calculs sont résumés dans le tableau (Tableau 03)

Le bilan hydrique établi par la méthode de Thornthwaite a montré que l'ETP atteint le maximum au mois d'Août (187.67 mm) et son minimum au mois de janvier (12.63 mm).

La constitution de la RFU ne s'effectue qu'au mois de janvier avec une valeur de 0.19 mm et le reste de l'année est épuisée.

Le bilan hydrologique pour une période de 35 ans (1978-2013) de la région de Oued Souf est déficitaire (DA= 942,976 mm) et donc avec un excédent nul.

On remarque que le bilan établi à l'échelle mensuelle ne fait pas sortir un excédent. Par contre, on peut remarquer un relèvement du niveau piézométrique après une averse suite à une infiltration des pluies efficaces. L'établissement du bilan hydrologique à l'échelle mensuelle n'est pas alors adapté à notre région, considérée comme hyper-aride.

Donc, seul un bilan hydrologique à l'échelle journalière permettrait de faire sortir un excédent et donc une infiltration efficace.

La non disponibilité de ce type des données ne permet plus de faire ce genre de traitement.

mois Param	Sep	Oct	Nov	Déc	janv	Fév	mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Tot
Tc°	28,44	22,27	15,75	11,03	10,43	12,81	16,38	20,19	25,28	30,09	32,84	32,78	-
i	13,89	9,59	5,68	3,313	3,04	4,15	6,02	8,27	11,62	15,13	17,28 1	17,23	-
k	1.03	0.98	0.89	0.88	0.9	0.87	1.03	1.08	1.18	1.18	1.2	1.14	-
P (mm)	5,94	6,35	7,86	7,13	12,83	6,93	12,97	7,9	4,14	1,84	0,18	1,71	75,78
ETP (mm)	134,3	75,48	33,37	14,41	12,63	20,51	36,6	59,91	101,7	153,3	188,4	187,6	1018,5
P-ETP	-128,3	-69,13	-25,5	-7,28	0,191	-13,5	-23,6	-52,01	-97,61	-151,5	-188,3	-185,9	-
ETR (mm)	5,94	6,35	7,86	7,13	12,63	6,93	12,97	7,9	4,14	1,84	0,18	1,71	75,588
RFU (mm)	0	0	0	0	0,19	0	0	0	0	0	0	0	-

DA (mm)	128,3	69,13	25,51	7,28	0	13,58	23,63	52,01	97,61	151,5	188,3	185,9	942,97
EX (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 03 : Bilan hydrique de la station de Guemmar d'après THORNTWAITE

I-4.4 Ruissellement :

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

I-5 Géologie régionale :

La région d'étude fait partie du bassin du Sahara septentrional de l'Algérie ou plus précisément du bassin oriental.

Le bassin oriental limité à l'Ouest par la dorsale du M'Zab au Sud par les Hamadas du Tademaït et de Tinghert se prolonge en Libye à l'Est par les plateaux du Dahar Tunisien, au Nord par les monts des Aurès et des Nememcha.

La région se présente comme une vaste cuvette ouverte vers le Nord. Ses bordures de hauteur modeste s'inclinent en pente douce vers la partie déprimée matérialisée par l'axe SSW-NNE des oueds Mya et Righ, vers le Nord au contraire dressé au-dessus d'une dépression longitudinale occupée par des Chotts et dont le fond est inférieur au niveau de la mer.

Dans sa moitié Sud, ce synclinal est traversé par un grand axe anticlinal Nord – Sud, siège de plusieurs gisement pétroliers, c'est le haut fond d'Amguid-El Biod. Cet axe n'est plus apparent dans les formations du Miopliocène se superposent à l'ancien haut fond. Dans le bassin du Sahara oriental une second zone haut a existé du Cénomanién au Miopliocène entre Hassi Messaoud et la frontière Tunisienne. Cette structure est orientée Est-Ouest elle sépare la fosse des Chotts au Nord du reste du bassin. Il semble que cet axe joue un rôle important dans l'hydrogéologie de la région.

Le long du versant Sud de l'Atlas existe une immense fosse de subsidence dans laquelle l'épaisseur maximum des sable et Argiles de l'Oligocène et du Miopliocène serait d'environ 2000 mètres, l'épaisseur maximum des séries post Albiennes serait d'environ 3000 mètres. Divers indices (conglomérats pliocènes) redressés à la vertical terrasse Quaternaire ancien à 20 mètres au-dessus du lit actuel des oueds dans la région de Negrine et ferkane. Indiquent que cette région est toujours tectoniquement active.

I-5.1Géologie locale :

Les formations des dunes éoliennes, atteignant des dizaines de mètres de hauteur, couvrent la zone d'étude. Au-dessous se trouve des formations continentales du Quaternaire représentés par une croûte constituée d'un mélange d'évaporites, sables et argiles, formant une couche plus au moins tendre.

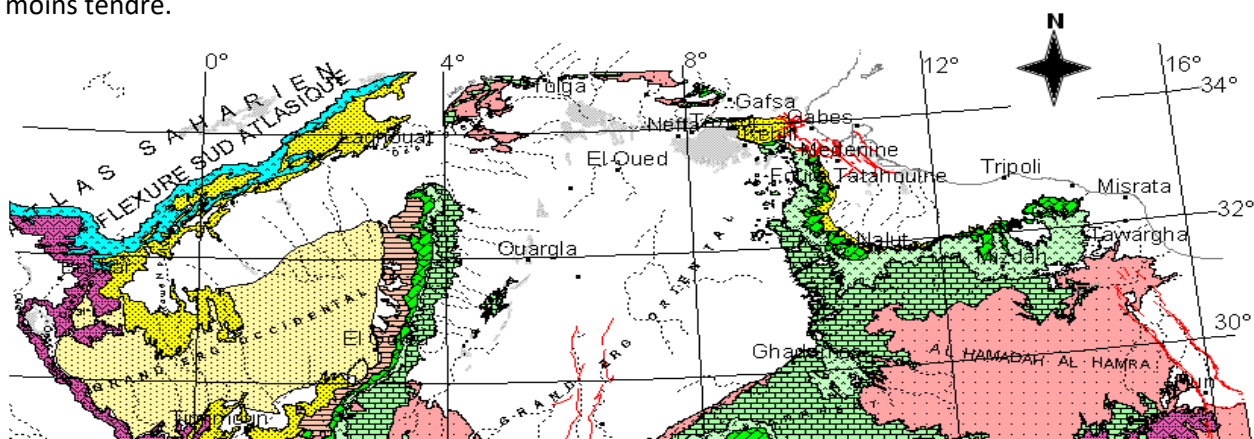


Figure 08 : Carte géologique SASS (OSS, 2003)

I-5.2 Stratigraphie :

D'après l'ANRH les logs litho stratigraphiques des différents forages réalisés sur la région ; ils ont constaté que les profondeurs des étages varient d'une région à l'autre. De bas en haut on distingue les formations suivantes :

I-5.2.1 formation de l'ère primaire (paleozoïque):

Cambrien (de 590 à 505 millions d'années). Cet étage est constitué par des Grés poreux.

Ordovicien (de 505 à 438 millions d'années). Cet étage est formé par des Grés et des Argiles.

Silurien (de 438 à 408 millions d'années). Cet étage est constitué principalement par des formations d'argiles, Grés, schiste

Dévonien (de 408 à 360 millions d'années). Il présente une lithologie de Grés, Argiles, calcaire et schiste.

Carbonifère (de 360 à 286 millions d'années). Cet étage est représenté par des anhydrites, argile calcaires, marnes, grés, sables et schiste.

Permien (de 286 à 248 millions d'années). Cet étage est constitué par des Anhydrite, argile bariolées

I-5.2.2 formation de l'ère secondaire (mésozoïque)

Trias (de 248 à 213 millions d'années). Le Trias transgressif, discordant sur les formations paléozoïques, est représenté par des dépôts argilo-gréseux et lagunaires (Sel et Anhydrite).

Jurassique (de 213 à 144 millions d'années). Le Jurassique, largement développé dans la province triasique, est composé de sédiments marins et lagunaires, débute par un niveau dolomitique caractéristique et omniprésent, appelé horizon B.

Crétacé (de 144 à 65 millions d'années). Le Crétacé est présent partout sur la Plateforme Saharienne, IL comporte des faciès grés-argileux à la base évoluant vers un pôle essentiellement carbonaté au sommet.

Crétacé inférieur

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

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

L'Albien : Cet étage est constitué par une alternance de marnes, de grès de sables et par des calcaires avec passages de silex et d'argile.

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

Le Vraconien : C'est en fait, une zone de transition entre l'Albien sableux et le Cénomanién argilo carbonaté. Cet étage est constitué principalement d'une alternance irrégulière de niveaux argilo dolomitiques. On montre aussi des argiles sableuses et de rares passées de grès à ciment calcaire, dans la zone d'étude, l'épaisseur de cet étage varie entre 250 et 300 mètres.

En raison de l'importance de ses niveaux argileux, il constitue une importante couverture de l'Albien.

Du Barrémien jusqu' a' au Vraconien on remarque la présence de formations marines traduisant la présence d'un milieu marin (grès calcaire marne) profond.

Crétacé moyen

Le Cénomanién : Tous les forages réalisés dans cette région ont montré que cet étage est constitué par une alternance de dolomies, de calcaires dolomitiques, de marnes dolomitiques, d'argiles et d'anhydrites. Cet étage joue le rôle d'un écran imperméable.

Quant aux limites de cet étage, on peut dire que la limite inférieure est caractérisée par l'apparition d'évaporites et de dolomies qui la distingue nettement, la limite supérieure caractérisée par l'apparition d'évaporites et de calcaires correspondants à la limite inférieure du Turonien.

Le Turonien : Cet étage représente la base du complexe terminale. Il est généralement carbonaté et constitué par des calcaires dolomitiques et des dolomies micro cristallines compactes avec des intercalations de calcaires Turoniens et parfois de marnes.

Les forages de la région montrent clairement que son épaisseur varie d'un endroit à un autre, elle dépasse parfois 650 mètres.

Crétacé supérieur

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

Sénonien lagunaire : La limite de ce sous étage est bien distinguée. Le Sénonien lagunaire est caractérisé par un faciès évaporétique avec des argiles où ces derniers sont aisément différenciés de ceux du Turonien.

Il est constitué également d'anhydrites, de calcaires dolomitiques d'argiles et surtout les bancs de sel massif dont l'épaisseur avoisine 150 mètres. La limite supérieure de cette formation coïncide avec le toit de la dernière intercalation anhydride.

Le Sénonien carbonaté : Ce second sous étage est constitué par des dolomies, des calcaires dolomitiques avec des intercalations marno-argileuses, et en grande partie par des calcaires fissurés. Son épaisseur dépasse parfois les 300 mètres.

Il faut mentionner par ailleurs l'existence d'une continuité lithologique entre le Sénonien carbonaté et l'Éocène inférieur, qui présentent des calcaires de même nature avec présence de nummulites.

I-5.2.3 formations de cénozoïque

A . formations de l'ère tertiaire (de 65 à 2 millions d'années)

✓ L'Éocène

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 (Eocène inférieur), sa partie supérieure est marquée par des argiles de type lagunaire (Eocène moyen). L'épaisseur de cet horizon varie entre 150 et 200 mètres.

✓ Le Mio-pliocène

La plupart des coupes de sondages captant cet horizon, montrent que le Mio-pliocène est constitué par un empilement de niveaux alternativement sableux, sablo argileux avec des intercalations gypseuses et des passées de grès.

Selon Bel et Demargne cet horizon se subdivise 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 celle du Pontien sableux.

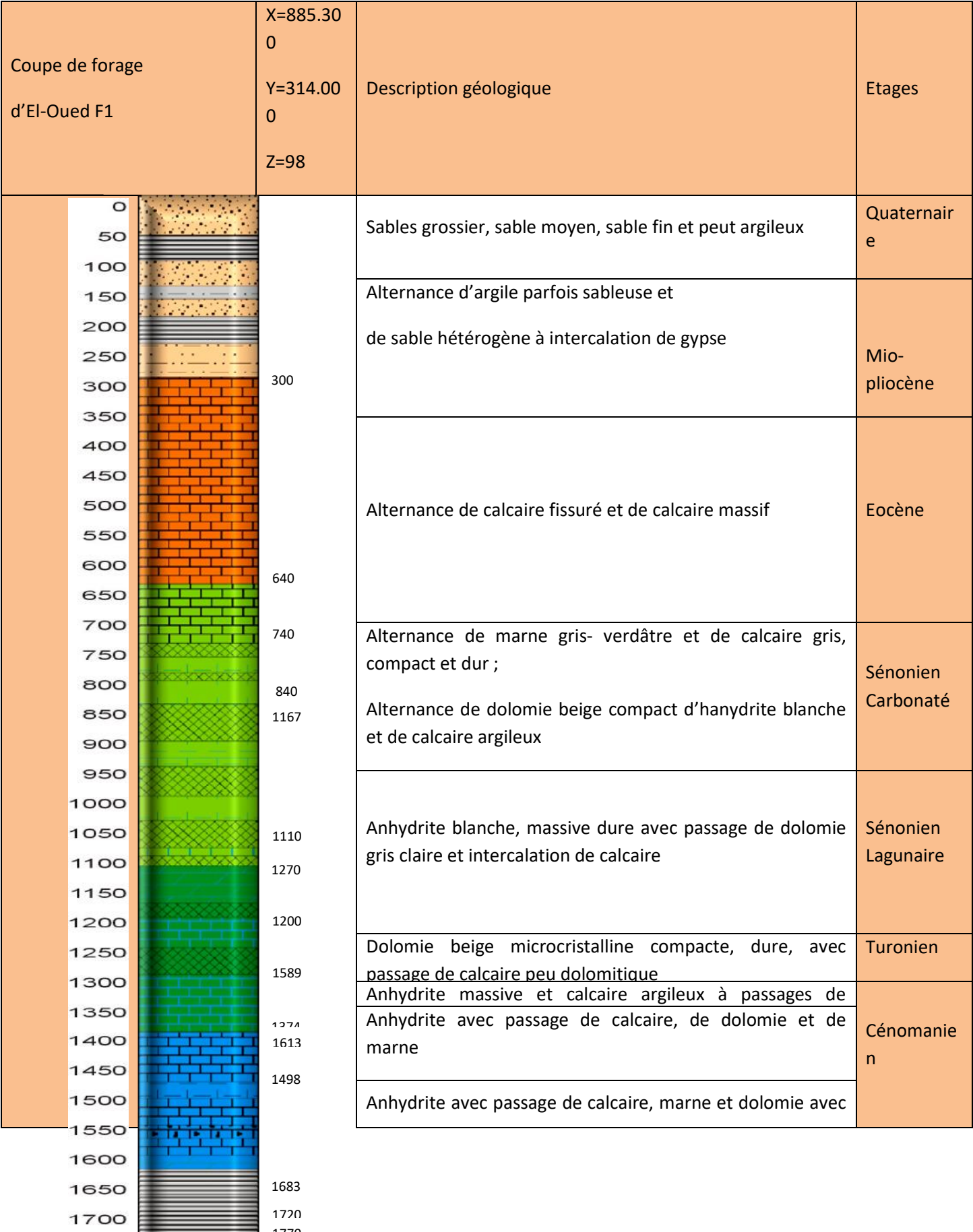
-Niveau grès-sableux : C'est le plus intéressant sur le plan hydrogéologique, son épaisseur reste presque régulière sur toute l'étendue du Sahara oriental. A sa base, on trouve parfois des graviers alors que le sommet se charge progressivement d'argiles. C'est à ce niveau que se rattache le principal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

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

-Niveau sableux : Ce niveau constitue le deuxième horizon aquifère, du point de vue hydrogéologique, ces niveaux sableux présentent un grand intérêt car ils correspondent pour ainsi dire à la nappe des sables du Complexe Terminal.

B -formations de l'ère quaternaire (de 2 millions d'années à nos jours).

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



		intercalation d'argile	
		Calcaire gris clair argileux à passage de dolomie compact, parfois microcristalline	Vraconien
		Marne grise à passage d'argile gris-vert, Intercalation de silex, à faible passage de grés calcaire	Albien
		Dolomie, calcaire, marne	Aptien
		Argile brune rouge à intercalations de grés	Barrémien
		Grés, dolomie, calcaire et sable, intercalation de silex	

Figure 09 : Log de forage F1 de l'Albien Chouhada (ANRH 1993).

I-6 Présentation des nappes aquifères de la région d'El-Oued :

La structure hydrogéologique du système aquifère de la région d'Oued Souf pourrait être schématisée de la façon suivante :

Une nappe libre exploitée par un grand nombre de puits composée essentiellement de sables.

Deux nappes profondes reconnues par les forages profonds (le continental intercalaire et le complexe terminal)

I-6.1 Nappe Phréatique :

La nappe phréatique présente dans toute l'Oasis du Souf correspond essentiellement à la partie supérieure des formations Continentales déposées à la fin du Quaternaire, elle peut être rencontrée à des profondeurs variant de 1 et 83 mètres.

Vu son importance, cette nappe représentait la source principale d'irrigation d'importantes palmeraies, elle est surtout exploitée par des puits traditionnels qui selon notre enquête sont en nombre de 29000 puits.

La profondeur du toit de cette nappe, d'après les coupes géologiques, dépasse parfois 20 mètres. La circulation des eaux dans cette nappe est relativement lente sur toute la région du Souf particulièrement dans les zones caractérisées par l'existence de lentilles argileuses qui influent sur la perméabilité des sables. Excepté la région des Chotts, la nappe phréatique est présente sur toute la zone d'étude.

I-6.2 Nappe du Complexe Terminal (C.T):

Ce terme (C.T) regroupe sous une même dénomination un ensemble des nappes aquifères qui sont situées dans des formations géologiques différentes. D'après (D.H.W, 2005), nous rappelons l'existence de 3 nappes dont les deux premières correspondent respectivement aux nappes des sables d'âge Mio-pliocène et Pontien, alors que la dernière correspond à la nappe des calcaires d'âge Sénonien à Eocène Inférieur.

I-6-2-1 La Nappe des Sables :

Au sein de ces niveaux sableux constituent deux nappes captives :

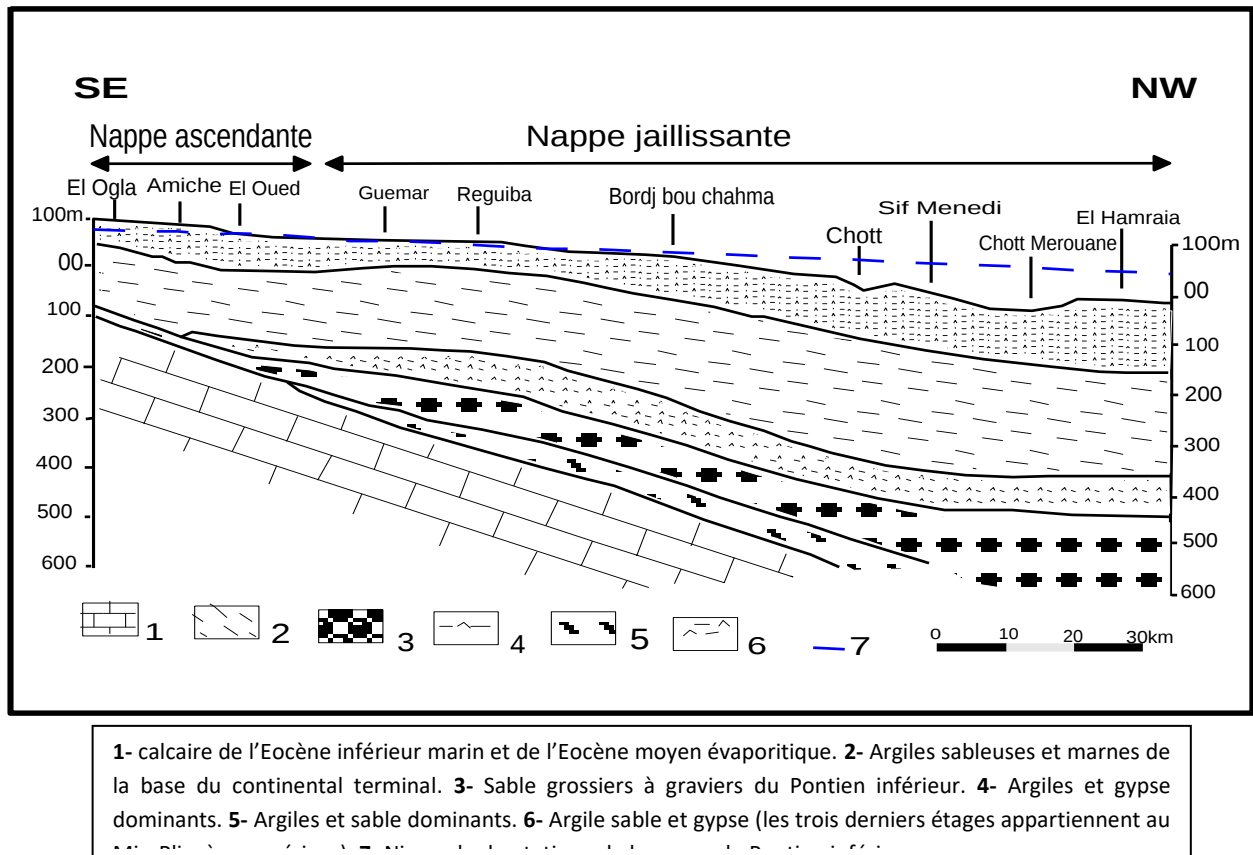


Figure 10 : Coupe hydrogéologique du Souf

- La première correspond à la formation supérieure du Complexe Terminal appelée communément réservoir du "Sub-Souf", dont les sables grossiers affleurent progressivement vers le Nord du Sahara en direction de la fosse Sud au Rustine. Dans la région d'étude la profondeur moyenne de cette nappe peut atteindre 280 mètres.

- Une deuxième nappe des sables d'âge Pontien. Au-dessus des bancs supérieurs de la nappe des calcaires et en contact avec les marnes de l'Eocène inférieurs et des graviers siliceux constituant donc une deuxième nappe captive en continuité avec la nappe du Pontien au Sud Tunisien, la profondeur de cette nappe varie entre 400 et 450 mètres, quant à l'épaisseur utile de cette nappe elle est de 50 mètres environ.

L'écoulement des eaux dans ces deux dernières nappes se fait du Sud-ouest vers le Nord-est, autrement dit vers la zone des Chotts (Melghir et Merouane).

Dans les zones à fortes exploitations telle que la ville d'EL Oued, des prélèvements d'eau se fait par pompage. Par contre dans les régions où l'exploitation est moindre à Taleb Larbi et Douar EL Maa, la nappe est exploitée à ce jour par artésianisme : C'est le cas de la nappe Pontienne.

I-6.2.2 La Nappe des Calcaires :

Le Complexe Terminal du Souf possède une lithologie plus complexe. Les forages captant cette nappe nous montrent l'existence de deux niveaux durs servants de repère pour la classification des eaux souterraines. Du Sud au Nord nous observons l'existence d'un premier niveau calcaire mieux

individualisé, parfois il est purement calcaire, quelque fois il est formé par des calcaires gypseux et correspond ainsi au niveau inférieur.

Le niveau supérieur, constitué par des calcaires siliceux est considéré comme une zone de transition entre la nappe des calcaires et celle des sables. Dans l'ensemble ces deux niveaux sont séparés par des formations marneuses et sableuses en passant par des argiles (rouge).

Les forages profonds captant cette nappe, nous montrent que sa profondeur varie entre 500 et 800 mètres, mais il faut mentionner également que cette dernière n'est pratiquement pas exploitée dans la région du Souf.

I-6.3 Nappe du Continental Intercalaire (C.I)

Est caractérisé par des sables gréseux argileux, capté par trois forages profonds, d'une profondeur de (1800 à 2100m), donnant un débit total de 680 l/s dont deux forages pour l'A.E.P de la ville d'El Oued (430 l/s) et un forage pour l'irrigation a SAHAN BERRY d'un débit de 250 l/s (FERME), l'épaisseur du réservoir est importante varie de 200 à 400m, sa température atteint 60°C, la pression en tête de puits ferme est de 25 à 27 Bars.

Le réservoir aquifère du Continental Intercalaire est considérable du à son extension (surplus de 600000 Km²) et à son épaisseur moyenne de plusieurs centaines de mètres. L'intérêt majeur de ce système aquifère et qu'il est constitué par de grandes quantités d'eau, qui ont été stockées au cours des périodes pluvieuses du quaternaire et peuvent être maintenant exploitées, il reçoit encore de nos jours une alimentation naturelle par les eaux météoriques et présente donc un fonctionnement hydraulique caractérisée par une alimentation, un écoulement et une série d'exutoires.

L'épaisseur totale du réservoir dépasse 250 mètres dans les plus grands partis du Sahara Septentrional. Elle atteint 1000 mètres au Nord-Ouest. Le C.I affleure dans la partie Sud et Sud-Ouest par contre il plonge vers le Nord-Est (Figure 11).

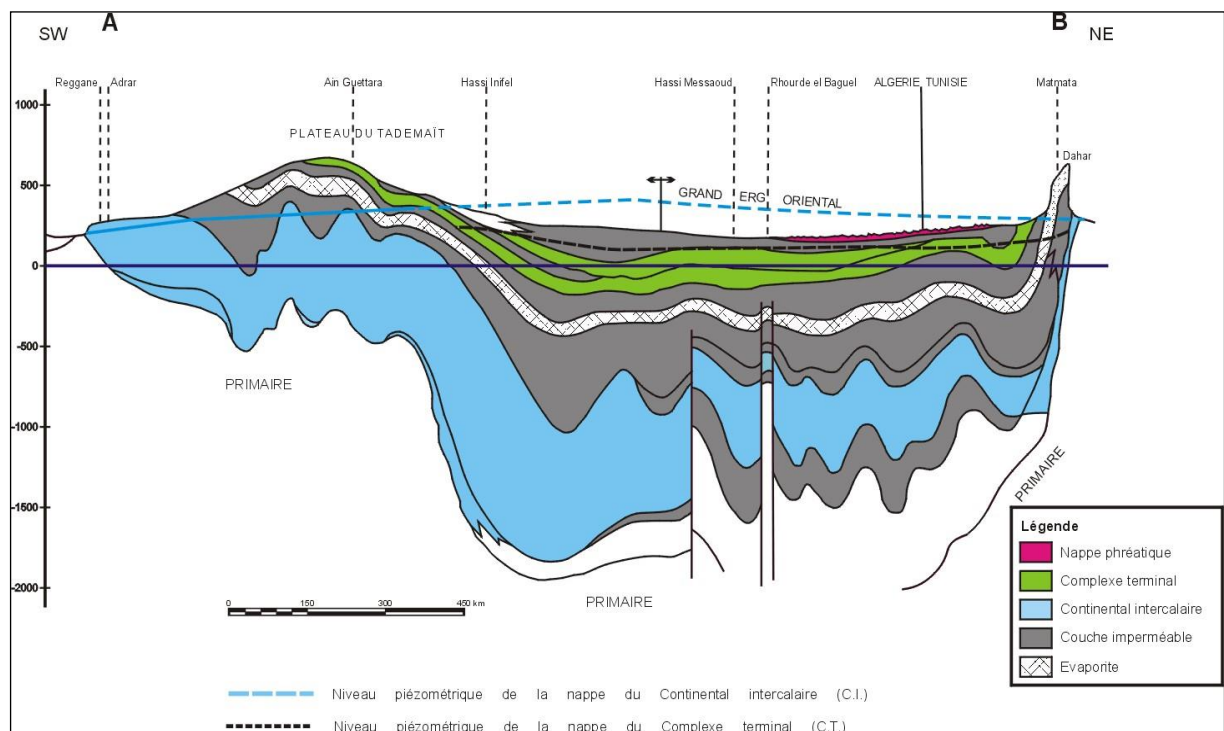


Figure 11: Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO 1972)

CONCLUSION

La zone d'étude fait partie du bassin sédimentaire du Sahara septentrional dont l'extension couvre une superficie de 44 586 km². Ce bassin, vaste zone d'épandage, constitue une importante dépression topographique, laquelle est sous-tendue par une cuvette structurale en forme de synclinal dissymétrique. La série sédimentaire est marquée, au centre de la fosse, par d'importants accidents tectoniques sub-verticaux.

Le climat de la ville de Oued-Souf 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 n'est pas seulement due à la rareté de la pluie, mais aussi à la forte évaporation qui constitue l'un des facteurs climatiques majeurs actuels qui règnent dans la région.

Chapitre II

*histoire de la remonté
des eaux de la nappe
phréatique*

L'Oasis saharienne classique fonctionne comme un agro-système, reposant sur la trilogie eau/habitat/palmeraie.

Et 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).

Et lorsqu'on parle de l'eau de la nappe phréatique, il faut expliquer le système avec lequel les Soufis exploitent de l'eau dans l'oasis, on autrement dit le "Ghout".

II-1 Le systèmes Agricole de souafa :

II-1.1 Houds ou Ghouts :

Creuser des puits dans le sable n'est pas impossible, les nomades le font de loin en loin pour l'eau domestique. Mais entretenir de tels puits dans un matériau qui s'éboule est difficile ; élever l'eau de 10 m jusqu'à la surface du sol est astreignant à une époque d'énergie manuelle ; et le tout ne permettrait d'irriguer qu'un mouchoir de poche (2 ou 3 arbres). Ne pouvant faire venir l'eau à eux, les Soufis ont imaginé d'aller à elle. C'est-à-dire d'excaver suffisamment le sable à l'aide de REMMAL pour que l'épaisseur restant ne soit plus que de l'ordre de 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), dans laquelle on n'apporte pas d'eau d'irrigation, mais le palmier va chercher lui-même ce dont il a besoin (Cote Marc, 2006).

Un rapport technique de 1953 estimait que lorsque la profondeur d'excavation dépassant 7 m de profondeur, et la hauteur de talus 15 m, la création d'un nouveau ghout devenait prohibitive pour l'exploitation (Labo BTP, 1953).

Les palmiers plantés au fond, leur sommet ne dépassant pas les crêtes de sable. Le fond planté, et les crêtes de sable circulaires qui ceinturent ce fond (figure 12), sont étroitement complémentaires. C'est cela que l'on appelle un "Ghout". C'est l'unité de base de l'aménagement dans le Souf.

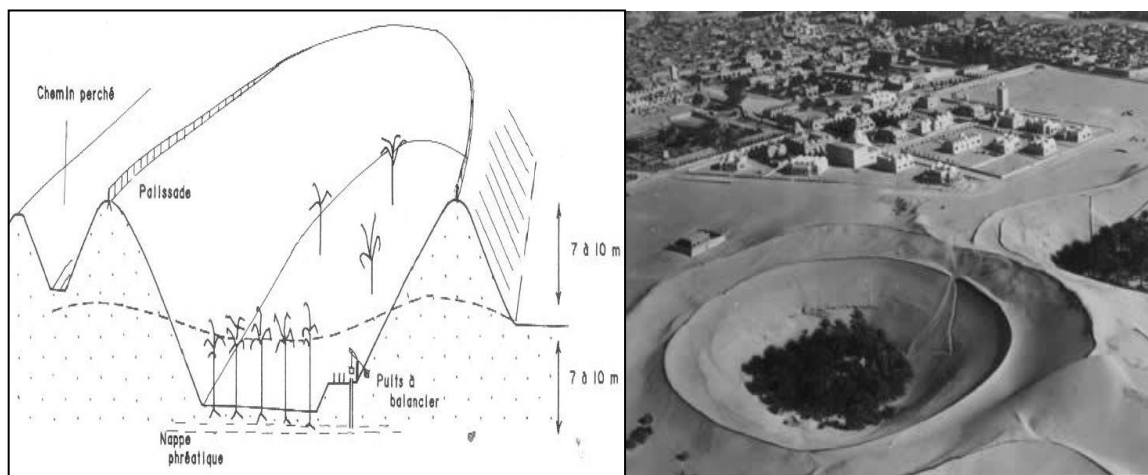


Figure 12 : Système du ghout dans la région du Souf (A.miloudi ;2008)

Quant à l'origine de cette technique originale, on connaît pour d'autres techniques hydrauliques leur origine et leur cheminement. Par exemple, on sait que la technique de la foggara est originaire de l'Iran (qanât), et qu'elle a été propagée progressivement d'est en Ouest à travers le Sahara jusque dans le Touat algérien (Cote Marc, 2006).

Par contre, on ne sait rien de l'histoire du ghout

A partir d'une forme élémentaire de ce type, l'accroissement de la population dut amener la densification des palmiers, et donc un approfondissement des excavations, de façon à rejoindre la

nappe. C'est l'origine de la technique de la "descente du palmier", bien connue dans le Souf jusqu'à nos jours. A l'extrême nord du Souf, dans le secteur de Menchia, où, il y a 20 ans, la nappe était à 1 m du sol, les palmiers plantés de façon élémentaire. La descente de 1,5 m a contraint le soufi creuser des sortes de vasques, afin de suivre l'eau dans sa descente. Par la suite, au cours des siècles, les nouvelles mises en valeur se sont traduites par des approfondissements successifs, toute société humaine recherchant toujours son équilibre, par tâtonnements successifs.

Ce qui fait l'originalité du Souf, c'est donc non pas la technique elle-même puisqu'elle existe ailleurs – mais son caractère systématique, élaboré, poussé dans ses dimensions extrêmes. Nulle part ailleurs au Sahara, ni dans le monde, l'on ne trouve un paysage de palmeraie en milieu dunaire aussi profondément aménagé par les hommes (Munier P, 1981).

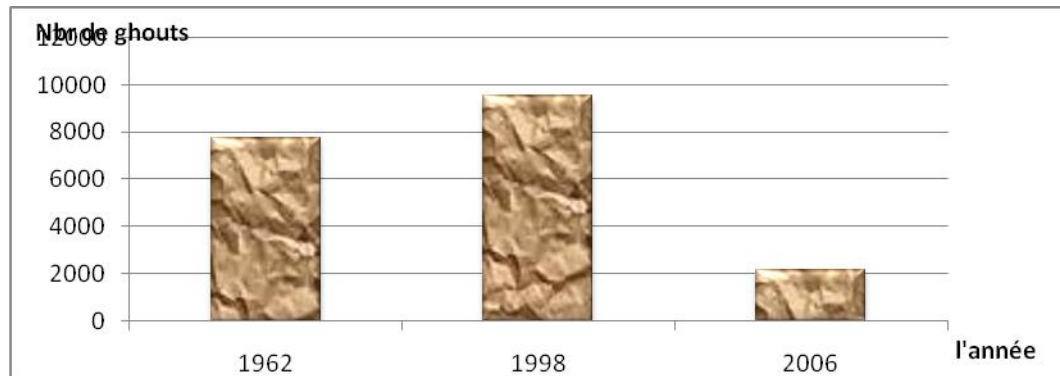


Figure13 :Recensement de nombre de ghouts de la région du souf.(DSA.2014)

Cote Marc (2006), a estimé le volume de matériaux excavés par les ghout, d'environ 186 millions de m3.

A titre de comparaison, on peut rappeler que les 3 pyramides de Guizèh au Caire représentent ensemble un volume de 5 millions de m3, et que le canal de Suez a représenté l'extraction de 83 millions de m3 de déblais (Reclus E., 1885).

II-1.2 les palmiers :

La culture principale du Sahara est le palmier dattier (phœnix- dactylifera) , et l'Oasis de souf est avant tout une vaste palmeraie . l' extension du nombre des palmiers étant fonction des possibilités d' irrigation.

L' étendue des surfaces plantées resta stationnaire jusqu'en 1955 , date à partir de laquelle le souf commença à profiter des nombreux forages qui permirent la plantation d'une certaine de milliers de palmiers supplémentaires.

Le palmier est l'arbre providentiel des régions désertiques . introduit du Moyen-Orient par les invasions Arabes .la poésie en a fait un être animé créé par dieu .le sixième jour. en même temps que l'homme.

Il fournit l'essentiel de la nourriture de la population et la plus grosse partie des revenus de la région.

L'existence d'une nappe d'eau à faible profondeur et la plantation des arbres au centre de vastes entonnoirs suppriment ici le problème de l'irrigation (A.R.Voisin , 2004)

La colonisation a créé en 1958, un périmètre de 188 hectares à Hobba (32 Km d'El Oued), traités en périmètre planifié, organisés en lots géométriques, et arrosés par irrigation de surface. Cette création finissante en 1959, avait pour objectif de donner des exploitations à des paysans sans terre (figure 14).

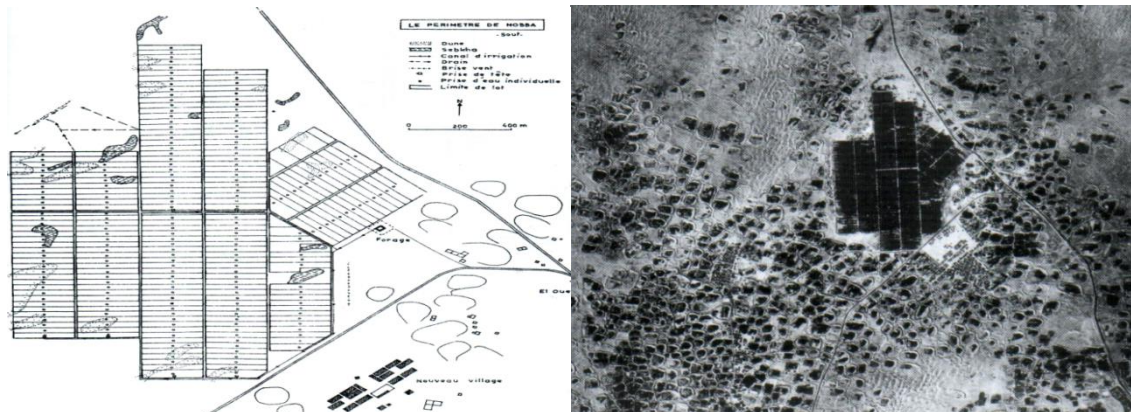


Figure 14 : *Le périmètre de Hobba vue d'avion avec le plan au sol, crée en 1958 (DSA d'El Oued, 2006).*

II-1.3 Les jardins :

Les culture potagères ne sont possibles dans la majorité des cas, que dans l'ambiance de microclimat créée par les palmeraies. Les productions sous-jacentes appoints alimentaires nécessaires aux oasisiens, n'ont qu'un rôle secondaire dans l'économie du pays des dattiers.

Le climat et le sol contraignent la culture, l'absence de pluies régulières, la sécheresse, les vents de sable qui recouvrent les jeunes plants, tout ceci n'est pas fait pour favoriser les cultures. Cependant, le souf arrive à produire des légumes.

Dans un coin de la palmeraie, entouré par un haie de djérids, un petit jardin de 50 m² à 80 m²

Dénommé (dj'nane) au souf, et installé autour dans puits. Si on n'a pas à irriguer les palmeraies, on est bien obligé d'arroser les carrés de légumes. Toute l'irrigation est faite à la main grâce aux moyennes

1 m x 0.5 m qui sont arrosées à l'aide de rigoles de plâtre (séguia) .

Pour fabriquer ces (séguia), on commence par faire une rigole de sable qui l'on recouvre ensuite d'une couche de plâtre. (A.R.Voisin , 2004)

II-1.4 le tabac (DOUKHAN)

Les premières plantations de tabac sont apparues dès la fin du XVII^{ème} siècle dans la région de Guémar. On faisait venir les semences des environs de Béja en Tunisie, et la récolte suffisante à la consommation locale, au milieu du XIX^{ème} siècle, le tabac était déjà l'objet d'une culture d'exportation destinée à l'Algérie du nord. (A.R.Voisin , 2004)

II-2 Historique de la remontée de la nappe phréatique:

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 des 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). Et à cause de ces techniques, le Soufi a réussi à augmenter le nombre de palmiers (figure 16), mais toujours il y a eu une réaction de la nature par le rabattement de la nappe phréatique à cause du débit extrait

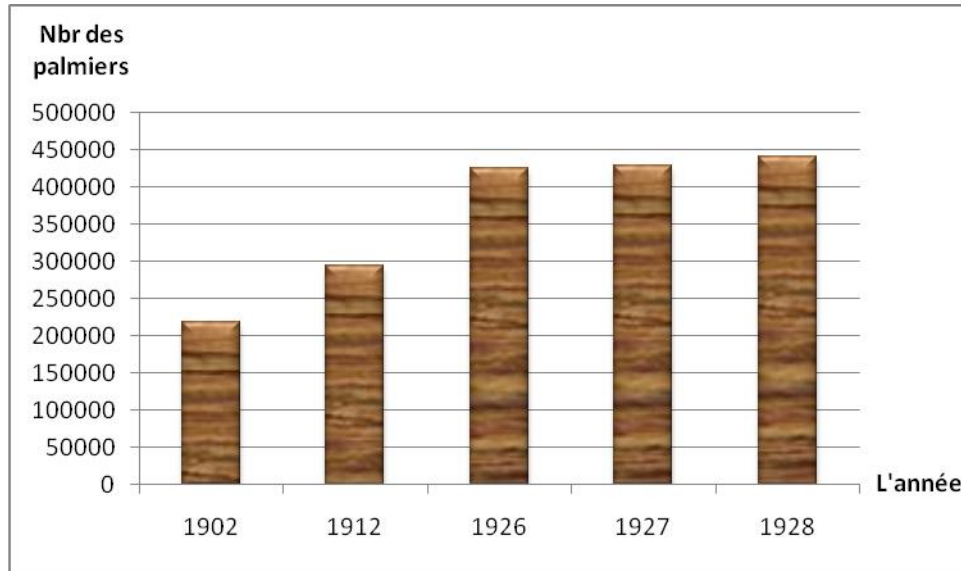


Figure 16 : Les nombres des palmiers du Souf au début de XXe siècle

(A.R.Voisin , 2004)

Claude Bataillon (1955) a savamment étudié le problème de la baisse de l'eau dans les régions salées du Souf. Il a conclu que cette baisse est due, d'une part, au vieillissement du sol et à l'augmentation de pompage par les racines (augmentation du nombre de palmeraies), et d'autre part, à la formation de concrétion gypseuse.

Il est certain que cette baisse d'eau dont souffrent les vieilles palmeraies, notamment sur les bandes de terrains gypseux, se manifeste d'amont en aval, c'est-à-dire du Sud au Nord (figure 17). Elle devient de plus en plus catastrophique dans certaines rues de palmeraies, sur la nappe variant de 1,5 m à 7 mètres et parfois plus ; ce qui conduit à l'affaiblissement, sinon à l'assèchement total, des palmiers souffrant de la soif. Les roches souterraines du Souf sont encore en voie de croissance caractéristique qu'on reconnaît unanimement au développement de la rose de sable restant sous terre. C'est que dans la plupart des endroits où la voûte de la nappe phréatique – la seule touchée – a considérablement baissé, on constate la présence soit de forte formation de Lous, comme à Hassi Khalifa-Ghamra-Djedaida- soit l'apparition d'épaisses couches de Tafza jusque-là insoupçonnées (Najah A, 1970)

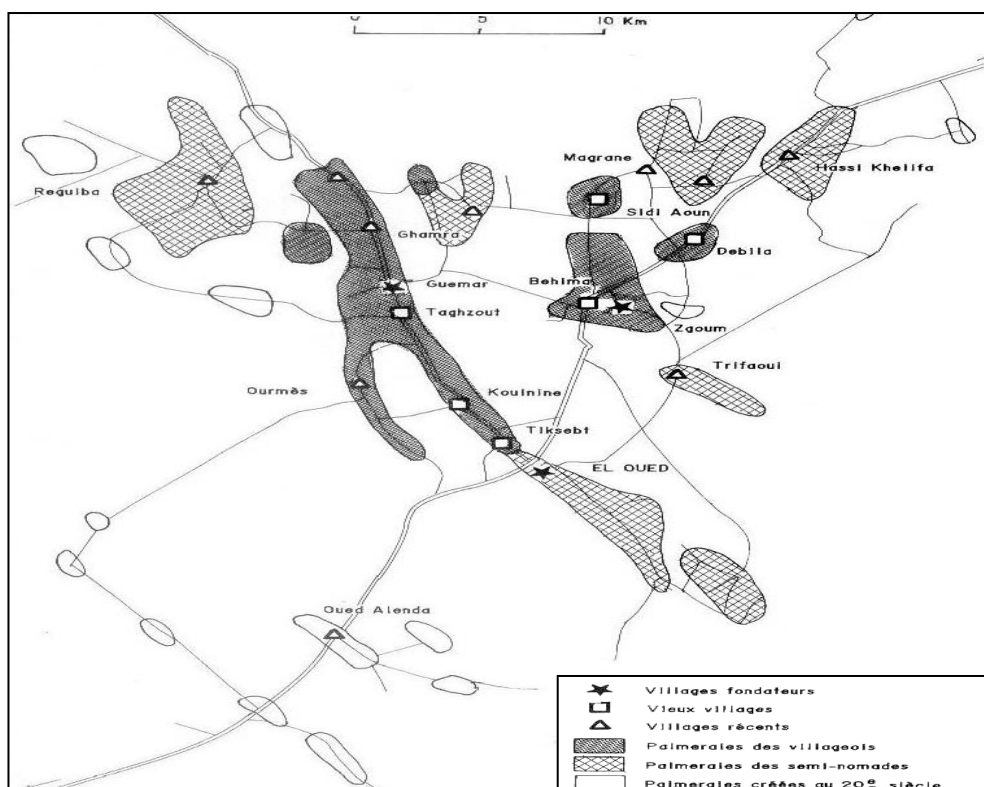


Figure 17 :Les Oasis du Souf aux XIXe et XXe siècles (Bataillon Cl, 1955)

Le Souf est avant tout un ensemble de palmeraies poussant dans de profonds cratères de sable. Les palmeraies, suivant le trajet de l'Oued souterrain dont la forme affecte celle grossièrement d'un X. La branche Nord-Ouest correspond à la direction de Biskra, la branche Nord-est à la route de Tozeur (Tunisie), celle du Sud-est à la piste de Ghardaïa, et celle du Sud-ouest à la route de Touggourt. El Oued se trouve à la bifurcation de ces quatre routes (A.R, Voisin 1970).

II.2.1.2- l'équilibre critique du niveau de la nappe:

A partir de la fin du XIXe siècle, le Souf a été impliqué dans le phénomène de la colonisation. Même si ce territoire marginal et frontalier était considéré comme secondaire, la colonisation y amena quelques améliorations économiques et sociales, dont la traduction fut, comme dans le reste du pays, a croissance démographique. Le Souf comptait 21 000 habitants en 1881 (Escart, 1891). En 1900, il y avait 32 700 habitants (A.R, Voisin 1970), et 92 000 en 1948 (Cote Marc, 2006).

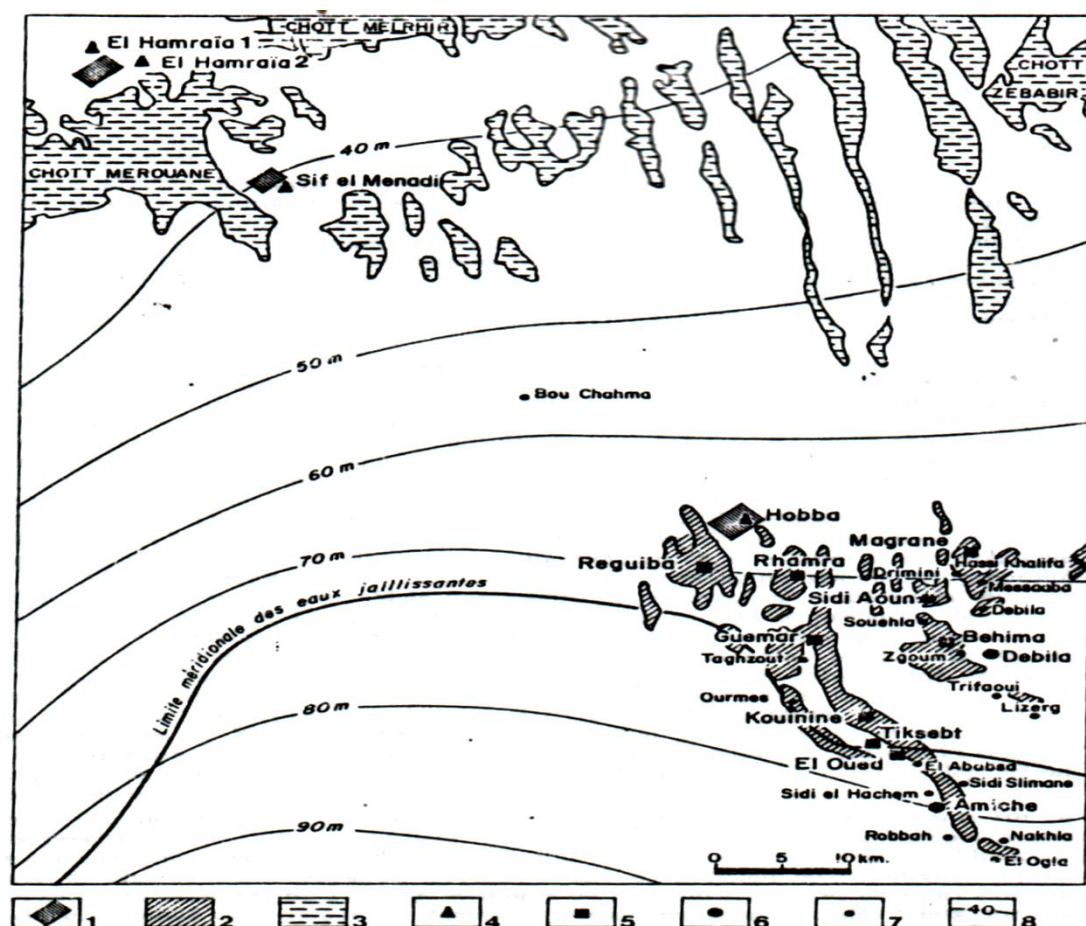
Devant cette situation de croissance démographique de cette époque, et les besoins en eau pour l'agriculture, on observe une baisse générale de la nappe phréatique. Cela fait que la réalisation des nouveaux forages était la solution, où en 1957 adressant à la même nappe de première forage, un autre forage exécuté à Hobba (30 Km de Nord-Ouest d'El Oued), et d'après Voisin A.R, (1970) il donne 158 litres par seconde sous une pression au sol de 22.50 m ; 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.

Les autres se firent en 1960 et les premiers forages de 1953-1955 furent améliorés : celui de Sif El Menadi donne maintenant 25 litres par seconde sous une pression de 66 m. celui de Harmraïa, exploité à 440-470 m de profondeur, débite 115 litres par seconde, quantité d'eau énorme qui a permis la réalisation d'une immense palmeraie. Celui de Guemmar donne actuellement 2000 litres par minute. Le forage de Ghamra débite 12 000 litres par minute (A.R, Voisin 2004). Où le nombre de palmiers atteint de 449.610 en 1962 (DSA. d' El Oued, 2014).

Une douzaine de forages ont été effectués de 1961 à 1969 : Hamraïa, El Oued, Guemmar, Amiche, Débila, Kouinine, Magrane et Hassani Abdel Karim, de moyenne de forage par an (DRE. El Oued). Où on a pu atteindre le prélèvement dans la région du Souf d'environ 600 litres par seconde en 1969 (BNEDR, 1993).

D'après les travaux de Claude Nesson 1978, et au cours de la dernière campagne d'inventaire et de mesure, il est trouvé que la pression a pu être déterminée sur la plupart des forages exécutés depuis 1952 grâce aux équipements de surface prévus à cet effet. Ces mesures ont permis de constater des baisses du niveau piézométrique sur tous les puits (forage), depuis l'année de leur réalisation. Ainsi une diminution de 17 mètres a été enregistrée à SifMenadi, à l'aval de la surface isopièze, entre 1953 et 1967 (figure 18).

A l'amont et pour des forages datant de 1956 et 1957, elle atteint encore plusieurs mètres: il est mesuré 4,50 m à El Oued, 5 m à Hobba (Reguiba), 2,40 m à Guemmar. Sur les forages d'Amiche, Kouinine, Magrane exécutés en 1961 la baisse n'est que de 1 m à 1,50 m, mais les forages de Reguiba et Ghamra réalisés en 1961 et 1962 accusent respectivement 4,70 m et 4,60 m de diminution. Pour le forage d'El Oued, la cote piézométrique est passée, depuis 1956, de +2,40 m à -2,11 m, ce qui élargit la zone de non artésianisme recouvrant la partie méridionale du Souf.



1. Palmeraie irriguée.- 2. Palmeraie « Bour ».- 3. Chott ; sebkha.- 4. Puits servant à l'irrigation. – 5. Puits servant à l'alimentation en eau potable.- 6. puits non exploités.- 7. Localité sans puits.- 8. Isopièze du complexe hydraulique terminale (Eocène-Pontien inférieur). Le trait gras marque la limite méridionale des eaux jaillissantes du complexe hydraulique terminale.

Figure 18 : Les palmeriaes du Souf (Nesson. C, 1978).

En 1969, fut enregistrée une pluviométrie exceptionnelle et torrentielle qui engendra des dégâts, et qui provoqua des inondations à Biskra celles-ci ont été importantes dans tout le Bas Sahara, et pour la région du Souf, les pluies ont touché essentiellement les communes de Hassi Khalifa et Magrane où 150 ha ont été noyés (BNEDR, 1993). L'eau, qui était à 2 ou 3 m sous le niveau du plancher des ghouts, n'a plus été qu'à 1 m (Cote Marc, 1998).

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

Après l'année 1970, le périmètre de Hobba (Reguiba) n'est plus unique dans la région, il existe également deux périmètres créés dans le cadre de la révolution agraire : Akfadou (1976, 90 palmiers par attributaire) et Sahane Berry (commune de Hassi Khalifa) (1re tranche 1982, lots livrés tout plantés, 2e tranche 1990, lots livrés nus, 2 ha/attributaire). Les trois périmètres ont été accompagnés par la construction d'un village agricole auprès de chacun (DSA. d'El Oued, 2014).

En 1973, le premier rapport de la direction de ressource en eau de la Wilaya d'El Oued d'après Mer A-Majid EDHABE, notait qu'il y'a des traces d'humidité au sol (fond du ghout), dans le ghout El Sardouke au Nord-Est de la ville d'El Oued (figure 19).



Figure 19 : La ville d'El Oued, vue d'avion en 1980 (Cote Marc, 2006). Le cercle présent ghout El Sardouk.

On peut ajouter à ces 3 périmètres publics le grand périmètre privé de Dahouia, crée et développé au cours des 30 dernières années par l'industriel Soufi Mr Djilali Mahri, géré en exploitation centralisée d'un seul tenant. 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 7 forages de profondeur 280 mètres et deux forages de profondeur 90 mètres (seul cas où un privé ait réalisé des forages profonds).

L'augmentation de la population a entraîné une forte demande en eau ce qui nécessite la réalisation d'un grand nombre de forages pour l'alimentation en eau potable sur une période relativement courte. Les pouvoirs publics (municipalité et services hydrauliques) ont répondu à cette montée des besoins, en dotant les agglomérations de forages et de châteaux d'eau.

Depuis l'année 1970, le rythme de réalisation de forages, s'est accéléré chaque année et a vu l'exécution de 2 ou 3 forages. Durant la seule année 1977, le nombre de forage réalisé douze a atteint (12) à l'échelle de la région du Souf, neuf (9) pour l'alimentation en eau potable et trois (3) pour les besoins d'irrigation, de 30 litres par seconde en moyenne chacun (DRE. d'El Oued, 2014).

II.2.1.3- la rupture d'un système fermé et l'ampleur du phénomène:

Au cours des 50 dernières années, le Souf s'est urbanisé. Il faut donc recouvrir les besoins de ses habitants qui n'ont cessé d'augmenter, notamment dans le domaine de la consommation en eau potable, on ne conçoit plus la vie en ville sans l'adduction d'eau, et la distribution au robinet 24 heures sur 24. Et pour assurer cela il faut réaliser des réseaux d'alimentation en eau potable et des ouvrages hydrauliques pour le stockage. Le château d'eau d'El Oued de capacité 500 m³ fut élevé en 1957 ; et celui de Guemmar de 300 m³ en 1958 (A.R, Voisin 1970).

L'état récapitulatif des forages situés dans la région du Souf montre qu'entre 1956 et 1980, 38 forages ont été réalisés (DRE. d'El Oued). Et la production disponible calculée par BNEDR (1993) est ainsi de l'ordre 34 560 m³ par jour en 1980.

Durant la décennie 1980, le Souf s'est senti basculé et entrée ou vivre la rupture d'un système fermé ou par en autre terme, la mort du paysage agraire. Et ce basculement s'est présenté sous un visage inattendu, celui d'une crise hydraulique spectaculaire, par excès d'eau (figure 20), comme il n'y en a eu nulle part ailleurs au Sahara.

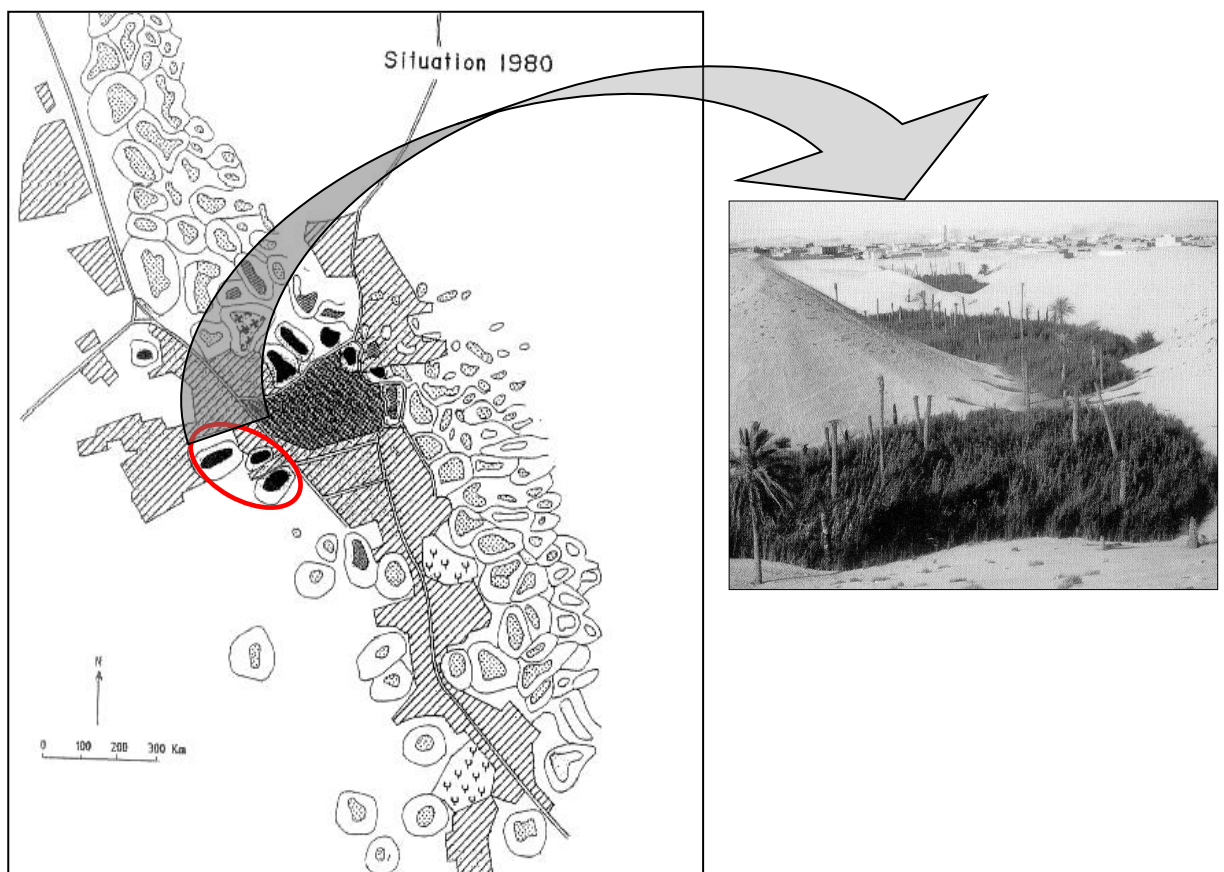


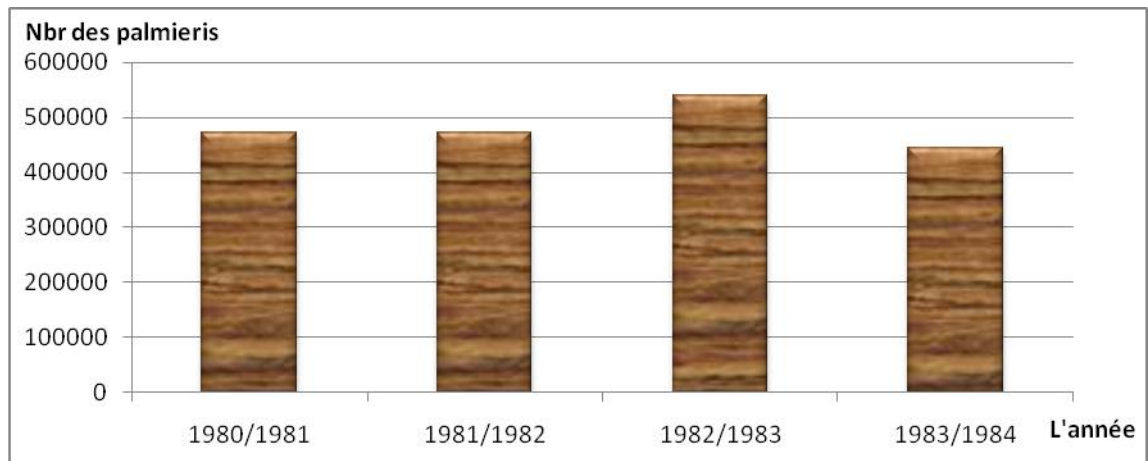
Figure 20 : Evolution de la situation des ghouts autour d'El Oued en 1980 (Cote Marc, 1998).

On parle ici de 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 en est montée d'environ 1,50 m, envahit le fond des palmeraies (A.R, Voisin 2004). Il est

triste de voir des centaines de palmiers p ris, dont les pieds baignent dans l'eau où pousse une végétation marécageuse.

Les répercussions 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 21). L'on remarque que de la saison 1980-1981 à la saison de 1982-1983 il n'y a pas d'influence apparente sur le nombre total des palmiers dans la région, mais

il y a une diminution du rendement productif, lors de la saison 1981-1982, le rendement a atteint les 74 %, et la saison 1982-1983 le rendement a diminué à 32 %, et il y a perte de 94 523 palmiers entre 1983 et 1984, et le rendement diminue jusqu'à 28 % pour cette saison (DSA. El Oued 1984).



F

figure 21 : Evolution des nombres des palmiers au début des années 80 (A.Najah,1970)

Année après année, la nature du Souf souffre d'une voix silencieuse, et le charme de ce paysage disparaît sous le regards de nous yeux, la situation devient plus complexe plus aucun progrès dans la ville d'El Oued, le phénomène développée et touchée les autres sites (ghouts) comme présenté dans la (figure 22).

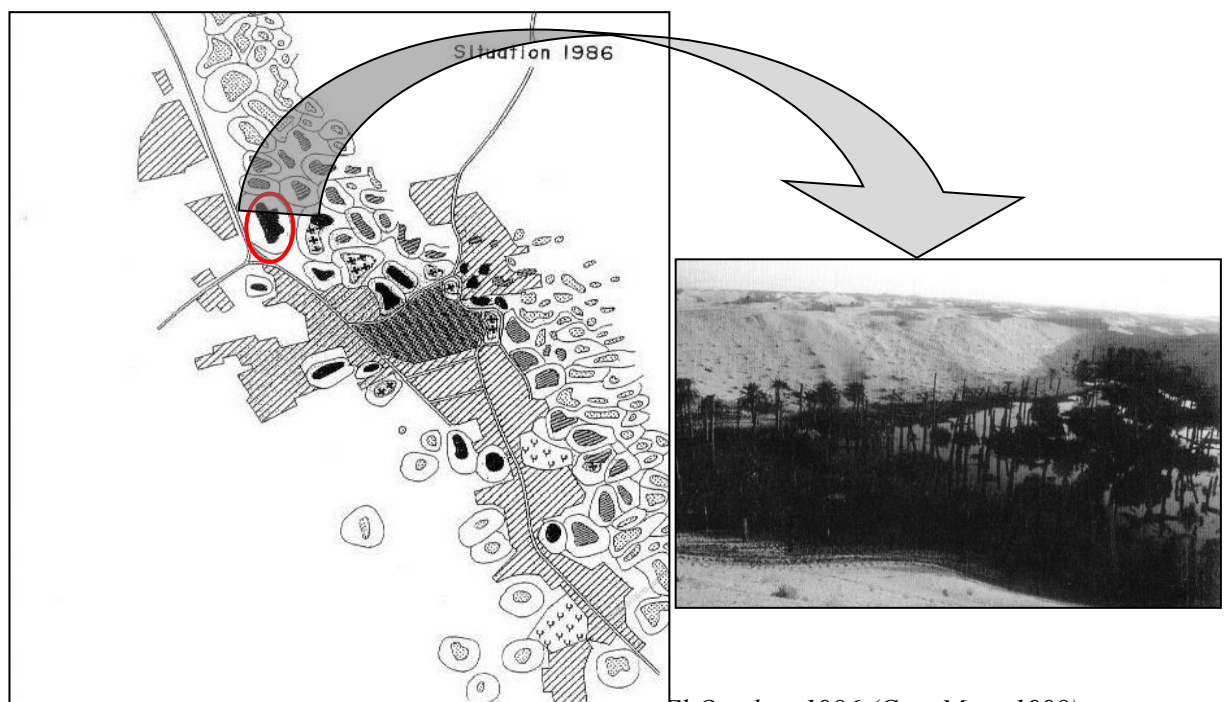


Figure 22 : La catastrophe situation des ghouts à El Oued en 1986 (Cote Marc,1998).

Avec la montée démographique dans la région du Souf, les besoins des habitats quantitatif et qualitatif en eau augmentent, les pouvoirs publics (municipalité et services hydrauliques) ont répondu à cette montée des besoins, par l'appel à un aquifère très profond, le continental intercalaire en 1986, le premier est le Barrémien DW 101 dans la commune d'El Oued (cité de Chauhada), de profondeur qui atteindra 1850 m, de pression de 22 bar et qui débite 200 litres par seconde, et suivi par deux 2 autres forages en 1987, le forage de Sahane-Berry (commune de Hassi Khalifa) de 2010 m de profondeur et 25 bar de pression qui donne un débit de 250 litres par seconde, et le dernier est le Barrémien DW 102 dans la commune d'El Oued aussi (route de Touggourt), de profondeur de 1845 m et de pression de 23 bar avec un débit de 230 litres par seconde (DRE. El Oued, 2014). Les deux forages de la commune d'El Oued (DW 101, DW 102), sont en services depuis année de réalisation, pour le forage de Sahane-Berry resté fermé environ dix (10) ans jusqu'à la fin de 2006, il est raccordé au réseau de distribution des eaux potables (DRE. El Oued, 2014).

Notons qu'il existe une installation de refroidissement de l'eau du forage de Chauhada, mais celle-ci n'est pas en fonctionnement.

Le système traditionnel d'alimentation en eau pour les habitants et les agriculteurs, fonctionnait en boucle fermé, avec des débits limités. Les forages profonds ont créé des crises supplémentaires, sans qu'aucune sortie n'ait été prévue. Le système est aujourd'hui troublé.

Les réseaux d'alimentation en eau potable, sont alimentés par les ressources en eaux souterraines provenant des nappes du continental intercalaire et du complexe terminal, le taux d'AEP de 95%, et comprennent des canalisations de divers diamètres à partir de DN 500 mm ; les tuyaux sont en amiante ciment et en P.V.C ou polyéthylène. Aucun plan d'ensemble cohérent et renseigné n'a été produit. Le linéaire total du réseau d'eau potable est actuellement estimé à 770 km (Bonnard & Gardel, 2001a). La distribution est assurée à partir de 42 réservoirs (château d'eau).

Les branchements privés sont réalisés directement par les particuliers, le matériau choisi étant généralement le polyéthylène. Le système de piquage sur le réseau public n'est pas défini par la collectivité. Un tour au marché nous a permis d'observer une offre importante de colliers de prise de fabrication artisanale. Aucun robinet d'arrêt n'est disposé au droit des piquages. La canalisation est sans doute choisie indépendamment de sa résistance à la pression de service.

Le rapport de GIER SCH .P, 1989 dit et éclaire que le fonctionnement du réseau d'alimentation en eau potable n'a pu être explicitement formalisé par les responsables locaux. Il n'existe pas de schéma fonctionnel permettant une vue d'ensemble et la détection rapide d'anomalies permanentes ou occasionnelles dans la distribution.

Les dotations en AEP ont été larges : pendant environ 30 ans, les populations ont disposé de l'eau 24 heures sur 24, arrosaient éventuellement leurs jardins, sous-payaient l'eau puisque elles la réglaient au forfait. Seule une minorité disposait de compteurs, et ceux-ci étaient vite déréglés par la chaleur de l'eau du continental intercalaire. Et d'après le calcul de BNEDR (1993), le débit d'alimentation en eau potable peut atteindre dans la zone du Souf environ 400 litres par jour par habitant.

Il ne faut donc pas s'étonner de constater 15 éclatements ou des fuites dans le réseau par jour (GIER SCH .P, 1989), généralement sur des branchements particuliers.

Que penser des nombreuses fuites probables mais non visibles dans la mesure où les eaux s'infiltrent directement dans la couche de sable sous-jacente ?

II.2.1.4- la rupture totale d'un système fermé et l'éveil les pouvoirs publics:

D'après BNEDR (1993), le prélèvement pour le besoin d'alimentation en eau potable par les nappes du complexe terminal et le continental intercalaire atteint 3789 litres par seconde en 1993 (3109 l/s du CT et 680 l/s par le CI). Et pour l'irrigation le débit prélevé par la nappe phréatique est de

6123 litres par seconde. Mais lorsque l'apport provenant de la profondeur est puissant et continu dans le temps, le niveau de la nappe phréatique s'élève, finit par être proche de la surface où elle menace cultures et habitations.

Or, à cet apport supplémentaire massif, n'a pas correspondu non plus une modification dans le système d'évacuation. L'assainissement des eaux résiduares dans la vallée du Souf est caractérisé par la prépondérance d'un assainissement individuel (ou autonome) pour toutes les agglomérations de la vallée du Souf. Le système rural de fosses ou les puits perdus a été conservé dans une ville d'environ 130 000 habitants, où le nombre de fosses perdues dans la région atteint 36 265 (ONA. d'El Oued, 2014). Donc les forts débits introduits sont à l'origine de forts volumes d'eaux usées qui ne retournent pas en profondeur; ils ne sont pas non plus évacués à l'extérieur du bassin hydraulique. Ils vont rejoindre la nappe phréatique, qu'ils gonflent d'autant. Et les seules agglomérations pour lesquelles s'il existe un réseau d'assainissement des eaux usées sont Guemmar et El Oued.

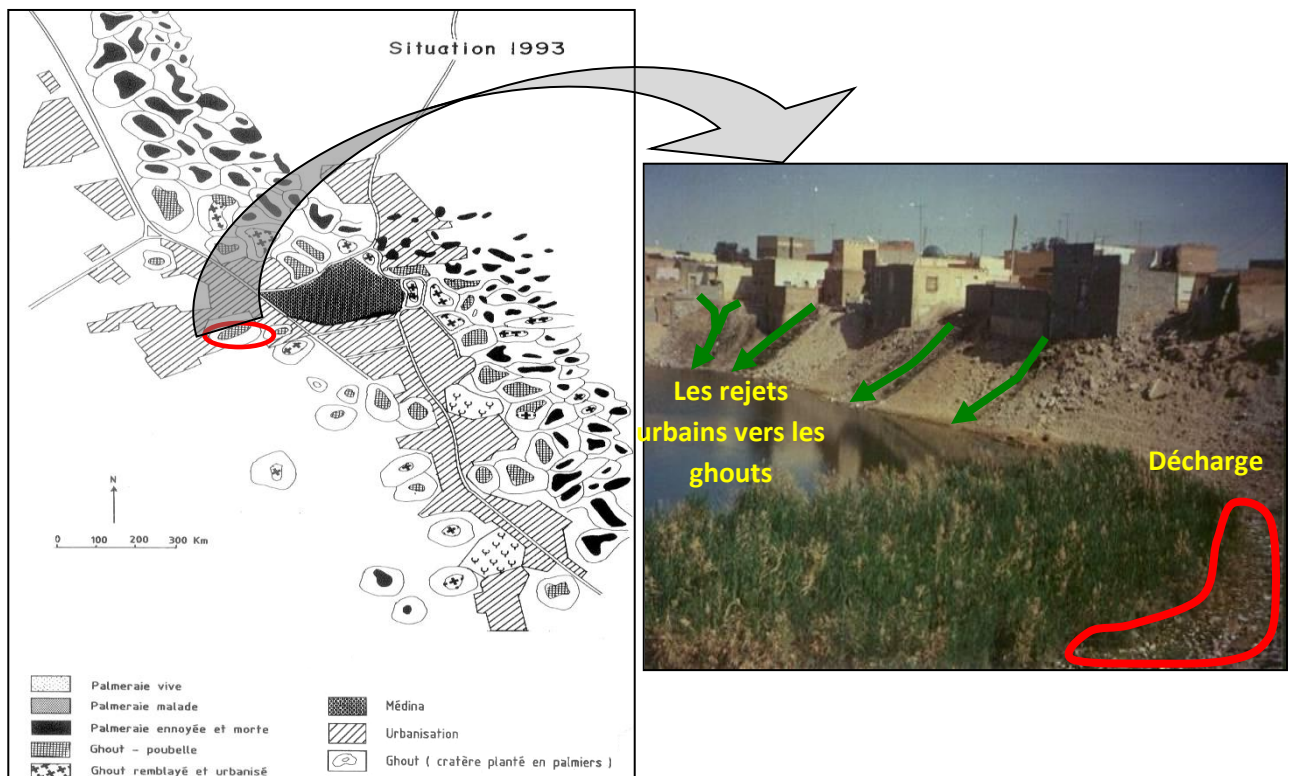


Figure 23 : Situation d'un ghouts ennoyée complètement par les eaux polluée de l'année 90 (Cote Marc, 2006).

L'évolution est d'autant plus spectaculaire qu'elle touche la partie sud du Souf, c'est-à-dire celle des grands ghouts profonds en milieu dunaire (Bayada, Robah, Ogla...). Les ghouts ennoyés qui cernent la ville présentant une eau noirâtre et nauséabonde (figure 23), qui incite la population à en faire autant de décharges sauvages. Et le cycle de pollution s'accroît.

L'étude (analyse) piézométrique de l'aquifère débute par l'établissement de la carte piézométrique. Cette dernière "est le document de base de l'analyse et de la schématisation des fonctions capacitive et conductrice, du réservoir et du comportement hydrodynamique de l'aquifère. C'est la synthèse la plus importante d'une étude hydrogéologique." (Castany, 1982)

L'Agence Nationale de Ressources Hydrauliques (ANRH), réaliser le réseau mis en place en 1993, composé originellement de 152 points : 112 puits et 40 piézomètres répartis dans la région du Souf dans une zone de 80 km Nord-Sud sur 40 Est-Ouest.

Ce réseau donne une vue générale des caractéristiques de la nappe phréatique, mais ne permet pas de mettre en évidence le phénomène de remontée de la nappe phréatique de par le manque de

points de mesures dans les zones affectées, en particulier au niveau des agglomérations. Des campagnes de mesures piézométriques ont été menées.

D'après les mesures des niveaux piézométriques dans tous points (piézomètres et puits) en 1993, on peut extraire la carte piézométrique de la nappe phréatique de la région du Souf qui présente le sens d'écoulement et la variation spatiale du niveau piézométrique en 1993 (figure 24).

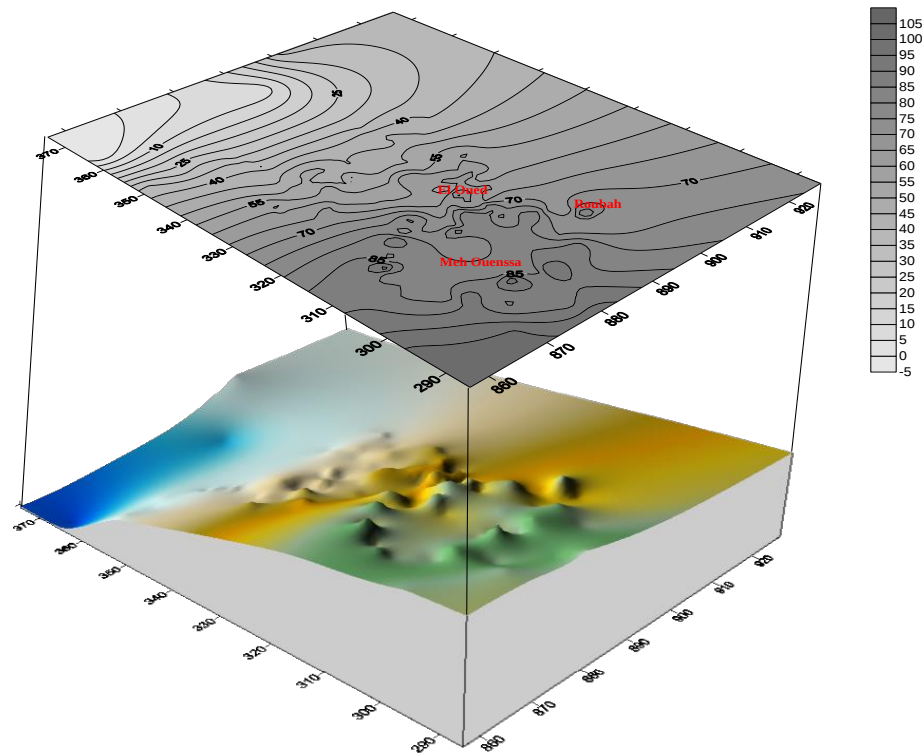


Figure 24 : Carte piézométrique de la nappe phréatique du Souf en mars 1993.(A.miloudi ;2008)

L'objectif principal de l'analyse de l'évolution de la piézométrie dans le temps et l'espace est de visualiser la direction de l'écoulement horizontale et verticale (drainante), ainsi que la profondeur du niveau d'eau dans le sol. En effet les eaux souterraines sont le moyen de transport de toute substance minérale ou organique. C'est d'après l'écoulement qu'on peut reconnaître les zones vulnérables ou contaminées à condition de pouvoir localiser les rejets.

L'analyse de la carte piézométrique montre que la surface piézométrique est peu profonde au sud et se rapproche de la surface du sol quand on se dirige vers le Nord de la région du Souf, elle montre aussi que la surface piézométrique obtenue est simple et les lignes de courant convergent vers le Nord. Cette carte permet d'affirmer que la direction principale des écoulements des eaux souterraines (nappe phréatique) est du Sud vers le Nord-Ouest; Reguibah-Houba et Foulia (la zone de Chott), le module d'espacement est variable. L'écoulement de la nappe conforme à l'écoulement d'anciennes vallées fossiles et d'après Najah A (1970), l'Oued Igharghar et bon nombre de ses affluents constituent les drains collecteurs et souterrains de ces écoulements et pourvoient à la richesse aquifère de la nappe du Souf.

Aux environs de la ville d'El Oued, la profondeur du toit du substratum argileux varie entre 40 et 60 mètres. Dans la partie Nord Est de la zone d'étude à partir de Behima, le substratum argileux est à environ 40 m de la surface du sol puis plonge progressivement pour Debila et Akfadou et remonte ensuite jusqu'à environ 50 mètres.

Hormis cette partie centrale de la zone d'étude, où le substratum argileux est profond, le reste de la région étudiée est caractérisé par une remontée du substratum pouvant atteindre des profondeurs d'environ 5 mètres.

D'une manière générale, le substratum argileux présente une suite de structures, tantôt positives, tantôt négatives, traduisant une allure ondulée, formant une succession de bombements et de dépressions variant de 10 à 110 mètres environ de la surface du Sol.

En plus de cette variation (remontée) des niveaux piézométriques, une détérioration très sérieuse de la qualité chimique et bactériologique des eaux en l'absence d'un réseau d'assainissement adéquat, pose de sérieux problèmes aux pouvoirs publics et plus particulièrement aux gestionnaires des ressources en eau de la région.

Les ghouts sont en moins mauvais état, mais la menace qui pèse sur eux entraîne souvent un délaissement : on continue à faire la récolte des palmiers, mais le ghout n'est souvent plus entre tenu.

Cette présence nouvelle d'eau affleurant et stagnante a provoqué la prolifération des moustiques. La tradition rapporte que les ancêtres des soufis actuels, partis de leur Yémen natal, étaient arrivés dans l'Oued Righ, mais qu'ils y furent découragés par les moustiques, les fièvres, et le paludisme, et préférèrent revenir en arrière se fixer dans le Grand Erg, plus austère mais salubre. Un rapport d'un médecin du XIXe siècle (Escart Dr, 1891) confirme l'absence de tout moustique dans le Souf à cette époque.

Mais malheureusement aujourd'hui, chaque été connaît une infestation de ces insectes, qui rend les nuits insupportables pour une population habituée à passer les nuits d'été sur les terrasses des maisons ou près des palmiers.

Les résultats positifs des analyses bactériologiques effectuées d'après le centre de développement des techniques nucléaires CDTN (1992), sur un nombre bien choisi d'échantillons couvrant toute la région et la présence de germes pathogènes ne fait qu'aggraver encore plus la qualité des eaux de cette nappe. Où il y a la présence des indices de pollution bactériologique marquée principalement par la présence de streptocoques fécaux et de colibacilles, pouvant provoquer des infections et affections pathologiques graves d'après Rodier (1984), telles que: l'ostéomyélite, la septicémie, le choléra infantile, la méningite, ...etc.

Pour la seule année 2006, la direction de la santé de la wilaya a enregistré 1247 cas de leishmaniose. sans tenir compte des cas non déclarés pour lesquels les sujets atteints contentant de se faire traiter à l'aide de plantes médicinales. On signale aussi d'autres maladies souvent mortelles, telle la typhoïde où la direction de la santé et aussi que l'algérienne des eaux (ADE) enregistré au tour l'année 2007: plus de 141 cas.

Suite à une enquête que nous avons pris de soin de mener (de notre initiative), nous avons pu recenser 161 cas de typhoïde, repartis surtout dans les communes de Reguiba, Hassi Khalifa et Magrene, et dans le seul cas mortel dans la commune de Gummar.

Cela nous laisse imaginer l'état de santé des habitants de la région d'Oued Souf surtout pour les zones Nord-Ouest et Nord-Est (Guemmar. Reguiba, Hassi Khalifa, Magrene...) étant à vocation agricole.

Ces espaces d'eau, inattendus dans le Souf et non contrôlés, tentent les enfants comme aire de jeu, mais sont garants de la mort par noyade d'une cinquantaine de personnes au cours des derniers 15



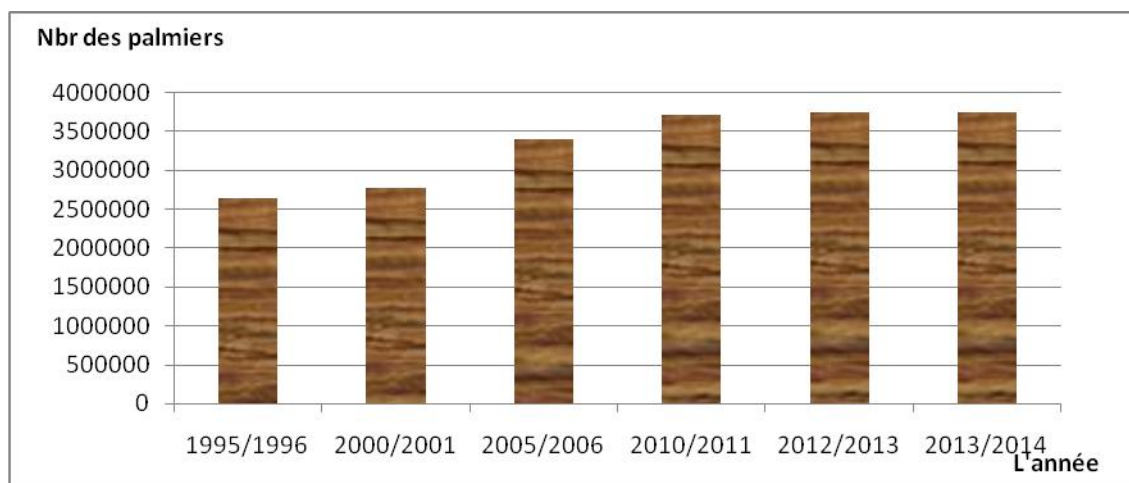
années, dont 80 % sont des enfants d'après la direction la protection civil d'El Oued, puisque il y à un nombre important de "Ghout", dont la profondeur de l'eau atteint 5 m (figure 25).

Figure 25 : *Situation d'un ghout dans la commune d'El Oued remplis d'eau et de roseaux à la place des palmiers (Photo, Remini B., 1996)*

Un nouveau biotique, inattendu, est apparu, avec roseaux, moustiques, aigrettes, poules d'eau, sangliers. Mais les habitants le paye cher. Et les vieux Soufis veulent bien être "enterrés dans la terre, mais pas dans l'eau".

Suite à la remontée des eaux à la surface du sol, des habitations se sont détériorés, des fissures préjudiciables se sont apparues dans plusieurs maisons, notamment au niveau du quartier Sidi Mastour situé à la périphérie Nord de la ville. Plusieurs familles ont du être transférées vers d'autres lieux par peur d'effondrement de leurs maisons (Remini B, 2005).

Aussi d'après le recensement de la direction d'agronomie d'El Oued, on peut estimer la déperdition à 36 617 palmiers en trois années de 1995 à 1997 seulement, pour causes sites ultérieurement. Et la figure 25 donne une idée générale sur le développement du nombre de palmiers de la région pour la période de 1995 à 2000.



F

figure 26 : *Les nombres de palmiers de l'année 1995 à 2014 du Souf (DSA. El Oued, 2014).*

Enfin, on peut estimer la déperdition totale à 131 140 palmiers pendant une vingt d'année à peine.

On peut donc résumer l'histoire de la nappe traditionnelle du Souf jusqu'à cette période dans ce schéma réalisé d'après Cote Marc (2006) (figure 27); où après une longue phase de rabattement, la nappe phréatique n'a cessé de monter depuis l'années 1950. Mises en regard avec les événements extérieurs, les grandes pluies les 1969 apparaissent épisodiques; par contre apparaît évidente la corrélation avec le rythme croissant des forages dans les nappes profondes.

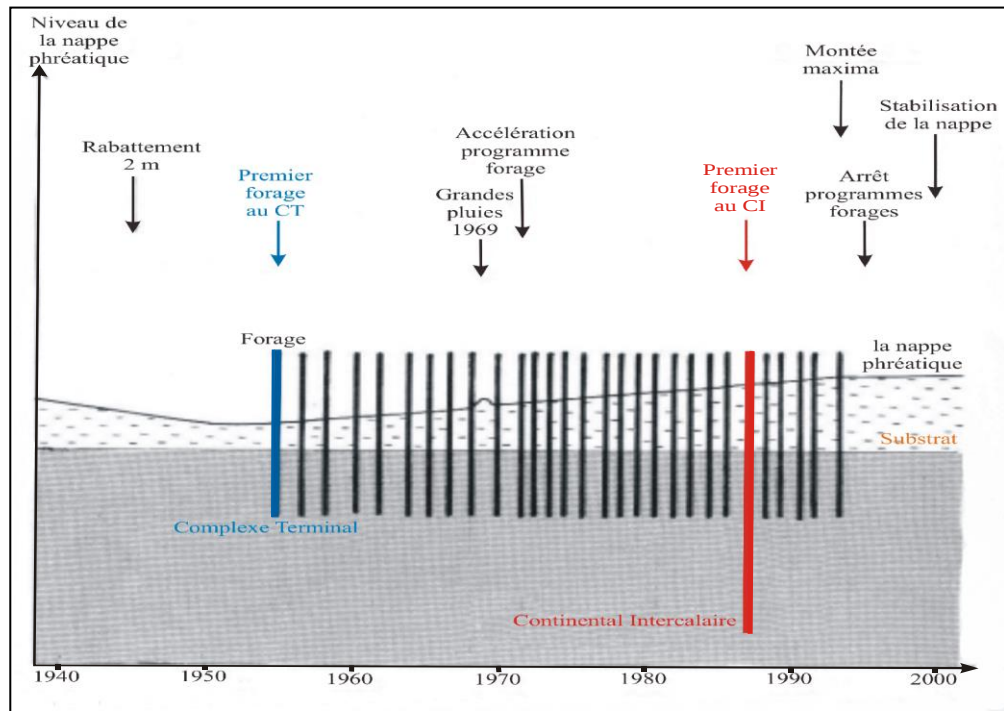
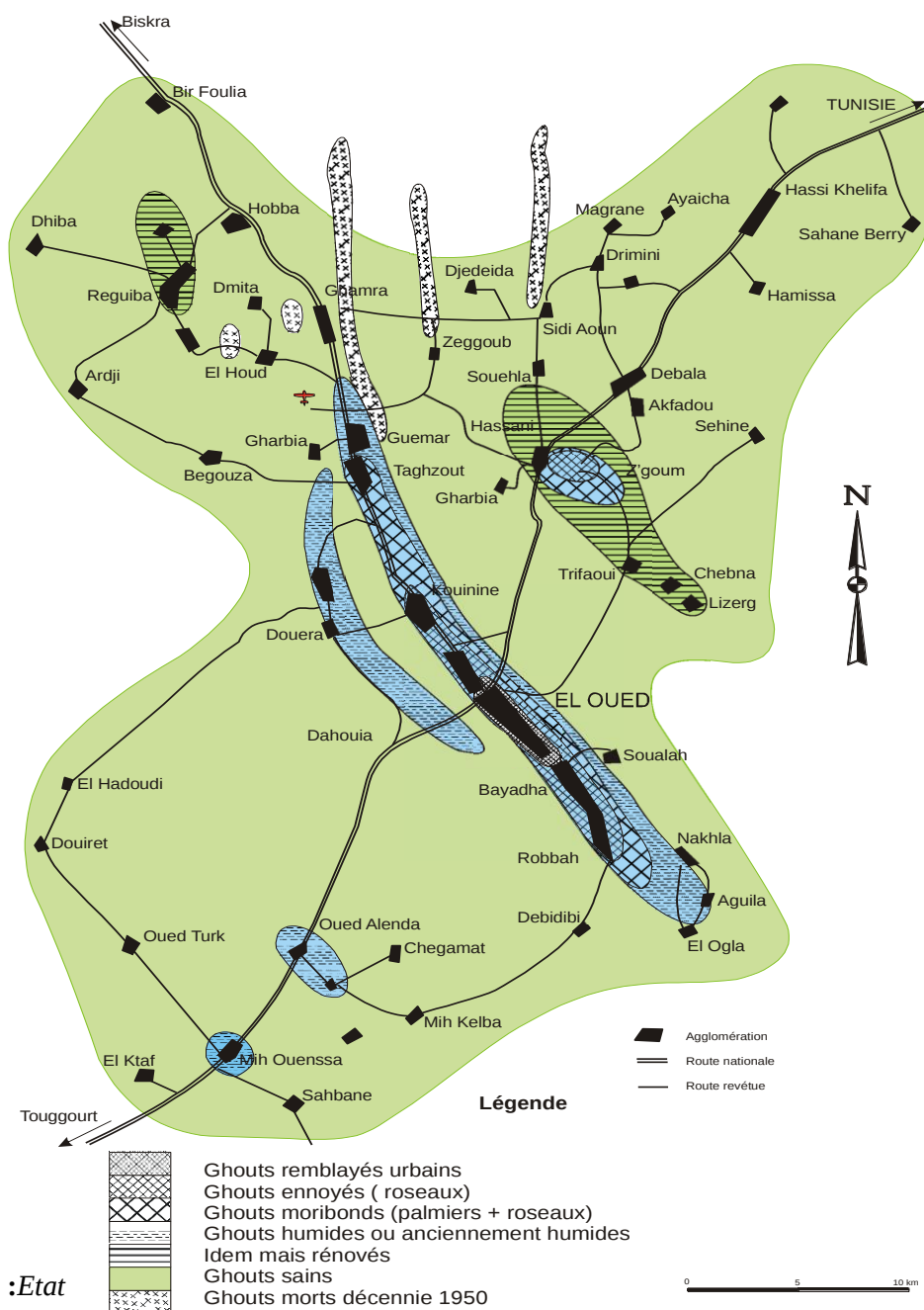


Figure 27 : *Le comportement de la nappe dans le temps pour cette période (Cote Marc, 2006)-
Modifier-*

II.2.1.5- l'activité des pouvoirs publics et le lancement des grands projets de la vallée du Souf:

Au cours des quinze (15) dernières années, on a participé à la mort d'une société agraire élaborée par des générations de Soufis, au coût d'un travail énorme. C'est la base économique et le cadre de vie d'une société et d'un paysage agraire qui disparaît. C'est le ferment de beauté de ce pays saharien qui est gommé d'un choc.

La situation de la nappe phréatique dans la vallée du Souf et son évolution sont fortement variables selon le contexte. Et comme nous l'avons dit avant que la distribution des ghouts dans la région du Souf donne une idée générale de la situation de la nappe et pour cela la (figure 28) présente la situation des ghouts au début de cette période.

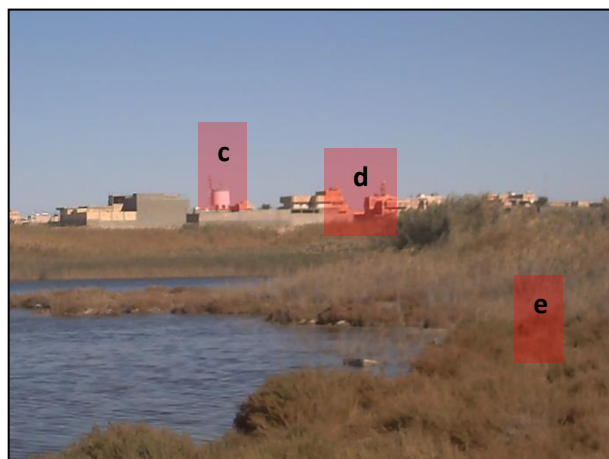


**Figure 28 :Etat
ghouts du Souf en**

2001 (Cote Marc, 2001)

des

Dans le secteur bas de la ville d'El Oued, secteur de Chott, connu pour constituer un point de remontée capillaire des eaux proches et salées, les constructions ont été menacées, puis se sont trouvées inondées avant la mise en place de la station de pompage et de refoulement au début de l'année 80 (figure 29).



-a: le centre universitaire d'El Oued -b: les eaux de la nappe phréatique -c: Châteaux d'eau -d : Zone urbaine -e: roseaux.

Figure 29 : *Le chott d'El Oued (remontée capillaire de l'eau de la nappe) près de la station principale (10).*

D'après plusieurs travaux scientifiques comme Guendouz et al (1992), BNEDR (1992-1993), Cote Marc (1998-2001-2006), Baba Sy (2005), et d'autres, on peut dire que la pluviométrie joue un rôle dans la suralimentation de la nappe phréatique.

Lors des fortes pluies de 1969, la corrélation a été indéniable. En 1989, la région a connu à nouveau de fortes pluies, et au début du XXI^e siècle, lors des hivers 2001-2002 et 2002-2003, c'est le quartier Sidi Mastour qui a vu le sol de certaines maisons inondé, et les fondations de nombreuses constructions menacées, où la pluviométrie annuelle pour l'année 2001 a atteint 206,2 mm (ONM El Oued–Guemmar, 2007).

Et pour suivre le changement (la variation) piézométrique de la nappe, il faut revenir au (les données des mesures) réseau surveillance de l'ANRH (réalisé en 1993), il était composé originellement de 152 points: 112 puits et 40 piézomètres répartis dans la région du Souf dans une zone de 80 Km Nord-Sud sur 40 Km Est-Ouest. En septembre 2001, 104 points de mesures sont opérationnels dont 83 des 112 puits et 21 des 40 piézomètres (Bonnard & Gardel, 2002b).

Ce réseau donne une vue générale des caractéristiques de la nappe phréatique, mais ne permet pas de mettre en évidence le phénomène de remontée (baissement) de la nappe de par le manque de points de mesures dans les zones menacées, en particulier au niveau des agglomérations.

Pour y remédier, 109 nouveaux points ont été implantés d'après le bureau d'étude de Bonnard & Gardel dans le cadre du Projet de vallée du Souf (Etude d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation), 69 dans le couloir Ogla-Kouinine, 9 dans les environs de Z'Goum, 7 dans la zone du rejet au Nord et 22 répartis dans les autres agglomérations principales, en des lieux qui avaient subi une montée de la nappe phréatique (Bonnard & Gardel, 2002c).



Figure 30 : *Puits traditionnel pour Le réseau de surveillance de la nappe phréatique (Bonnard & Gardel, 2002c).*

Ces points consistent essentiellement en puits améliorés implantés dans des lieux publics, principalement des écoles et lycées (figure 30), parfois en puits privés et pour ces derniers, seulement lorsque la densité des puits « publics » était insuffisante.

Donc, le réseau de surveillance aujourd'hui comprend 261 points (figure 31); (109 nouveaux points (G), 112 puits du réseau ANRH (H) et 40 piézomètres du réseau de surveillance ANRH (P)).

Ces nouveaux points comprennent aussi les puits en ville sur lesquels des échantillons pour analyse ont été prélevés. Pour une meilleure connaissance des qualités physicochimiques de la nappe nécessaire en vue d'une éventuelle réutilisation des eaux de drainage. Ils permettront aussi de mieux connaître la surface piézométrique dans le but de déterminer le volume de terrain à dénoyer pour retourner à un état normal.

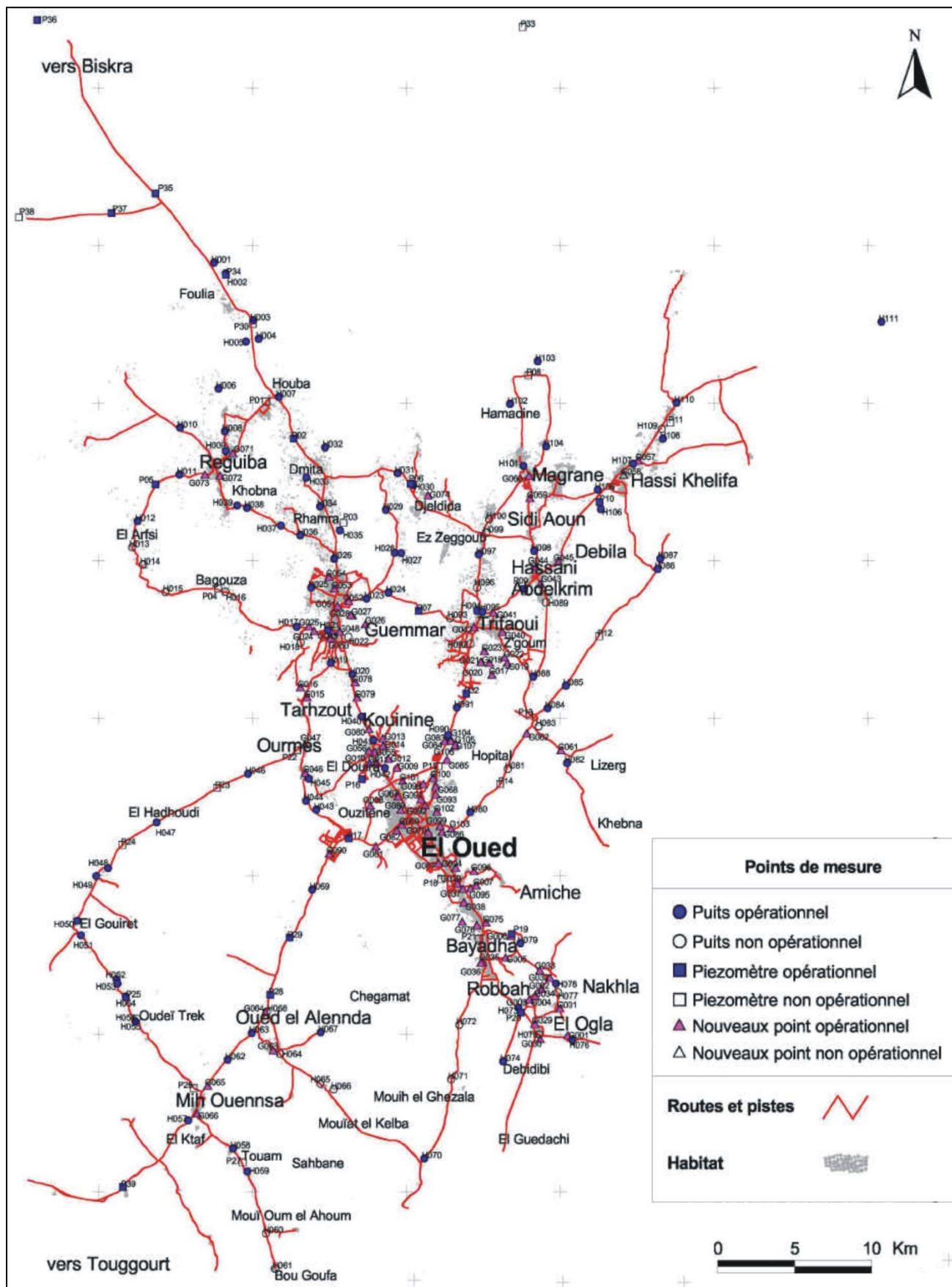
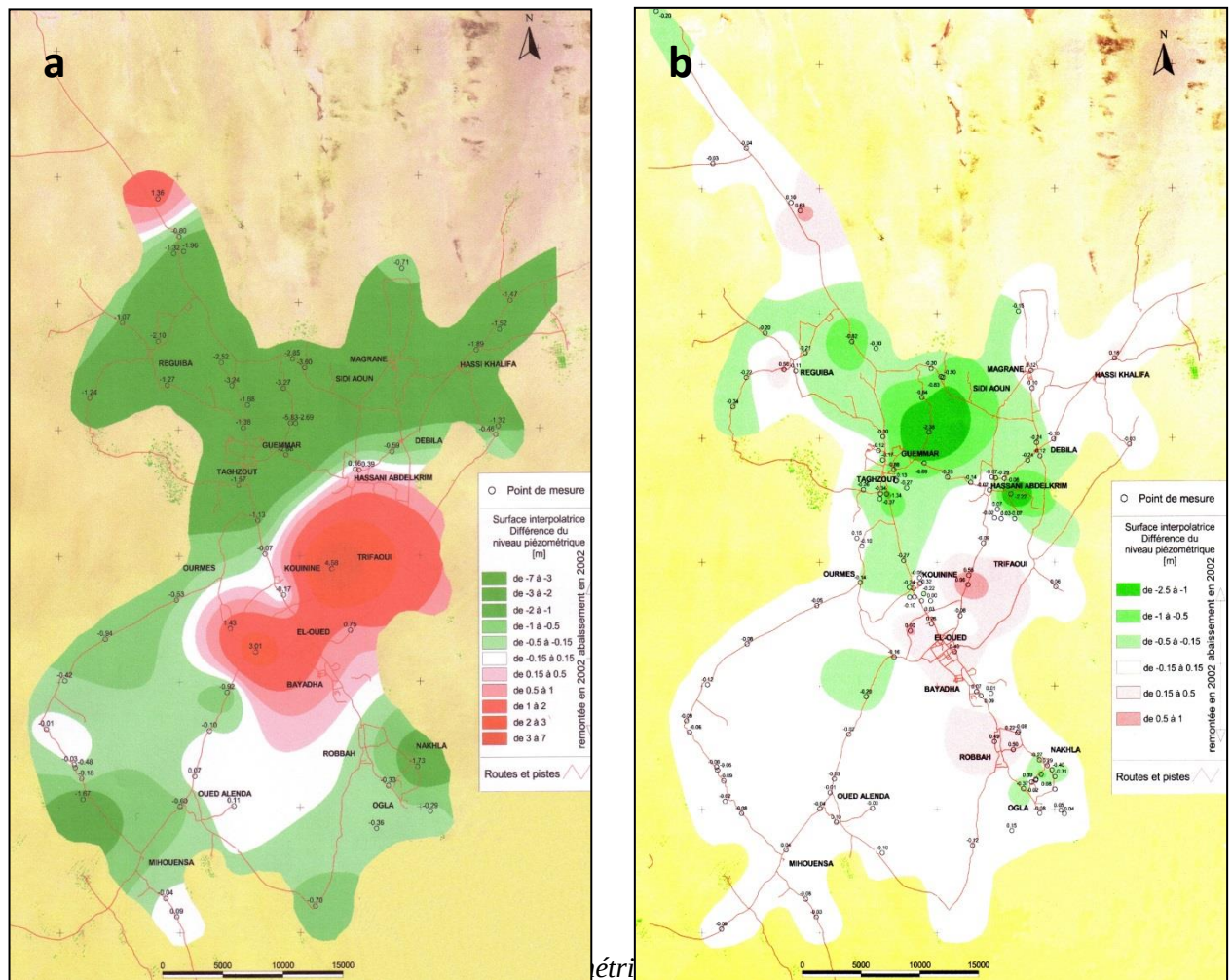


Figure 31 :Etat du réseau de surveillance en 2001 (Bonnard & Gardel, 2002c)

Les nouveaux points d'eau ont fait l'objet des mêmes mesures que les points du réseau de surveillance ANRH. Et pour la dernière campagne de mesures hydrogéologique BG - HPO, réalisée en

avril 2002. Et pour bien suivre l'évolution du phénomène de remontée de la nappe phréatique dans la région du Souf on a extrait la carte de différent piézométrique entre l'année 2002 et 1993 par les données de la dernière campagne de mesures hydrogéologiques en 2002 et les données de l'ANRH (figure 32).



(Bonnard & Gardel, 2001b, 2002c).

* Evolution mars 1993-avril 2002:

La comparaison entre les mesures de mars 1993 et avril 2002 (figure 32a) n'a pas la même finesse car le réseau piézométrique de 1993 était beaucoup moins étendu : notamment il ne comprenait pas d'observations au niveau des agglomérations. Cette comparaison fait cependant ressortir :

- Une remontée au niveau de la plantation de Foulia (1,4m), du domaine Daouia (3 m) et du rejet de la ville d'El Oued (4,5 m au piézomètre H090, certainement plus au rejet lui-même)

- Un rabattement généralisé dans le reste de la zone d'étude atteignant :

- 5,8 m au NE de Guemmar;

- 2,1 m dans la région de Reguiba;

- 1,9 m dans la région de Hassi Khalifa;

- 1,7 m au S de Nakhla;

- 1,7 m dans la région d'Oued Turk;

Aucune information ne peut être tirée de cette comparaison au niveau des agglomérations.

La tendance à la baisse du niveau dans a quasi-totalité de la zone d'étude est liée aux mesures prises par l'agriculture pour lutter contre les phénomènes de remontée, notamment fermeture de forages au CT et puits améliorés.

Variations des niveaux piézométriques entre avril 2002 et mars 1993 :

Des mesures sur 55 points du réseau de surveillance, pour lesquels des mesures sur le niveau piézométrique ont été réalisées en avril 2002 et en mars 1993, ont servi à la réalisation de cette carte.

D'après Bonnard & Gardel, les données sur les 23 points suivants, H001, H006, H007, H032, H037, H045, H048, H050, H056, H061, H062, H066, H071, H077, H085, H088, H093, H098, H099, H102, H104, H105 et H109, n'ont pas été prises en compte. Ces puits ont probablement été déplacés ou transformés et l'altitude modifiée entre 1993 et 2001.

On a représenté :

- en blanc des variations de moins de 0,15 mètres;
- en vert un rabattement de la nappe phréatique de plus de 0,15 mètres;
- en rouge une montée du niveau de la nappe phréatique de plus de 0,15 mètres;

Une montée du niveau de la nappe phréatique a été constatée :

- au niveau de la plantation irriguée par des forages au CT de Foulia de 1,4 mètre et du domaine Daouia, de 3 mètres ;
- près du rejet de la ville d'El Oued de 4,5 mètres au H090 à 1 km au nord-ouest (la montée est beaucoup plus importante au rejet même, d'après la cote piézométrique régionale).

Un rabattement dans la quasi-totalité du reste de la zone d'étude, atteignant 5,8 mètres au Nord Est de Guemmar, 2,1 mètres dans la région de Reguiba, 1,9 mètres dans la région de Hassi Khalifa, 1,7 mètres au sud de Nakhla et 1,7 mètres dans la région de Oued Turk.

Le manque de points communs dans les centres urbains entre 1993 et 2002 biaise la carte et donne une fausse représentation de baisse généralisée ce qui peut faire croire faussement en une maîtrise du phénomène de remontée dans les villes.

Par contre, la baisse de la nappe phréatique est bien réelle et importante au niveau des zones agricoles.

La carte des différences 2002-1993 permet de confirmer les tendances enregistrées entre 2002 et 2001.

Pour les points de mesures communs entre 2002-1993 et 2002-2001 le phénomène de remontée ou rabattement se confirme en s'accroissant au niveau des zones agricoles.

Cette accentuation est due à un développement des zones agricoles ce qui conduit à accroître le rabattement de la nappe phréatique.

Au niveau urbain, le manque de points de référence ne permet pas de définir la tendance.

En comparant la carte des variations 2002-2001 et la carte d'anomalies résiduelles on constate que les zones présentant des anomalies résiduelles positives ont vu une remontée du niveau de la nappe phréatique entre 2001 et 2002 alors que les zones présentant des anomalies résiduelles négatives ont vu un abaissement de la nappe phréatique entre 2001 et 2002.

Ceci à l'exception de la région

- de Hassani Abdelkrim, où alors que la nappe phréatique y présente une anomalie positive de l'ordre de 2 mètres, un abaissement de 2,2 mètres y a été constaté entre 2001 et 2002, ce qui tend à

confirmer que cette anomalie positive serait due à la plantation d'Akfadou, autrefois irriguée à partir de forages profonds.

- de la plantation du domaine Daouia où alors qu'une anomalie positive de l'ordre de 5 mètres a été observée, un abaissement de la nappe phréatique de 0.2 mètres a été mesuré entre 2001 et 2002, peut-être suite à des prélèvements pour l'irrigation à partir de la nappe phréatique.

De par la faible pente de la nappe phréatique et les quantités importantes d'eau pompées et réinfiltrées ponctuellement, les transferts hydrologiques conduisant à une stabilisation de la nappe phréatique ne peuvent se réaliser suffisamment rapidement.

Si rien n'est entrepris, dans la majorité des cas, les anomalies positives et négatives de la nappe phréatique ne feront que s'accroître. Le phénomène de remontée dans les zones urbaines, les plantations irriguées par des forages au CT et au niveau des rejets ne feront que s'amplifier.

A court ou à moyen terme un drainage/assainissement des zones urbaines ainsi qu'une gestion CT/nappe phréatique des zones agricoles sont nécessaires.

Durant cette période, le secteur d'agriculture dans la région du Souf présente une modification dans sa typologie d'agriculture à cause de l'apparition d'un intrus dans le paysage Soufi qu'est le mini-pivot.

L'algérien a fait l'expérience des grands rampes-pivots imités du système californien, initiées sur son sol (à Ouargla, Adrar...) par des entreprises américaines, et irrigant d'un coup 30 à 50 ha. Cette technique a donné lieu dans le Sahara algérien à bien des avatars (Mostefaoui A., 2002 ; Cote Marc, 2006).

Les soufis ont vu l'intérêt de reprendre cette technique à leur mode et à leur échelle. Ils se sont essayés d'abord à bricoler de très petits engins, irrigant 1/4, 1/3 ou 1/2 ha, et fabriqués sur place à partir de tubes, de câbles d'acier, de roulements de voiture, d'engrenages de récupération. Seuls les asperseurs étaient spécifiques. Ces pivots, comportant un bras articulé double, ont leurs deux extrémités coudées, et tournent sous la seule pression de l'eau d'arrosage envoyée par la motopompe.

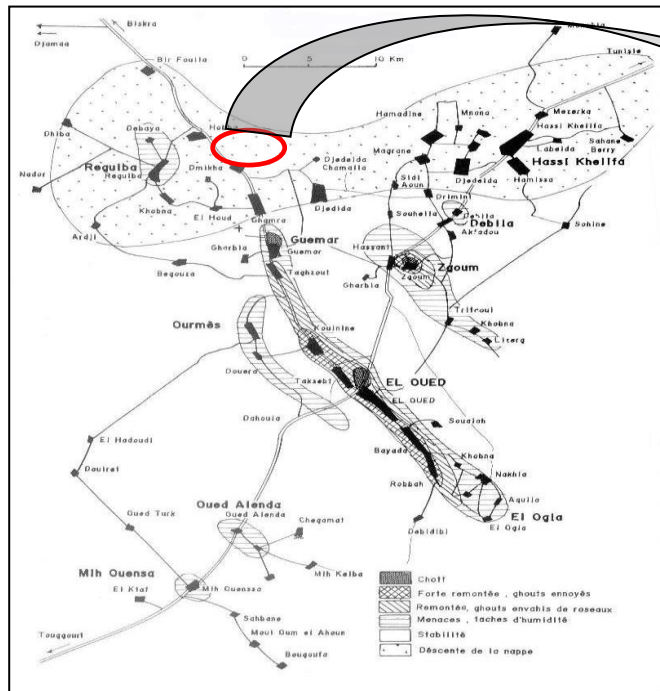
Puis les exploitants sont passés à des pivots plus grands, comportant un bras unique, reposent en son milieu sur une roue au sol, et qui doivent être mus par un petit moteur électrique. Ils permettent d'irriguer 1 à 2 ha (figure 33).

Tous ces engins sont fabriqués sur place, par des artisans du Souf, mécaniciens ou ferronniers. Certains s'enhardissent à faire construire des pivots de 4 ha, et d'après l'enquête que nous avons menée le pivot du grand périmètre privé de Dahouia irriguait 20 ha (250 m de diamètre) c'est le plus grand dans la région du Souf.



Figure 33 : *Forme de l'agriculture nouvelle le mini-pivot de fabrication artisanale.*

Chaque exploitation compte son puits et sa motopompe, les grandes exploitations en disposent souvent de plusieurs, s'équipent de pompes verticales, de puits avec tiges de sondages. Le nombre de puits équipés est passé approximativement de 4200 en 1992 (BNEDER, 1993), à d'environ 21 000 puits aujourd'hui (DSA. d'El Oued, 2007). Et à cause de ce grand nombre de puits (à motopompe) le comportement spatial de la nappe phréatique a changé (figure 34).



Figure



34 : *Le comportement spatial de la nappe phréatique pour cette période (actuelle) (Cote Marc, 2006).*

(Les motopompes) elles tirent leur eau de la nappe phréatique; la percolation est faible l'évapotranspiration très forte; elle représentent donc une consommation par rapport à cette nappe surtout dans la zone nord du Souf qui connaît une grande densité d'utilisation de cette technique d'irrigation.

Depuis l'apparition de la remontée, les pouvoirs publics se sont alarmés, les médias se sont mobilisés, la population locale s'inquiète également. Le changement apparaît lié de façon évidente au comportement de la nappe phréatique. Pourquoi celle-ci remonte-t-elle? Catastrophe naturelle, ou humaine? Plusieurs et diverses explications ont été avancées, tant par des techniciens que par les responsables locaux.

L'analyse de la réalité montre donc que, en l'occurrence, la nature n'est pas en cause. Il nous faut donc recouvrer à la recherche, et essayer d'aller plus loin dans la compréhension du phénomène (remontée-rabatement).

Conclusion

Devant cette situation critique (remontée-rabattement de niveau des eaux de la nappe), surtout dans les zones d'agglomérations, il y a plusieurs solutions et remèdes proposés en cours d'exécution pour façonner aujourd'hui un nouveau paysage Soufi.

Chapitre III

*Le projet réalisé contre
ce phénomène*

Depuis les années 90, les autorités débattent de la crise hydraulique du Souf. Ce problème régional (géré par la wilaya), est devenu un problème national, pris en charge par le gouvernement. La bonne connaissance des potentialités hydriques, géologiques et pédologiques de la région permet d'établir un programme de mise en valeur étalé dans le temps et dans l'espace, avec de bonnes conditions de réussite. Dans ce cadre, la nappe phréatique à l'échelle de toute la région du Souf a fait l'objet de plusieurs études hydrogéologiques et hydrochimiques, des campagnes de mesures piézométriques ont été menées par des bureaux d'études, Algériens, Alsaciens, Russes, Suisses, Portugais, Italiens et d'autres, se sont vu confier cette tâche principales, sont:

- * Dans le but de maîtriser et limiter l'ampleur de la remontée de la nappe phréatique, l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) d'Ouargla, a réalisé depuis 1990 une étude générale, basée sur des campagnes piézométriques et d'échantillonnages, effectuées sur l'ensemble de la région du Souf. Cette étude a permis d'établir des cartes Isovaleurs (isopièze, isobathe, isohyaline etc...) en vue de déterminer le sens d'écoulement des eaux de cette nappe (Nord-Sud), ainsi que les aquifères existants dans la zone du Souf et leurs caractéristiques hydrogéologiques et hydrochimiques.

- * Le Centre de développement des techniques nucléaires CDTN (1991-1993), l'étude de ce centre a pour but de préciser l'origine des eaux de la nappe en question et leur datation et déterminer aussi l'origine et l'évolution de la salinité des eaux de la nappe avec le taux et les zones de recharge (d'infiltration et d'évaporation). A cet effet, trois campagnes d'échantillonnages ont été effectuées tout autour de la région du Souf : deux campagnes de terrain pour les analyses hydrochimiques, les isotopes stables, le tritium, l'extraction de sédiments à la tarière dans la zone non saturée et une campagne pour les carbonates des eaux aux fins de datation par le carbone-14.

- * L'Entreprise Nationale de Géophysique ENAGEO (1992), a effectué des campagnes piézométriques et des prospections géophysiques sur l'ensemble de la nappe phréatique du Souf. Cette étude basée sur la réalisation des sondages électriques a permis de déterminer la morphologie, la répartition spatiale et la profondeur du substratum imperméable de la nappe phréatique. La méthode utilisée est celle du sondage électrique.

I- consistance dans l'analyse exhaustive et caractérisation détaillée de la situation actuelle, en tout ce qui concerne le système d'écoulement et de collecte des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation des vallées du Souf et de Ouargla ;

II- Le but final est la maîtrise du phénomène de la remontée de la nappe phréatique dans les vallées citées et la proposition des mesures à court et à long terme qui permettent le contrôle du comportement de la nappe, notamment d'arrêter ou même de renverser le phénomène.

III-1 Les remèdes de phénomène de la remontée de la nappe phréatique :

III-1-1 Le système de drainage:

III-1-1-1 réseau de drainage horizontal :

Au début des années 90 on a enregistré le démarrage des travaux de réalisation du réseau de drainage, qui est devenu opérationnel en 2001. Actuellement, seule la commune d'El Oued possède particulièrement un réseau de drainage horizontale, qui dessert les zones basses de l'agglomération, c'est-à-dire essentiellement le quartier Nezla et une partie du quartier Chott et Sidi Mastour (la principale zone menacée par le phénomène de remontée des eaux de la nappe). La collecte est gravitaire et aboutit à unePuisard de

collecte de diamètre de 3m et une profondeur de 5m dans lequel coulent trois collectes drainant de trois zones différentes (Figure 35,B), dans la même enceinte que la station de relèvement ST10 (Figure 35).



(A) Conduite de refoulement vers le canal de collecte (B) Puits de collecte

Figure 35 : Station de pompage des eaux de drainage ST10.

Le réseau de drainage des eaux excédentaires (les eaux de la nappe phréatique) présente 4050 m de longueur, La quantité d'eau à drainer environ de 6200 m³/jour (débits totale – débits de drains horizontale), les collecteurs sont des conduites d'amiante ciments de diamètres DN 200 perforés de trous de diamètre 2 cm, la distance entre deux trous est 20 cm ces trous se distribuent sur un angle 120° orienté vers la haut (Figure 36).



Figure 36 : Conduite d'amiante ciment utilisée dans le réseau drainage horizontale

Le partie inferieur de la conduite sont dépourvu de trous. Selon les renseignements obtenus, ces drains seraient posés à l'intérieur d'un enrobage de graviers, mais sans géotextile, ce qui explique qu'ils s'ensablent de man (Figure 37).

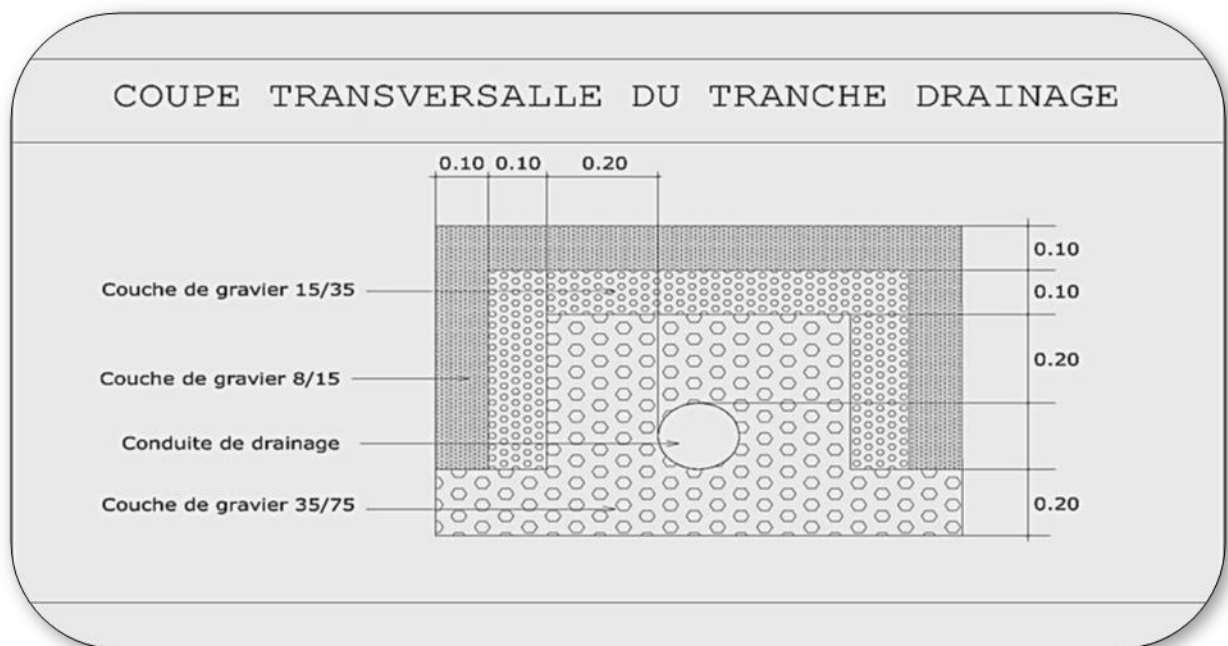


Figure 37 : Coupe transversale du tranche de drainage horizontale

Selon la figure 37 on a remarqué que le drainage horizontal est coûteux; de point de vue économique les quantités des gravier (tous les types) est énorme ; et ne donne pas des résultats (rendement de drainage) efficaces.

Ce type de drains est inutile car il ne convient pas les condition techniques parce que le diamètre de trous est grand de sorte qu'il permet la pénétration de granules de filtre et les granules de sable en plus.

Les profondeurs de drains se varient de 1.60 à 4.70 m. et un moyen près de 3m. La plupart des regards possèdent des couverts qui se situent au-dessous du niveau de la route, ou contraire, ils sont si supérieurs d'elle. Les regards sont fabriqués du ciment résistant les sels (HTS) les dimensions de regards 1.20x1.20m l'épaisseur de mur du regard balance entre 0.15 et 0.20 m, le nombre de regards qu'on a pus les localiser est 85 regards et de nombreux regards ne sont pas ouvrables pour contrôler le réseau (ONA d' El Oued 2014).

On a trouvé que le niveau de l'eau dans la plupart de regards est identique à celui de la couche superficielle qui s'émerge parfois au sol en formant des mares aux bords de drains avec beaucoup de sédimentation de sable au fond de regards. Comme le débit augmente d'autant que la distance (le débit collecté venant au drain à travers les trous à l'addition de débits venant préalablement) , et parce que le diamètre de drain ne se change jamais la coupe horizontale de drain sera émergée de l'eau qui se fonctionnera sous la pression. Alors la pression dans la conduite sera supérieure de celui hors d'elle, et à travers les trous de drain , la pression se fait sur les granules de la couche caillouteuse (filtre de protection) et elles seront remplacées par les granules de sable qui se sédimentent au fond du canal , en plus de ça l'existence d'excréments et d'ordures jetés dans les regards.

Le collecteur drainant le plus long est le drain principal de la cité Sidi Mastour de longueur de 2504m (Figure 38).

Figure 38 :*Réseau de drainage horizontale de sidi mastour*

En ce qui concerne la distance entre les regards, on a constaté une grande différence, or elle se varie de 217m à 14m, et quant aux diamètres de drains et les collecteurs drainent

il reste toujours invariables, le diamètre est 200mm. Les pentes se varient de 0.02% à 0.03% (ONA, El Oued).

La mise en œuvre du collecteur drainant à la cité de Sidi Mastour a été faite en plusieurs tranches, les nouvelles joignent les anciennes en parcours arbitraire selon la protestation de la population contre la mairie parce que les habitants sont nuisiblement touchés par le phénomène de la remontée sans respecter les normes technique dans la réalisation du réseau d'assainissement.

III-1-1-2 Réseau de drainage vertical :

Un mégaprojet est lancé par les pouvoirs publics pour endiguer ce phénomène, après l'étude réalisée par l'Entreprise Nationale des Projets Hydrauliques de l'Ouest (E.N.H.P.O) et par la convention avec le bureau d'étude du Bonnard & Gardel en 2000, pour drainer les eaux excédentaires, en évacuant vers le chott limitrophe de Halloufa.

L'étude de 3 variantes du système de drainage a été réalisée en novembre 2003 pour l'agglomération d'El Oued dans le but :

- * d'équilibrer le bilan d'eau au niveau de la ville d'El-Oued.
- * d'assurer une profondeur minimum de la nappe phréatique de 1,5 m dans les quartiers inondés.
- * de stabiliser ou inverser le phénomène de remontée dans le reste de la ville et d'éviter que de nouvelles zones ne soient inondées.

III-1-1-2-1 Variante I:

par drainage vertical dans 58 puits équipés de pompes immergées, nécessiter l'investissement le plus bas. L'eau drainée sous la ville est de bonne qualité. Elle peut être utilisée pour l'agriculture, ce qui permettrait d'irriguer localement 620 ha. On économiserait ainsi les coûts dus à l'augmentation du diamètre et de la capacité de pompage pour la conduite de rejet vers le nord (la moitié des investissements de drainage). La nappe serait rabattue entre 5 et 10 m de profondeur, ce qui autorise l'assainissement autonome.

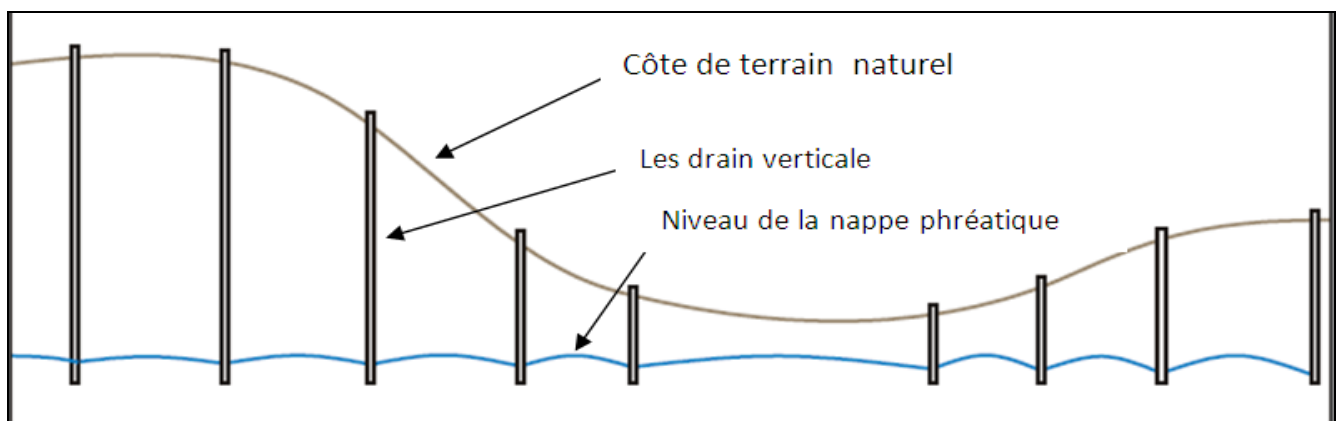


Figure 39 : Variante 1 - Profil schématique

Le drainage vertical, par pompage dans les forages, pourrait permettre d'abaisser suffisamment la nappe pour assainir les Ghouts. L'eau prélevée en profondeur, directement sous les sites d'infiltration, est de bonne qualité. La nappe peut être rabattue suffisamment pour que sa pente devienne pratiquement nulle et que l'écoulement souterrain vers les points bas s'arrête. (Les drains verticaux sont figurés en noir). À

remarquer que si on raccourci les forages profonds, on risque le dénoyage des pompes qui ne jouent plus leur rôle de drainage. Les quantités non drainées dans les parties hautes se reportent sur les parties basses où il faudrait augmenter la densité des forages.

Le système est souple, il permettrait la création locale d'espaces verts et l'irrigation des périmètres agricoles développés à l'est de la ville. Le pompage pourrait, dans certaines limites, être modulé en fonction du coût de l'électricité ou des saisons. Pour toutes ces raisons, il est fortement recommandé, et il a été retenu .

III-1-1-2-2 Variante II :

par drainage horizontal, l'eau est drainée entre 2 et 5 m de profondeur par un réseau de drains espacés de 300 m pour maintenir la nappe à au moins 1 m de profondeur à mi-distance entre eux. Dans la partie haute de la ville, là où l'eau est de bonne qualité, peu salée, les drains se déversent dans les collecteurs d'assainissement. Ceux-ci sont dimensionnés en conséquence de même que la station de traitement qui recevra plus d'eau à traiter. On peut observer que la quantité d'eau faisant monter le niveau de la nappe dans ces zones hautes ne représente que 10 % des quantités infiltrées, le solde s'écoulant vers les parties basses. Le bio-drainage pourrait être envisagé dans ces régions : il suffirait de 6200 arbres adultes irrigués par puits dans la nappe phréatique pour assainir les quartiers hauts de la ville. Les quartiers bas tels que Sidi Mestour et le Chott reçoivent le solde de l'eau par écoulement souterrain. Ils sont drainés par un réseau séparé du réseau d'assainissement et nécessitent trois stations de relevage supplémentaires. L'eau est salée et ne peut pas être mélangée aux eaux usées avant traitement. Elle est évacuée vers le nord par une conduite distincte. L'assainissement autonome est à proscrire, la nappe phréatique montant jusqu'au-dessus du niveau des drains.

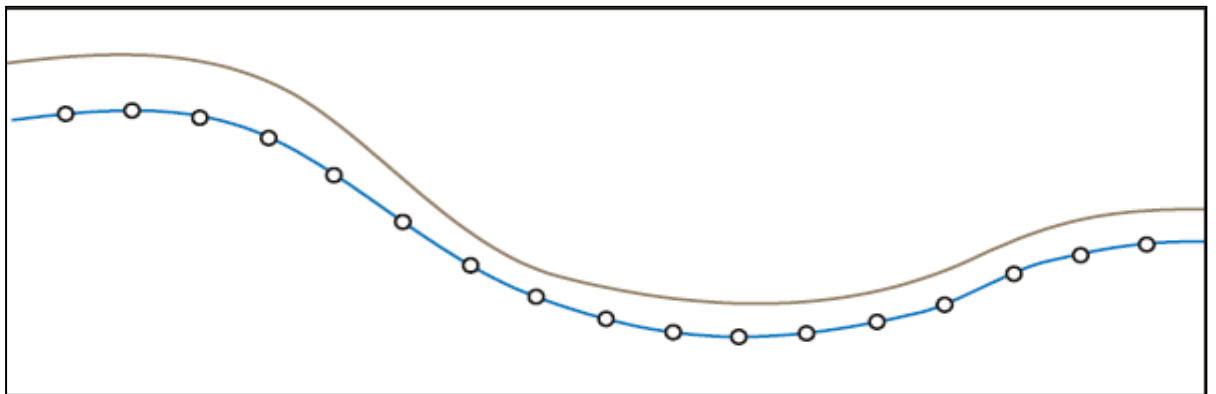


Figure 40: Variante 2 - Profil schématique

La nappe monte jusqu'au niveau des drains dont la profondeur règle son niveau, Elle présente une pente qui permet son écoulement vers les points bas, Les drains capteront relativement peu d'eau dans les points hauts, la plus grande partie dans les zones basses, De l'eau salée est collectée sous le Chott. (Les drains horizontaux sont figurés en noir).

III-1-1-2-3 C Variante III:

par drains horizontaux, diffère de la variante 2 en ce que les eaux de drainage sont collectées dans un réseau distinct de celui d'assainissement et les eaux souterraines sont interceptées avant leur arrivée dans le Chott et les zones basses. Ceci permet, après assèchement des zones basses, de collecter des eaux non évaporées, de bonne qualité, qui peuvent être rejetées vers le nord dans la même conduite que les eaux usées ou réutilisées

localement pour l'irrigation. Ceci nécessite une ceinture de drains empêchant l'eau d'arriver dans ces zones basses et 4 stations de relevage supplémentaires. L'assainissement autonome est à proscrire, la nappe étant à une profondeur moyennede 2,5 m (extrêmes 1 m et 4 m) entre les drains, il est inefficace.

III-1-1-2-4 Choix du système de drainage :

Lors de la séance de présentation technique du schéma de drainage de la ville d'El Oued qui s'est tenue le 10 janvier au siège de la Wilaya d'El Oued, la variante N°1 par drainage vertical dans 58 puits équipés de pompes immergées a été retenue pour ses nombreux avantages :

- * L'eau peut être réutilisée localement.

- * Les drains verticaux qui sont des puits de pompage ne nécessitent pas d'entretien s'ils sont bienréalisés et ne risquent pas de se boucher contrairement aux drains horizontaux.

- * Le niveau de l'eau peut être abaissé suffisamment pour permettre à l'assainissement autonomed'être efficace.

- * La variante présente un coût inférieur à celui des autres variantes.

Le principe de drainage est de récupérer l'ensemble des eaux d'infiltration sous l'agglomération d'El Oued par pompage dans 58 puits, dont 12 implantés en ceinture autour du Chott et des zones basses de Sidi Mestour, ils équipés de pompes immergées a été retenue pour ses nombreux avantages. Les puits sont réalisés par forage. Ils ont été implantés selon une maille régulière de 500 m.

III-1-1-2-5 Forages :

La profondeur des forages est déterminée par la cote du terrain à l'emplacement des forages et la cotede l'eau dans le Chott. Cette dernière est de 64 m, Il est prévu qu'un niveau dynamique de pompage à la cote 60 m puisse être atteint pour éviter que l'eau continue à s'écouler vers le Chott et permettre quece dernier finisse par s'assécher. Une garde de 1 m au-dessus de la pompe définit le niveau de celle-cià la cote 59 m et celui du sommet des crépines à la cote 58 m. Les crépines d'une longueur de 8 ms'arrêtent à la cote 50 m. Elles se poursuivent par un tube décanteur aveugle de 2 m. La cote de la findu forage s'établit ainsi à 48 m(figure 41) (BG ; 2004).

D'après l'office nationale d'assainissement d'El Oued ; La longueur du tubage au-dessus des crépines est définie par la différence entre la cote du sommet descrépines (58 m) et celle du terrain naturel, variable pour chaque forage. Cette dernière est compriseentre 66,75 m et 94 m, en moyenne de 79 m. La longueur moyenne du tubage s'établit ainsi à 21 m (79 m – 58 m). La profondeur des forages est comprise entre 18,75 m et 46 m, en moyenne de 31 m.

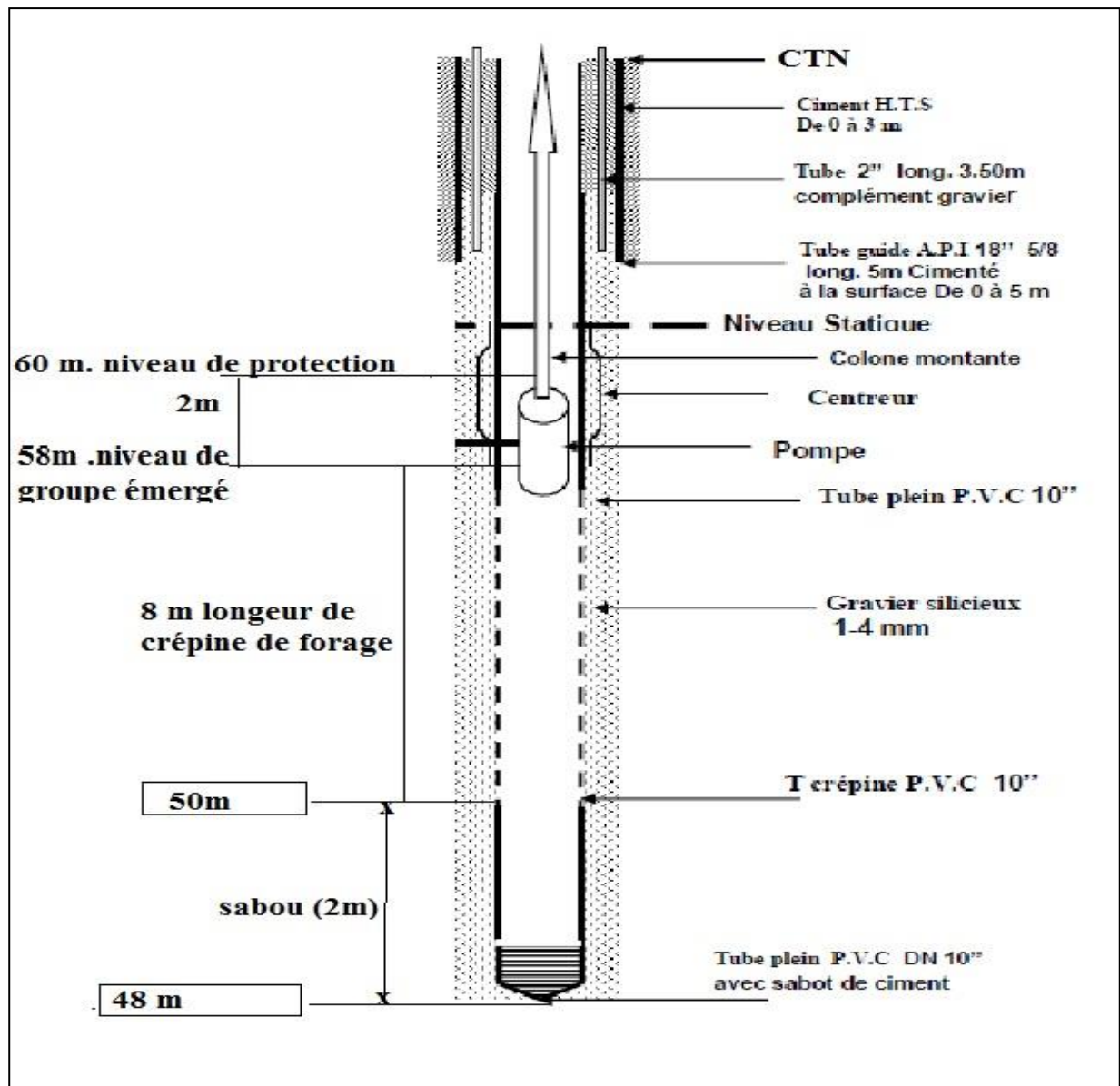


Figure 41 :Coupe transversale de forage

III-1-1-2-6 Equipement des forages :

L'équipement des forages comprend :

- * une électropompe immergée pour forage, débit nominal 6 litres/seconde (22 m³/h), y compris l'armoire électrique et les sondes de niveau bas et niveau haut
- * une colonne d'exhaure en acier à joint vissé
- * une plaque de support de pompe aménagée pour les passages étanches de la colonne d'exhaure
- * le câble d'alimentation d'énergie électrique
- * un raccord PVC pour la descente d'une sonde de mesure de niveau
- * un manomètre
- * un robinet de puisage à l'extérieur du local de protection
- * un tube de ventilation se terminant par une crosse
- * un compteur
- * un clapet anti-retour

* un ballon anti-bélier

* une vanne de sectionnement

Une section et un plan de situation type du local en maçonnerie de parpaings sont présentés aux

Figures suivantes.

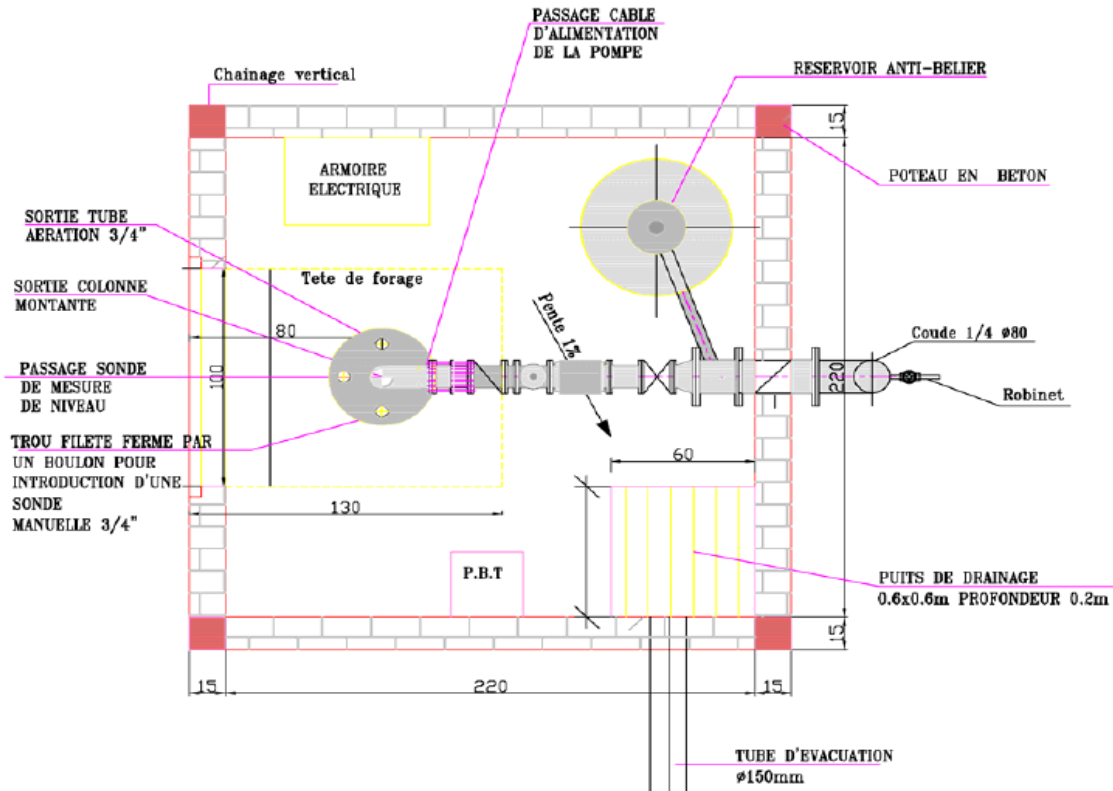


Figure 42:représentation l'équipement da forage

La tête de forage et les équipements sont protégés par un local de 2,2 m x 2,2 m en parpaings avec porte d'accès métallique et trappe métallique de toit à la verticale du forage (pour permettre la mise en place et l'extraction de la colonne d'exhaure et de la pompe).

III-1-1-2-7 Réseau de drainage vertical :

Le réseau c'est un collecteur bien définis relie les forages, La forme du réseau est ramifié, et le réseau présente 33 500 m de conduites(Figure 45),La quantité d'eau à drainer serait de 15 000 à 19 000 m³/jour ,Les forages sont reliés à la station ST10(Figure 43)par 4 grands secteurs,alignés nord-sud, à chaque conduite est associé un code alphanumérique selon les exemples suivants :

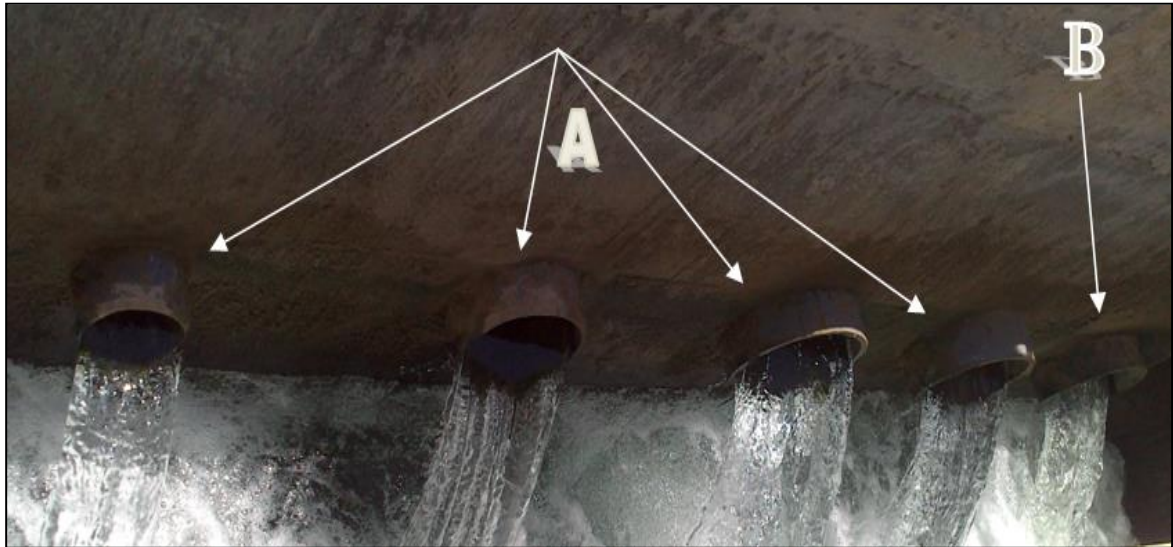
· Cxx-Pyy

Exemple C1-P2 : « C1 »: collecteur 1 ; « P2 »: deuxième tronçon / conduite depuis la station ST10.

· Pzz-kk

Exemple P32-2 : « P32 » : collecteur qui relie le forage 32 ; « 2 »: deuxième tronçon / conduite depuis le forage

Au total 254 tronçons de conduites sont considérés.



(A) les eaux de drainage verticale (4 secteurs) (B) les eaux de drainage horizontale

Figure 43 : canal de collecte des eaux de drainage " ST10 "

Les eaux accumulées dans le canal de collecte (drainage verticale + drainage horizontale), à Collecté vers la bêche de station de pompage de eaux de drainage (figure 44), et ensuite à chemin d'équilibre " MC 03 "



Figure 44: bêche d' eau des eaux de drainage ST10

Figure 45:*plan de réseau de drainage verticale*

III-1-1-2-8 Diamètre des conduites :

Le choix des diamètres des conduites a été fait sur la base de critères de vitesse (entre 1 m/s et 2 m/s) et d'économie.

Les caractéristiques des conduites choisies sont les suivantes :

- * Matériau PRV (bonne résistance mécanique, coût limité, classe de pression adaptée)
- * Rugosité Hazen-Williams $C=130$, qui correspond à $k_s=0.26$ mm (Darcy)
- * Classe de résistance PN12

La gamme des diamètres utilisée est résumée au (Tableau 04).

Diamètre de conduit	Linéaire de conduit
80	14310
100	7020
125	1810
150	2090
200	5060
300	3090
Total	33380

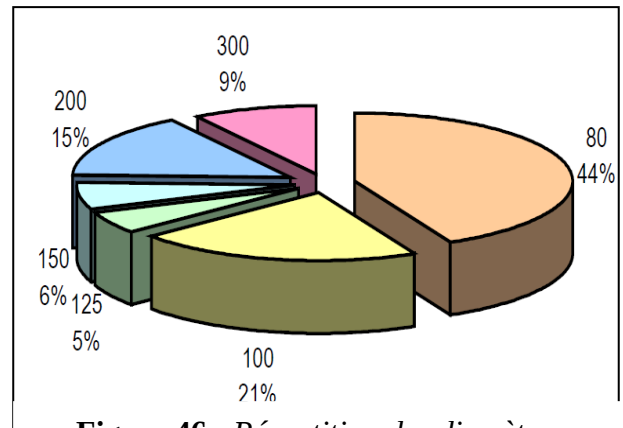


Figure 46 : Répartition des diamètres

Tableau 04 : Gamme des diamètres

III-1-2- Le système d'assainissement:

III-1-2-1-le réseau d'assainissement:

III-1-2-1-1-historique du réseau d'assainissement du Souf:

De très lourds travaux d'assainissement ont été engagés à El Oued depuis 1981 avec une faible efficacité (DRE. El Oued, 2007). La commune d'El Oued, la Seule à être assainie partiellement, et la commune de Guemmar dispose d'un réseau non fonctionnel. Le taux de raccordement de la population au réseau d'assainissement d'El Oued serait de l'ordre de 14% d'après l'Office National d'Assainissement (ONA) d'El Oued. Les autres communes ne disposent pas de réseau d'assainissement.

a : Assainissement collectif:

Le réseau d'assainissement se compose de collecteurs d'eaux usées et de collecteurs des eaux de drainage. Toutes les eaux sont évacuées en dehors de la ville (figure 47), vers une cuvette où s'est formée une grande lagune. Et les ouvrages d'assainissements sont ainsi composés de :

* 73 700 ml de collecteurs des eaux usées (réseau d'assainissement) (figure 47) la grande partie non fonctionnelle, posés sans regards et sans branchement (COBA et al.1997).

Pour Guemmar, le réseau qui concerne les quartiers nord de la ville, a une longueur de 6 km environ. Avec l'absence de station de pompage à l'aval, ce réseau n'a pas été mis en service.

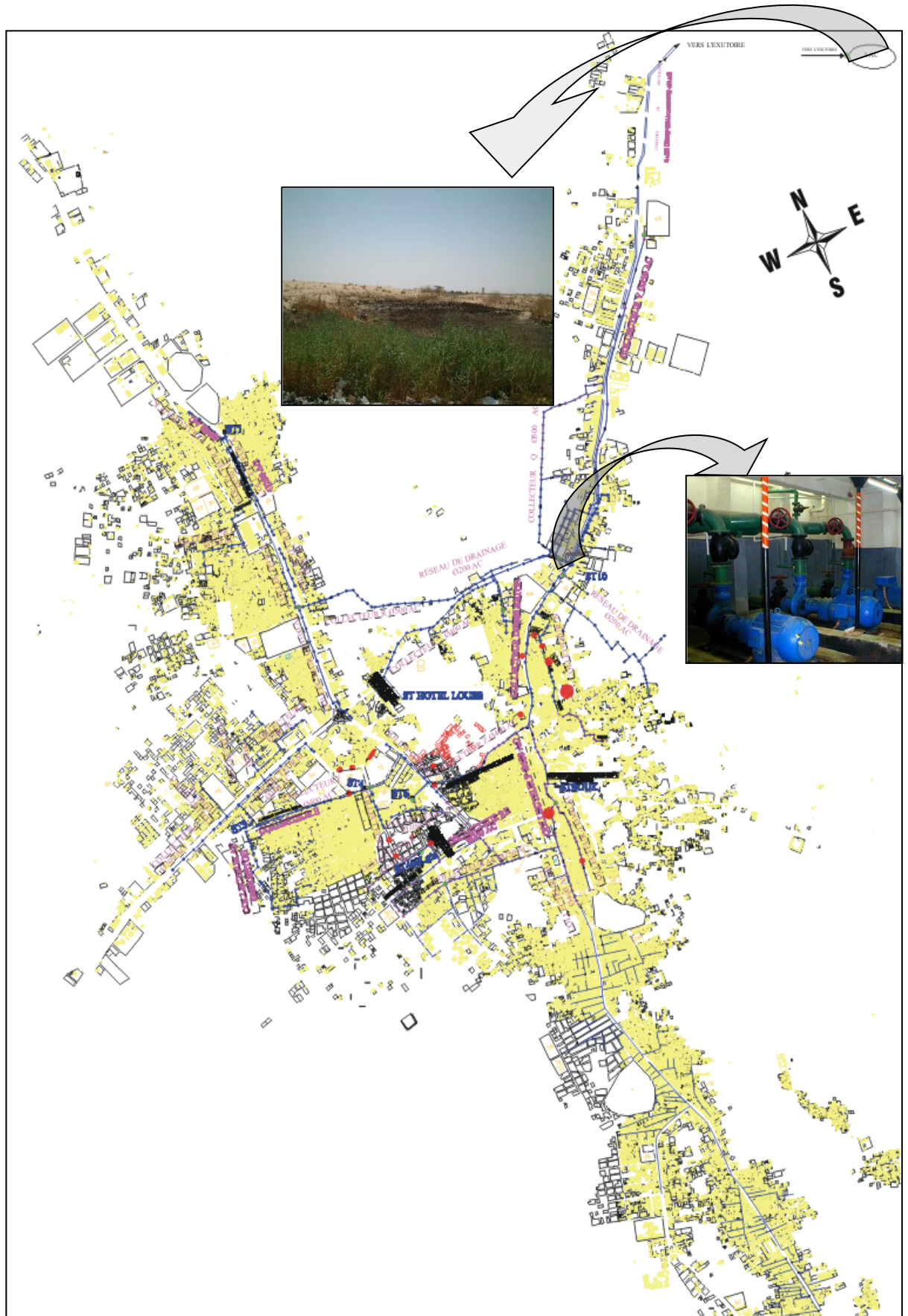


Figure 47 : *Le réseau d'assainissement de la commune d'El Oued (Bonnard & Gardel, 2004c).*

Pour El Oued, l'ossature du réseau (diamètres de 200 à 600 mm) a une longueur de 23 km environ en service (Bonnard & Gardel, 2003a).

* Une (1) station de pompage (refoulement) avec sa conduite de refoulement en 2×DN 400 mm, refoule les eaux usées et les eaux de drainage de la ville d'El Oued à une distance de 4 km de long vers le Nord-Est à ciel ouvert, et 8 stations des relevages, six en marche et deux en panne depuis plusieurs années (DRE. El Oued, 2007).

La situation générale des stations de pompages (Figure 48), est infectée et mauvaise ; que ce soit le génie civil, les équipements et surtout l'entretien des stations. Le paradoxe est que des stations n'ont pas été mises en service à ce jour (comme la station une (1), et pour des autres stations (pour protéger les pompes des stations), l'exploitant des stations a imaginé une solution transitoire consistant à fermer presque complètement la vanne d'arrivée, de telle sorte que les déchets solides de trop grande dimension se trouvent bloqués derrière la vanne et n'entrent pas dans la bache.

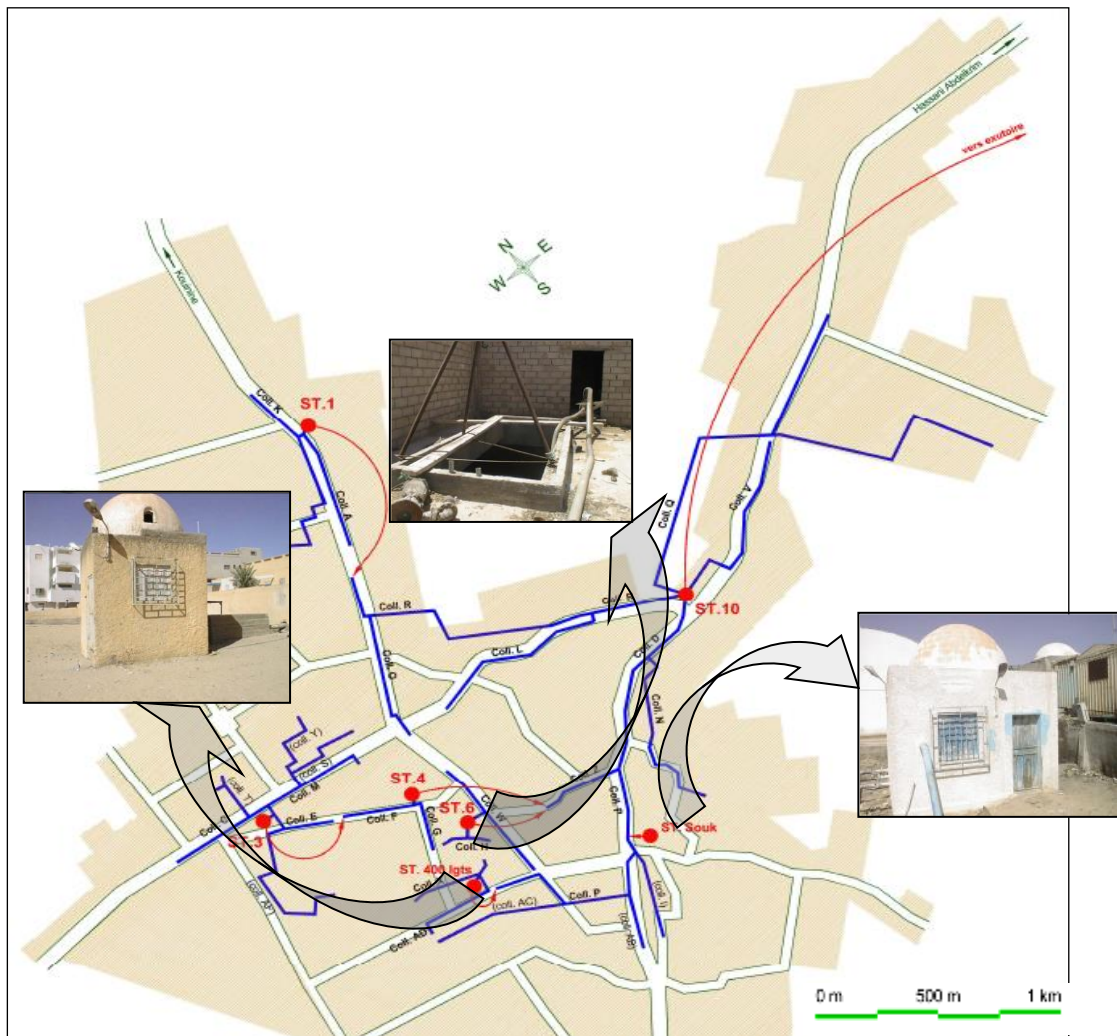


Figure 48 : Localisation des stations de relèvement existantes (Bonnard & Gardel.2003b)

Cette disposition présente l'inconvénient de mettre en charge une partie du collecteur d'arrivée, le dernier regard en particulier ayant presque une allure de fosse septique, avec une espèce de croûte en surface, ce qui n'est pas recommandé. (Fermentations, risques de mauvaises odeurs et de colmatage). Il faut rouvrir complètement cette vanne et quitte à réparer sommairement le dispositif de dégrillage actuel en attendant la mise en place d'un équipement plus fiable et plus pratique.

Le tableau 05 donne les caractéristiques de quelques stations de relevage existantes dans la région :

Tableau 5 : Caractéristiques de quelques pompes des stations de relevage (COBA et al.1997) :

Caractéristique Code de station	Débit de pompage Q (m3/h)		Hauteur manométrique (m)		Puissance (KV)	
Station N° 1 (Teksebte)	200	3*	30	9*	30	0,45*
Station N° 3 (17 Octobre)	200	-	79	-	30	-
Station N° 4 (Najare)	200	3*	79	9*	30	0,45*
Station N° 6 (Cité l'Amire A-Kader)	175	3*	20	9*	18	0,45*
Station N° 10 (la station principale)	400	-	43	-	110	-

(*) La pompe de vidange de la station (pompe de secours).

Aux cours des visites réalisées au niveau de la station principale, nous avons remarqué que le groupe électrogène n'aurait jamais été mis en service par son installateur (pour la ST3 et ST 4), les pompes de secours ont été relevées totalement. Le dispositif d'Anti-Bélier installé dans la station principale ST(10) est en mauvais état.

Le volume réel collecté par le réseau d'assainissement existant serait de 2026 m3/j (estimé après la campagne de mesures réalisé par ENHPO). En tenant compte du taux de raccordement de 14% à El Oued (ONA), le volume d'eaux usées produit par habitant et par jour serait de 180 litres. Or, la dotation en eau par habitant est de 355 litres/j/hab, d'où une perte de 175 litre/jour/habitant. Ces pertes journalières représenteraient un volume total journalier de 19 753 m3 soit 721 000 m3/an.

Selon les analyses réalisées par BG-HPO, la charge de pollution journalière exprimée en DBO5 et générée par un habitant serait de 63,54 g soit 7172 kg.

b : Assainissement individuel:

Les bouchages du réseau ou le mauvais état de fonctionnement, et son manque d'efficacité, ont fini par inciter à conserver les systèmes d'assainissement individuels et ne pas faire la confiance au réseau collectif d'assainissement.

Ce système d'épuration individuel se compose généralement d'une fosse aménagée (Figure 49) ou d'un puits perdu aménagé au sein de l'habitation, dans les jardins ou les cours intérieures ; on a dit puits parce que dans un certain nombre de cas le Soufi change le puits (qu'il a déjà utilisé pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation de son jardin) en fosse perdue pour évacuer directement les eaux usées (domestiques), et le changement de qualité des eaux des puits (la salinité des eaux) représenté la cause principale de abandon du puits.

Le Soufi utilise dans la construction des fosses (puits) perdues les matières naturelles locales, essentiellement les roches de rose des sables, parce que la résistivité de ces roches à

l'infiltration des eaux est très grande à cause de sa composition chimique qui est basée sur les cristaux de sable (quartz), qui ne présente aucune réaction chimique avec les eaux infiltrées, ce qui représente un bon support d'infiltration de ce dispositif d'épuration traditionnel (Figure 49).

La pratique de la fosse perdue est privilégiée pour les 18 communes du Souf qui totalisent 36 265 fosses (tableau 06).

Tableau 06 : Répartition des fosses par commune (Bonnard & Gardel, 2002b).

Commune	Nombre de fosses
<i>Bayadha</i>	3051
<i>Ogla</i>	470
<i>El Oued</i>	1165
<i>Debila</i>	2011
<i>Guemmar</i>	2612
<i>Hassi Abdelkrim</i>	1784
<i>Hassi Khalifa</i>	2195
<i>Kouinine</i>	1016
<i>Magrane</i>	1941
<i>Mihouansa</i>	613
<i>Nakhla</i>	1155
<i>Oued Allenda</i>	513
<i>Ourmes</i>	404
<i>Reguiba</i>	2455
<i>Robbah</i>	2006
<i>Sidi Aoun</i>	845
<i>Taghzout</i>	849
<i>Trifaoui</i>	680
Total	36 265

Des analyses bactériologiques ont été réalisées sur des puits situés dans les agglomérations. Quelques contaminations de puits ont été mises en évidence sans pouvoir affirmer que l'assainissement autonome en soit responsable.

Cette forme d'assainissement individuel a largement contribué à l'alimentation de la nappe phréatique et à la contamination des eaux souterraines après quelques années d'utilisation, où les fosses seront saturées par les matières organiques et les matières qui colmatent, et diminuent le rendement épuratoire de ce système d'épuration individuel.

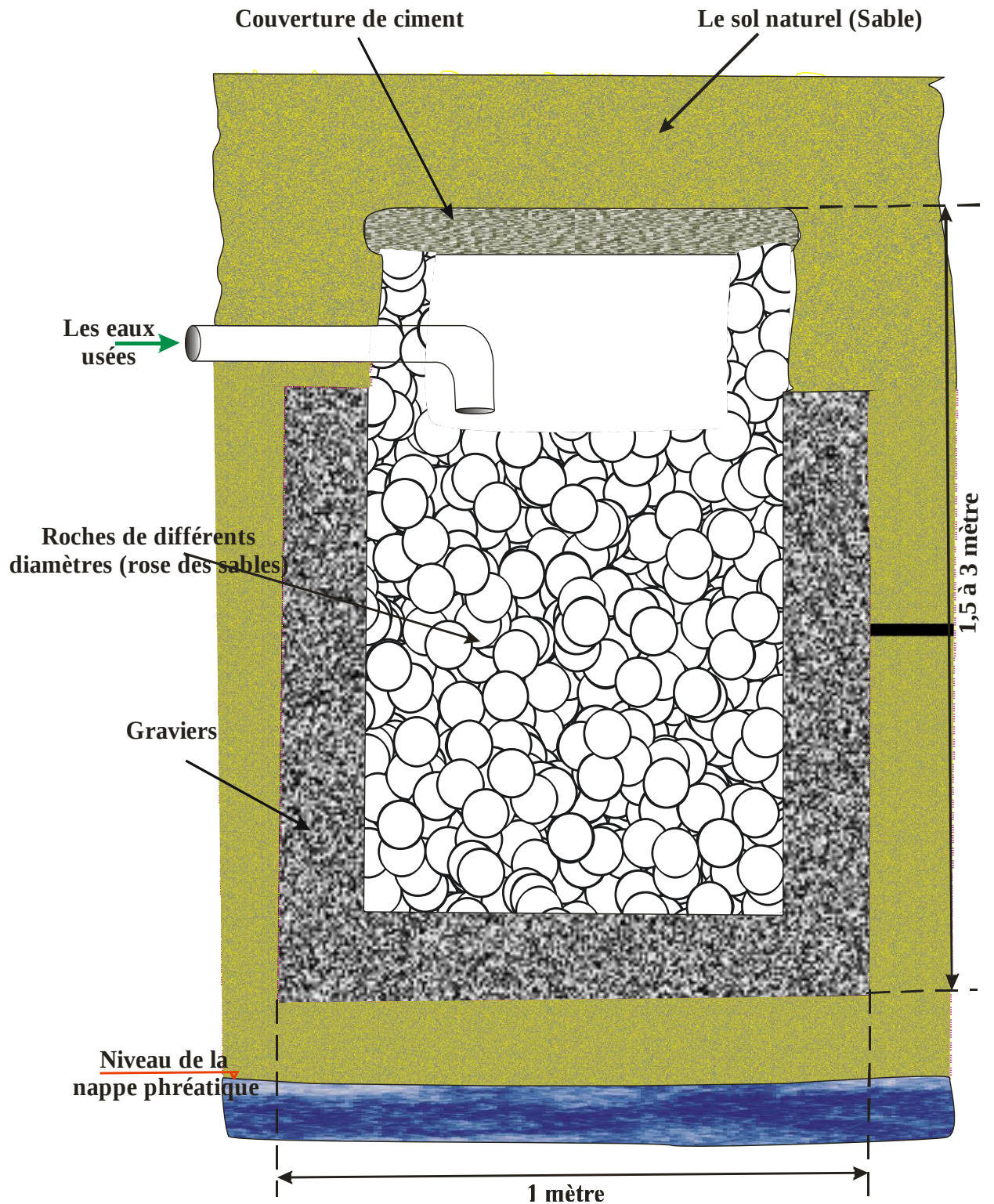


Figure 49 : *Le système traditionnel d'assainissement (la fosse perdue).*

c :La zone de rejet d'El Oued:

Seule la commune d'El Oued dispose d'un réseau de collecte des eaux usées urbaines et les eaux de drainage distinct et fonctionnelle couvrant qu'une partie de la ville (14% soit 90 l/s).

Ces eaux sont acheminées au Nord-Est de la ville d'El Oued, évacuées et déversées sans traitement dans des dépressions que nous appellerons zone de rejet, formant une lagune. Cette lagune constitue avec la décharge un point noir (chaud) de pollution (figure 50).

Cette zone qui couvre une superficie de 3,7 ha en 2001 (Bonnard & Gardel, 2001b) et qui s'étend progressivement dans les dépressions, est constituée d'une série de " mares " colonisée d'environ 85% par des roseaux (figure 50).

Ces eaux, qui en apparence semblent stagner (saturation du sol et affleurement de la nappe à cet endroit), s'infiltrent en grande partie pour rejoindre la nappe et s'évaporent pour une faible partie, donc on peut dire que la nappe phréatique est le seul exutoire actuel dans la région du Souf.

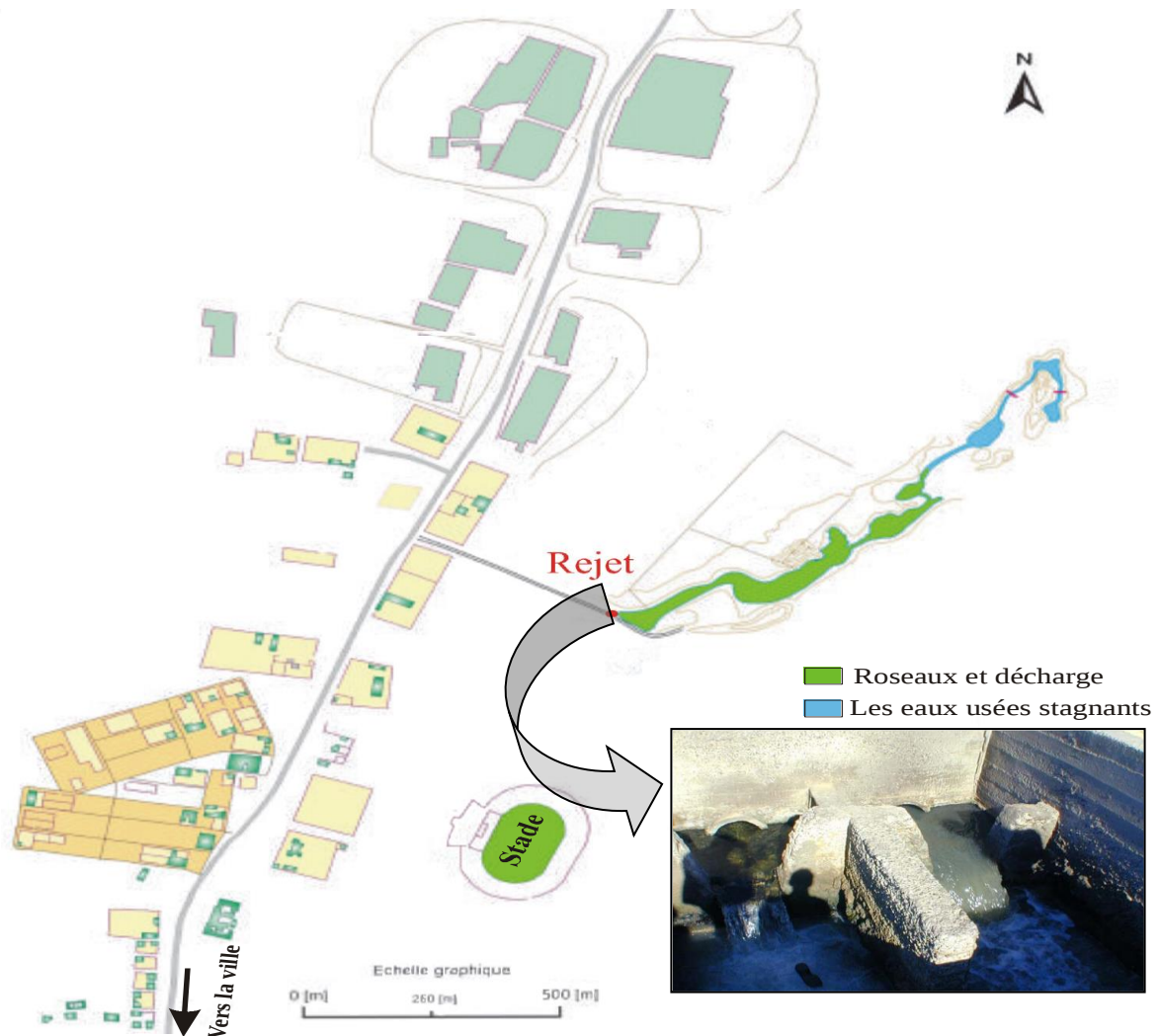


Figure 50 :La zone de rejet d'El Oued (Bonnard & Gardel, 2001b)-Modifier-.

❖ Pour répondre à la question fondamentale celle de savoir quoi faire de ce volume d'eau en excès, le bureau d'étude de Bonnard & Gardel responsable de contrôler l'exécution de travaux sur le terrain, et qui se base sur une étude complète pour remédier la région de ce phénomène (remontée de la nappe phréatique), par la réalisation de réseau d'assainissement (collectif et individuel) et le réseau de drainage dans quelques sites, avec les ouvrages de transfert des eaux usées (stations de pompage -refoulement et relevage-), et les stations d'épuration, sans oublier la solution de la direction de conservation des forêts qui propose et réalise la ceinture verte.

III-1-2-1-2-le réseau d'assainissement actuelle :

❖ Un mégaprojet est lancé par les pouvoirs publics pour endiguer ce phénomène, après l'étude réalisée par l'Entreprise Nationale des Projets Hydrauliques de l'Ouest (E.N.H.P.O) et

par la convention avec le bureau d'étude du Bonnard & Gardel en 2000, pour assainir les eaux usées (domestique et industrielle), en évacuant vers le chott limitrophe de Halloufa (figure 51). Il constitue un espoir pour les populations locales et la survie de l'oasis.

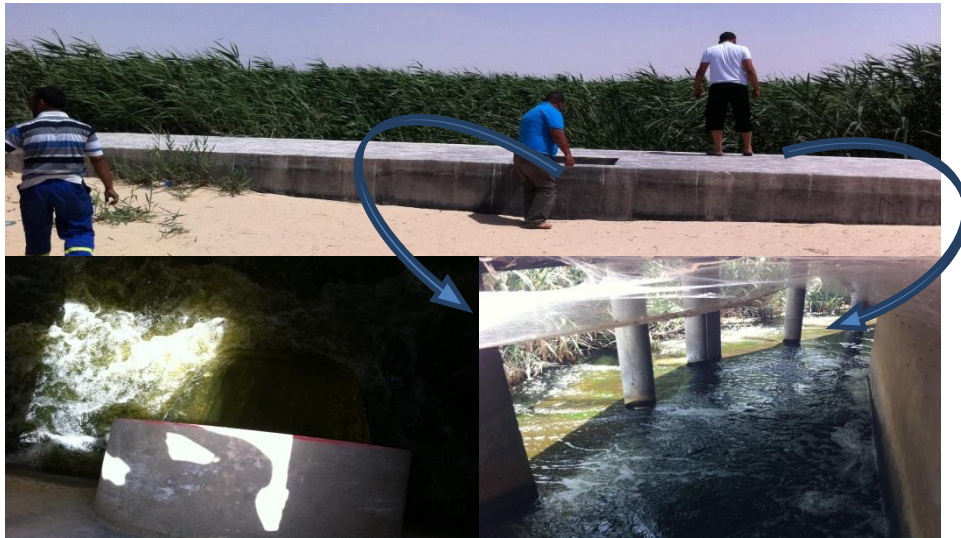


Figure 51 : *La zone de rejet actuel d'El Oued*

- ❖ Le Schéma directeur d'assainissement des eaux usées et pluviales de la vallée de Souf (Horizon 2030) fixe les orientations et les conditions de collecte, d'évacuation, et d'épuration des eaux usées.

- ❖ La solution adoptée dans le Schéma Directeur et étudiée, présente les caractéristiques suivantes :

- ❖ - assainissement en collectif des agglomérations où cela s'avère intéressant pour lutter contre la remontée de la nappe, avec réhabilitation des réseaux et stations de pompage existantes,

- ❖ - traitement des eaux brutes par agglomération ou groupe d'agglomérations à l'aide des stations d'épuration par lagunage aéré, au nombre de 4 stations,

- transfert des eaux traitées au Nord par une canalisation recevant les eaux issues de chaque station d'épuration, laissant la possibilité d'une réutilisation agricole ultérieure le long du tracé,

- aménagement d'un point de rejet. La figure 52 synthétise ces éléments. Elle comporte les limites PDAU (Plan Directeur d'Aménagement Urbain) des assainissements collectifs en bleu clair, celles de l'assainissement autonome en gris, les sites de stations d'épuration (STEP 1 à 4) délimités en vert, les tracés de canalisations de transfert des eaux brutes jusqu'aux stations indiquées en rouge, et ceux des collecteurs de transport des eaux traitées en bleu (figure 52).

Les solutions proposées Doivent assurer l'absence d'impacts négatifs au niveau des exutoires de ces eaux résiduaires tant en terme de salubrité que de quantité (remontée inacceptable du niveau de la nappe notamment).

Elles doivent être également adaptées au contexte, durables, compatibles avec le développement de la vallée et économiquement acceptables.

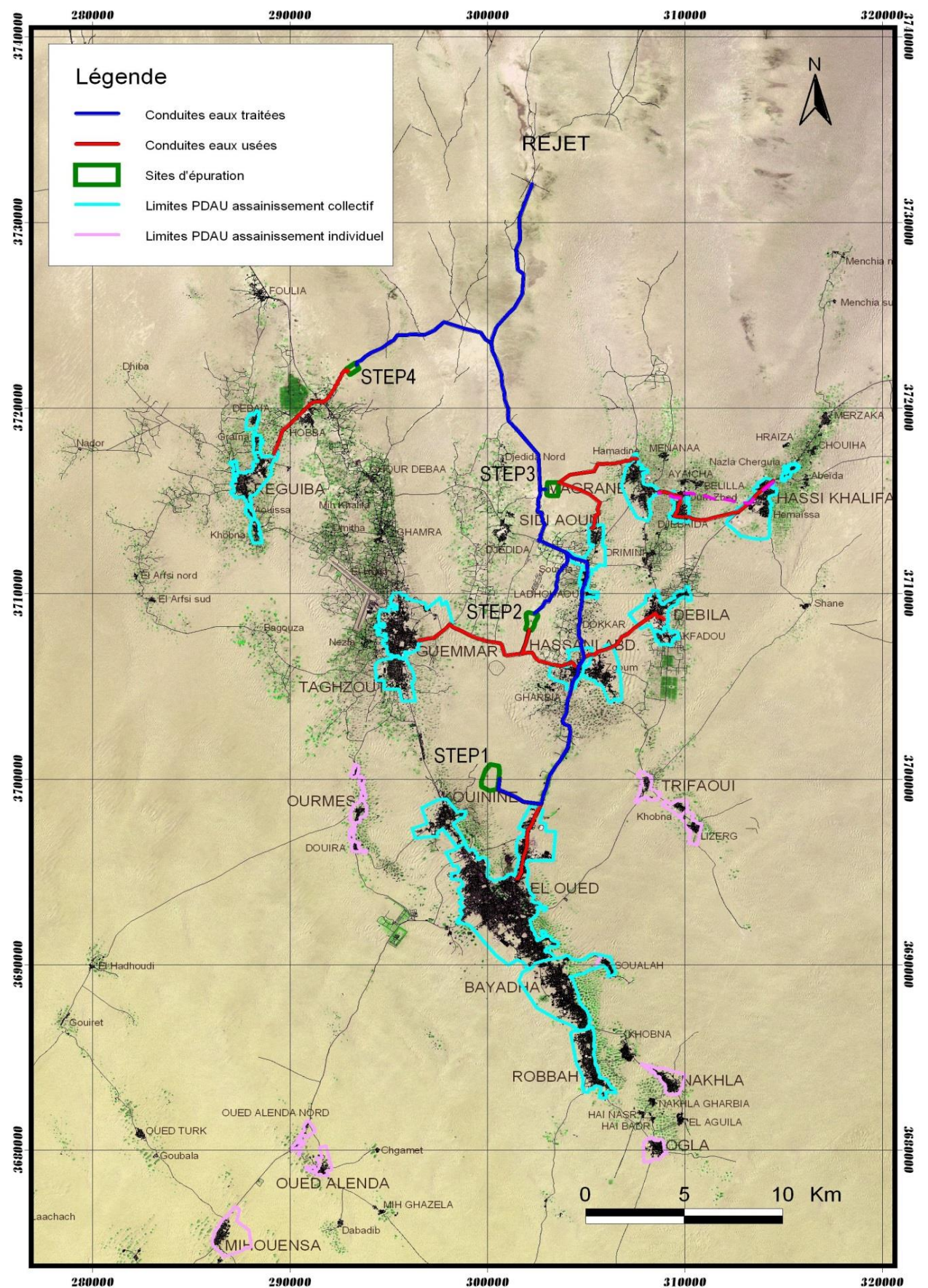


Figure 52 : Schéma directeur d'assainissement de la vallée du Souf (Bonnard & Gardel, 2003b-2004c).

a- Assainissement collectif:

L'assainissement collectif qui consiste à collecter et transférer les eaux usées afin de les traiter en un seul point. Cette solution est adaptée aux zones d'habitat dense, aux grandes agglomérations et aux zones où l'assainissement individuel n'est pas possible (contraintes de nappe, nature des sols...).

Concevoir et réaliser un réseau de collecte des eaux usées de la grande partie des localités importantes du Souf et un collecteur principal longeant le Souf du Sud au Nord pour recevoir toutes les eaux des localités et les évacuer hors du Souf (au Nord) vers le chott (figure 53).

Le présent projet d'assainissement fait partie du projet global de lutte contre la remontée de la nappe aquifère dans la Vallée du Souf. Il concerne les agglomérations de cette vallée, dont la population totale des communes concernées par l'étude est estimée à près de 480 000 habitants en 2010 et d'environ le 670 000 habitants en 2030. Parmi ces agglomérations, la Ville de El Oued, bien connue, est la plus importante avec une population estimée à 140 000 habitants en 2010 et 190 000 habitants en 2030 (Bonnard & Gardel, 2003a-2004c-2004d).

Les réseaux de collecte prévus (y compris réseau de desserte et refoulement) possèdent une longueur de 870 km avec environ 61 stations de pompage et relevage, le tout étant réparti entre les différentes communes.

Les paramètres hydrauliques pris en compte d'après le bureau d'étude de Bonnard & Gardel pour les calculs hydrauliques sont les suivants :

- Consommation d'eau potable : 240 litres par habitant et par jour;
- Taux de raccordement au réseau d'eau potable: 100 %;
- Coefficient de restitution à l'égout : 75 %;
- Taux de raccordement au réseau d'assainissement: 80 %;

Note 1 : la consommation d'eau de 240 litres par habitant et par jour correspond au niveau actuel du jour le plus chargé. Cette valeur est très élevée par rapport au standards habituels, à cause du gaspillage dû d'une part aux fuites dans le réseau interne des abonnés, d'autre part à un usage sans retenue du fait que l'eau est facturée au forfait pour une large partie des abonnés, et non au mètre cube consommé. Aussi ils n'ont pas augmenté cette consommation jusqu'en 2030, en présumant que suite à une politique fortement incitative, la diminution du gaspillage compensera l'augmentation des besoins réels. Vu le niveau d'où l'on part, on aurait même pu imaginer une baisse de la consommation...

Note 2 : le coefficient de restitution à l'égout de 75 % signifie qu'un quart de l'eau consommée ne rejoint pas le réseau d'assainissement. C'est celle utilisée notamment pour le lavage des sols et l'arrosage. La valeur habituelle, plutôt de l'ordre de 80 à 85 %, a été légèrement majorée pour tenir compte des conditions climatiques particulières de la région (chaleur et sécheresse).

Note 3 : le taux de raccordement au réseau d'assainissement de 80 % prend en compte d'une part le fait que certaines zones ne sont pas raccordables à un coût raisonnable et seront par conséquent équipées d'un système d'assainissement individuel, mais aussi d'autre part l'inévitable existence de citoyens "irréductibles" qui refuseront de se brancher sur le réseau.

b- Assainissement individuel:

Ce type d'assainissement individuel, largement répandu et développé dans le monde, peut, si les conditions requises sont validées et les dispositions constructives améliorées, être une alternative d'assainissement intéressante qu'il ne faut pas écarter dans le contexte de la vallée du Souf d'autant que les scénarios de collecte ne couvrent pas la totalité des agglomérations.

L'assainissement individuel qui consiste à traiter les effluents au niveau de chaque habitation. Cette solution est adaptée aux zones éparées où la densité de l'habitat est réduite. Les caractéristiques des sols devront toutefois permettre la mise en place de tels dispositifs (Figure 53).

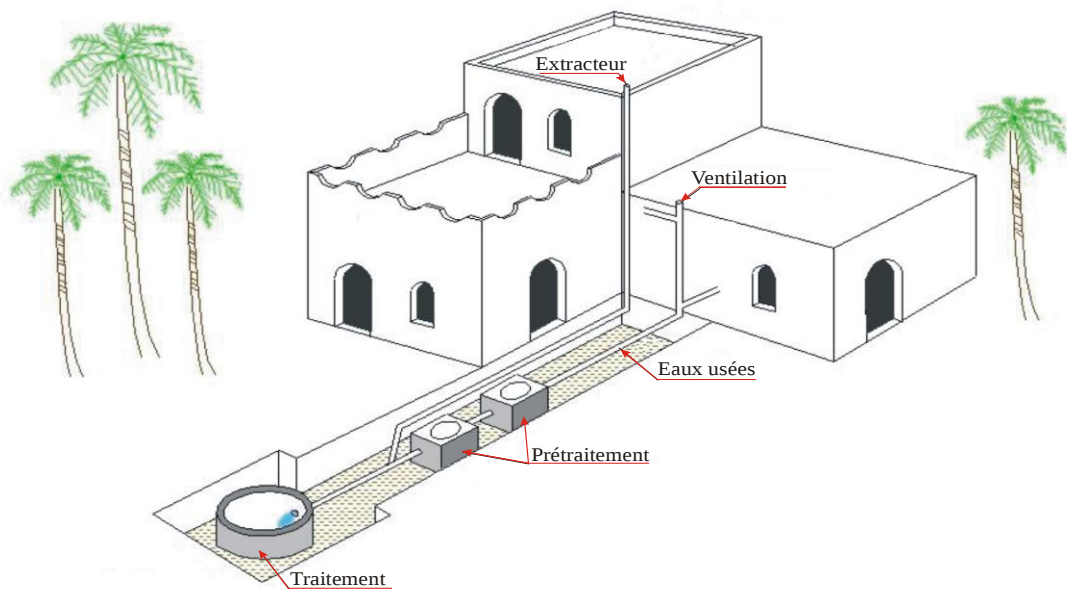


Figure 53 : *Schéma d'une installation type d'assainissement individuel (Bonnard & Gardel, 2003a).*

III-1-2-2- Volet d'épuration des eaux usées :

Le schéma proposé dans l'étude de Bonnard & Gardel répond à deux préoccupations :

- S'affranchir des contraintes liées à l'absence d'exutoire et à une dépendance trop importante vis à vis de la réutilisation agricole directe notamment pour El oued où les conditions d'une infiltration dans la nappe ne sont pas réunies vu les débits en jeu.
- Permettre une gestion à long terme de la nappe phréatique en ayant la possibilité d'évacuer si nécessaire les excédents. Ce schéma consiste globalement :
 - A regrouper les principaux centres de production d'eaux usées en 4 ensembles et traiter les effluents sur 4 stations d'épuration.
 - A créer une conduite de transfert du Sud vers le Nord, dont le tracé permettrait de collecter les eaux traitées et les eaux de drainage des principales agglomérations (85% à 90% des eaux usées générées dans la vallée du Souf).
 - A permettre à partir de cette conduite la réutilisation agricole des eaux traitées (réutilisation directe).

La zone d'étude concerne 18 communes de la région du Souf réparties sur une superficie voisine de 3500 km². Les communes restent assez dispersées sur le territoire. Cependant certaines communes proches entre elles, offrent des possibilités de regroupement pour un traitement commun.

Tableau07. Les débits estimés d'eaux usées collectées par chaque commune (Bonnard & Gardel, 2003a-2004c-2004d)

	Horizon 2010			Horizon 2030		
COMMUNE	Pop. totale	Pop. Racc	Débit d'eaux Vers réseau (m3/j)	Pop. totale	Pop. Racc	Débit d'eaux Vers réseau (m3/j)
BAYADHA	34 860	25 689	4 624	47 885	47 885	6 352
DEBILA	19 126	10 961	1 973	28 420	16 287	2 933
EL OUED	146 610	117 171	21 091	217 855	174 110	31 340
GUEMMAR	38 341	38 341	3 062	52 667	23 369	4 207
HASSANI ABDELKRIM	23 967	15 539	2 797	35 614	23 090	4 156
HASSI KHALIFA	34 987	17 722	3 190	51 989	26 333	4 739
KOUININE	10 546	8 389	1 510	15 671	12 466	2 244
MAGRANE	34 760	26 192	4 715	47 748	35 978	6 477
MIHOUANSA	15 474	3 850	693	21 256	5 288	952
NAKHLA	11 757	4 470	805	14 633	5 562	1 001
OGLA	5 841	3 299	594	7 270	4 106	739
OUED ALENDIA	8 133	4 461	803	12 085	6 628	1 193
OURMES	6 646	4 221	760	9 129	5 798	1 044
REGUIBA	39 927	20 713	3 729	54 845	28 451	5 121
ROBBAH	22 653	17 790	3 202	31 117	24 438	4 399
SIDI AOUN	13 161	7 261	1 307	18 079	9 974	1 796
TAGHZOUT	15 527	11 356	2 044	23 072	16 874	3 037
TRIFAQUI	8 860	6 638	1 194	13 165	9 862	1 775

Le tableau 07 présente l'évolution des débits d'eaux usées collectées par chaque commune pour les horizons 2010 et 2030.

La taille des communes, ce qui se traduit par le volume des eaux usées générées, influe sur les modes de traitement envisageable.

D'après Bonnard & Gardel on peut distinguer 3 classes de taille en unité de volume journalier à l'horizon 2030 (Figure 54):

- 7 communes produiront moins de 2000 m3/j
- 8 communes produiront de 2000 à 6000 m3/j
- 3 communes produiront plus de 6000 m3/j dont la principale (El Oued) plus de 30000 m3/j.

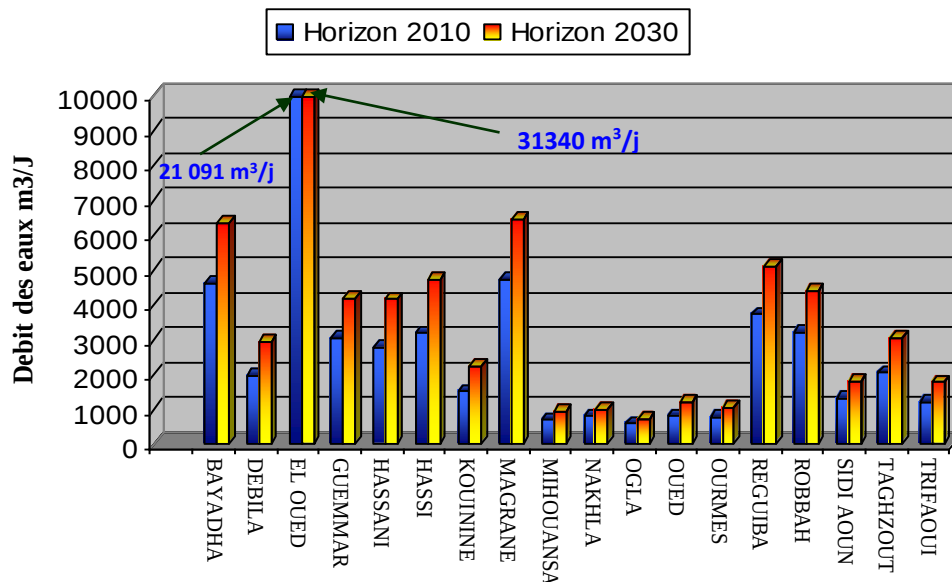


Figure 54 : Débits d'eaux usées vers le réseau d'assainissement dans la vallée du Souf.(BG2004)

Les filières envisageables d'épuration permettant de respecter les critères caractéristiques de la vallée du Souf sont les suivantes :

- Le système d'assainissement individuel (fosse septique, le puits d'infiltration);
- Les filtres plantés de roseaux : épuration basée sur la percolation des eaux usées au travers d'un massif filtrant colonisé par des bactéries qui assurent l'épuration;
- Le lagunage aéré : Combinaison de la technique rustique du lagunage naturel optimisée par une aération artificielle sur les premières lagunes qui permet de réduire les contraintes de surface d'emprise et les risques de nuisance;

Ces filières font l'objet d'une présentation détaillée dans la partie suivante.

III-1-2-2-1- l'épuration dans l'assainissement individuel:

Les filières proposées suivantes ont été définies en prenant en compte les dispositifs existants et les possibilités de fabrication locale.

a- La fosse septique:

Ce système met en jeu deux processus:

- Un phénomène physique de décantation qui permet de retenir les matières en suspension.
- Un phénomène biologique de fermentation des boues décantées selon des processus anaérobies qui conduisent à une diminution de la masse des boues et de la matière organique contenue dans les eaux usées. Un dépôt résiduel s'accumule au fond de la fosse et rend nécessaire sa vidange périodique. Le temps de séjour des matières décantées dans la fosse septique doit être suffisamment long pour permettre la minéralisation la plus complète possible; il doit être de l'ordre de 2 à 4 ans.

La fosse septique doit être construite en matériaux étanches : elle pourra, par exemple, être réalisée à partir de viroles préfabriquées en béton armé avec une étanchéité des parois et du fond.

La fosse sera constituée de deux étages en séries : cette décomposition en deux compartiments permet d'éviter les remises en suspension et ainsi améliorer la décantation (Figure 55a). Une cloison siphonide assurera la rétention des matières flottantes (graisses).

L'ensemble des eaux usées (eaux vannes et eaux ménagères) sera dirigée vers la fosse septique. Et le volume minimum des fosses septiques est de 4 m³ pour une habitation occupée par 6 personnes. Quelques règles et précautions de mise en place doivent être respectées :

- La fosse doit être à moins de 10 m de l'habitation;
- La pente de la conduite d'amenée des eaux usées doit être comprise entre 2 et 4% pour éviter tout colmatage
- La fosse doit être munie d'une ventilation haute en sortie permettant l'évacuation des gaz issus de la fermentation (Figure 55);
- La fosse doit être équipée d'un tampon permettant l'accès;

La maintenance à prévoir pour ce type de dispositif consiste essentiellement à la vidange périodique de la fosse septique en moyenne une fois tous les 3 ans. Les matières de vidanges sont acheminées soit vers une station d'épuration, soit vers une fosse de compost.

b- Le puits d'infiltration:

A la sortie d'un prétraitement (fosse septique), l'effluent n'est pas épuré. Il est simplement liquéfié, mais il est encore chargé aussi bien en pollution organique qu'en germes pathogènes.

L'utilisation du sol permet d'assurer l'épuration des eaux usées grâce aux micro-organismes qui s'y développent. Cette épuration peut se faire selon l'un des procédés suivants :

- Le puits d'infiltration : les effluents sont infiltrés à travers les parois d'un puits creusé dans un sol perméable
- La tranchée à sable filtrant (épandage souterrain) : infiltration des effluents dans la tranche superficielle du sol au moyen de drains enterrés dans une tranchée à sable filtrant.
- Le filtre à sable: infiltration des effluents à travers un filtre à sable
- Le tertre d'infiltration: infiltration des effluents dans un amas de sol construit au-dessus du sol (nappe proche, sol très perméable)

Le puits d'infiltration est la solution la plus adaptée dans le contexte de la vallée du Souf car c'est la plus économique, elle est facile à mettre en oeuvre et l'épuration est efficace.

Le puits d'infiltration est constitué d'une excavation garnie de bas en haut par une couche de cailloux, une couche de gravier et une couche de sable (Figure 55b). Les parois situées au-dessus du tuyau d'amenée des effluents doivent être maçonnées ou busées pour assurer la stabilité de l'ouvrage. La partie qui est en dessous est construite en maçonnerie de briques massives à joints ouverts ou en buses perforées sur toute leur surface. Le puits doit avoir une couverture étanche qui permet de faire les opérations d'inspection et de nettoyage.

La profondeur du puits dans la couche perméable est de 2 à 4 mètres ; le diamètre du puits est de 0,9 à 1,5 mètres.

Les dispositifs existants conformes aux prescriptions définies ci-dessus pourront être conservés.

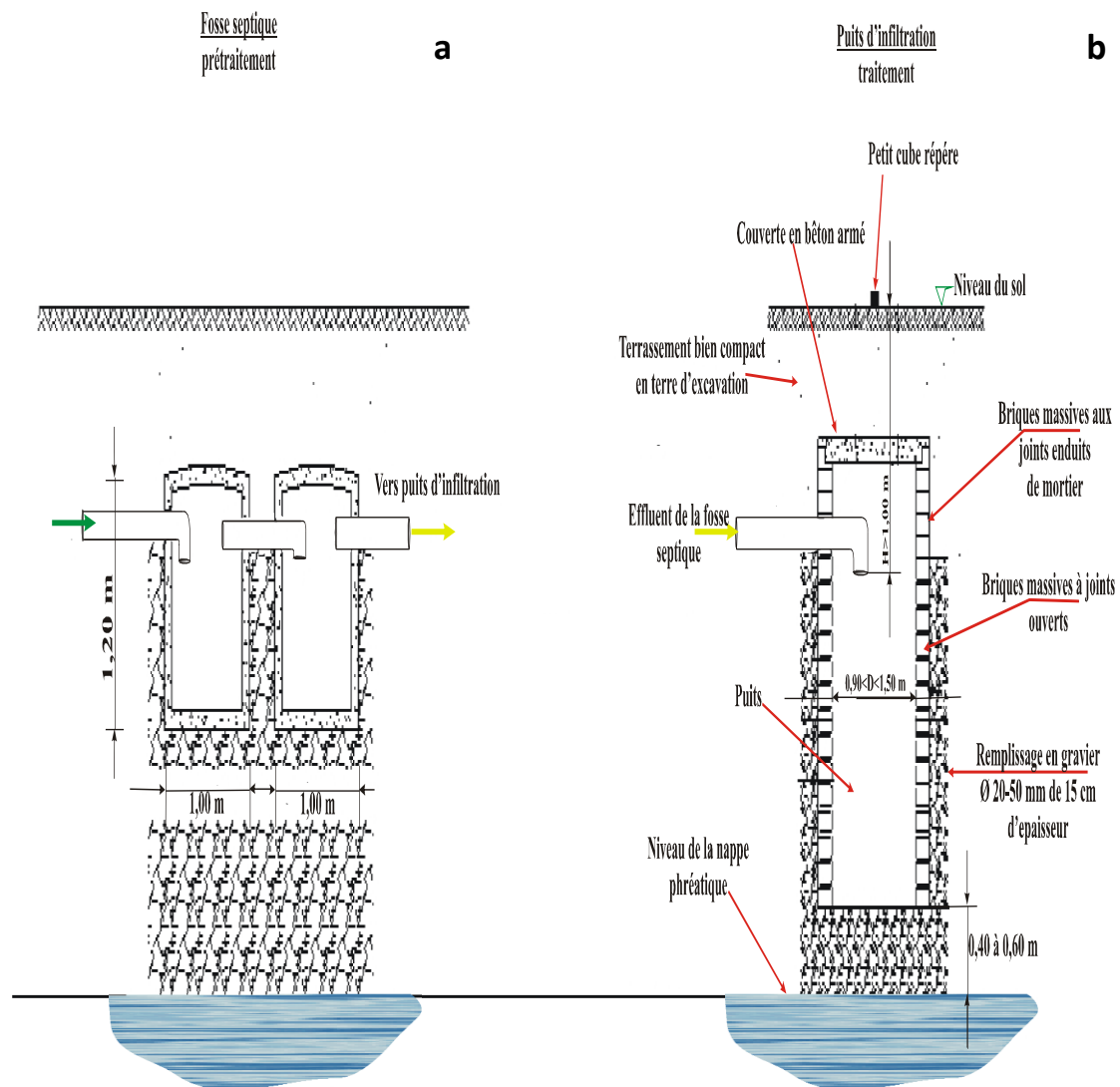


Figure 55 : Les dispositifs d'épuration pour l'assainissement individuel (Bonnard & Gardel, 2003b).

III-1-2-2-2- l'épuration des eaux usées dans l'assainissement collectif:

Le lagunage aéré est retenu comme solution technique d'épuration pour les ensembles des agglomérations assainies par les réseaux d'assainissement collectifs. Le lagunage est une technique rustique bien adaptée aux conditions climatiques algériennes et pouvant atteindre un rendement épuratoire et une décontamination microbienne satisfaisants.

Ce critère sera déterminant pour valider les solutions pour des communes qu'il sera difficile voire impossible de raccorder à l'émissaire. Le tracé de l'émissaire prend en compte l'objectif de collecter l'essentiel des eaux traitées.

Le regroupement des communes conduit à des capacités de traitement importantes. Les ensembles (stations) raccordés par Un réseau de 4 stations d'épuration (STEP) est prévu.

STEP 1: El Oued, Bayada, Kounine, Robbah.

STEP 2: Guemmar, Taghzout, HassaniAbdelkrim, Debila.

STEP 3: SidiAoun, Magrane, HassiKhalifa.

STEP 4: Réguiba.

Le principe de fonctionnement de cette filière est basé sur la technique rustique du lagunage naturel optimisée par une aération artificielle sur les premières lagunes.

L'apport en oxygène dans les premiers bassins est assuré artificiellement grâce à l'emploi d'aérateurs qui jouent aussi le rôle d'agitateurs (Figure 56). Ce sont les bactéries aérobies qui assurent la dégradation de la matière organique.

L'utilisation d'aérateurs qui engendrent une circulation d'eau dans le bassin permet d'augmenter la hauteur de la tranche d'eau en aérobiose; l'apport intensif d'oxygène permet une activité bactérienne beaucoup plus importante permettant d'augmenter la charge de pollution entrante par unité de volume et d'écourter les temps de séjour par rapport au lagunage naturel.

Ce procédé, par rapport au lagunage naturel, est plus compact mais la mise en place d'équipement électromécanique d'aération / agitation est nécessaire.

Le procédé d'épuration par lagunage aéré est le mieux adapté pour le traitement des effluents des grandes agglomérations ou de plusieurs communes regroupées dans la vallée du Souf.

La mise en place d'un tel procédé nécessite de définir un exutoire. Ce dernier peut être superficiel (utilisation directe agricole ou évacuation vers un point de rejet) ou souterrain (infiltration).

Tableau 08 : Les caractéristiques des stations d'épuration dans le cadre de réalisation
(Bonnard & Gardel, 2004c; Bonnard & Gardel, 2004e)

Paramètres	Step 1	Step 2	Step 3	Step 4	Total
Population Totale (EH)	312 528	139 772	117 816	54 845	624 961
Population raccordée horizon 2030 (EH)	246 300	79 620	72 286	28 451	426 657
Débit m ³ /J	44 335	14 332	13011	5 121	76 799
Charge DBO ₅ kg/j (ratio 45 g/EH, 250 mg/l)	11 084	3 583	3 253	1 280	19 200
Charge DCO Kg/j (ratio 90 g/EH.j, 500mg/l)	22 167	7 166	6 505	2 561	38 399
Charge MES kg/j(ratio 65 g/EH.J, 361mg/l)	16 010	5 175	4 699	1 849	27 733
Surface du site (ha)	100	40	42	20	202
Superficie occupée (ha) par les ouvrages	27,6	9,6	8,8	4,6	50,6
Superficie des bassins (ha)	17,6	7,8	7,2	3,6	36,2
Nombre de bassins de lagunage	12	9	9	6	36
Superficie des lits de séchage (ha)	4	1,8	1,6	1	8,4

Les contraintes spécifiques de l'épuration dans la vallée du Souf nécessitent les dispositions constructives suivantes :

- Mise en place d'une protection contre les vents de sable,
- Etanchéité artificielle des bassins de lagunage par géomembrane,
- Alimentation électrique pour les aérateurs.

La station de lagunage aéré est constituée des éléments suivants :

a-Relevage et prétraitement des effluents bruts:

Poste de relevage, dégrillage et dessablage (dimensionné sur le débit de pointe)

b- Etage 1 et 2 de la lagune aérée:

Le dimensionnement de ces bassins est basé sur l'élimination de la charge organique : celle ci dépend de la charge volumique en DBO₅ en kg/j par m³ de bassin et du temps de séjour.

Généralement, la charge volumique est inférieure ou égale à 25 g DBO₅/m³.j et le temps de séjour ne doit pas être inférieur à 5 j. Dans le cas de la vallée du Souf, la charge volumique peut être fixée à 25 g DBO₅/m³.j du fait des conditions favorables (température) à l'élimination de la matière organique.

La hauteur d'eau dans ces lagunes est généralement fixée à 3 à 4 m. Le dispositif d'aération est dimensionné pour satisfaire les besoins en oxygène des micro-organismes. L'apport spécifique brut en oxygène pour dégrader les substances polluantes est fixé à 1,5 kg O₂ / kg DBO₅. Les aérateurs généralement utilisés pour les bassins de lagunage fournissent 1 kg O₂ / kWh.

Les dispositifs d'aération mis en place devront également assurer une puissance volumique de 1 à 3 W/m³ de bassin afin d'assurer une homogénéisation et une circulation des effluents.

c- Etage de finition:

Dans le cas où les eaux épurées seraient évacuées en surface vers un point de rejet ou réutilisées en agriculture, cet étage sera constitué de lagune de finition étanche.

Ce bassin, de forme allongée, est dimensionné sur le critère temps de séjour. Ce dernier est fixé à 3 jours. Le dimensionnement doit également tenir compte du paramètre charge surfacique qui ne doit pas dépasser une valeur limite de 200 kg/ha.j.

Dans le cas d'une évacuation des eaux épurées vers le sous-sol, l'étage de finition sera constitué de bassins d'infiltration.

Ces bassins auront les mêmes caractéristiques que les lagunes de finition mais ne seront pas étanches. Les risques de création d'un dôme seront maîtrisés en assurant un rabattement de la nappe par pompage ou par l'intermédiaire d'un système de drainage. Les effluents épurés pourront également être collectés par surverse des bassins.

d- Traitement des boues par lits de séchage:

Le système consiste à sécher les boues à l'air libre sur des lits de séchage classiquement constitués d'une couche de sable lavé surmontant des couches de granulométrie plus importante, incluant le réseau de drainage. Les eaux drainées sont récupérées et renvoyées en tête de station.

On obtient à l'issue de ce séchage des boues stables (donc non fermentescibles) et hygiénisées (c'est à dire débarrassés des micro-organismes pathogènes). Les boues ainsi obtenues sont aisément valorisables par épandage agricole.

Les paramètres de dimensionnement de ces lits sont nombreux :

- La production de boues par équivalent habitant et par an,
- La fréquence de curage des lagunes,
- Les caractéristiques des boues curées,
- L'épaisseur maximale de boues épandues sur les lits,
- La durée de séchage,
- La durée totale de curage d'une lagune.

Les siccités obtenues à l'issue de ce séchage permettent un stockage en tas, une reprise à la pelle et un transport moins coûteux compte tenu des volumes réduits. Une aire permettra le stockage des boues séchées en tas.

Les valeurs des différents paramètres présentés ci-dessus applicables au dimensionnement des lits sont les suivants :

- une production de boues de 120 l/EH/an. Ces boues se déposent et se minéralisent grâce à l'activité de micro-organismes. Elles atteignent en fond de bassin une siccité de 10% ramené à 8% à l'extraction tenant compte d'un inévitable mélange avec de l'eau plus claire lors du curage;

- Le curage d'une lagune est nécessaire quand la tranche d'eau utile à l'épuration se réduit ou quand le temps de séjour des eaux usées dans la lagune s'approche de la limite inférieure tolérée. Pratiquement le curage de la lagune devient nécessaire quand le volume occupé par les boues s'approche de 25% du volume total de la lagune;

- une hauteur de remplissage des lits de 50 cm;

Les lagunes seront curées une par une et donc les lits de séchage sont dimensionnés pour sécher les boues issues du curage d'une lagune. Le curage des lagunes concerne

essentiellement l'étage primaire car les boues produites décantent essentiellement dans les premiers bassins.

Ce curage est généralement réalisé sur des bassins en eau à partir d'un système flottant constitué d'une barge flottante et d'un groupe de pompage. A l'issue de ce séchage les boues solides sont mises en tas sur une plate-forme de stockage avant leur évacuation vers leur destination finale : mise en décharge ou épandage agricole.

L'avancement des travaux au niveau des stations d'épuration a atteint 80 %.(ONA.2014)

III-1-2-3- Transfer des eaux vers lepoint de rejet

Cette système de Transfer ou transport des eaux traité ET, le premier de son genre sur le continent, il est travaillé à la principe de Transfer ou convertit le type d'écoulement sous forme refoulement en charge à écoulement gravitaire en charge par 9 chemine d' équilibre" MC03 à CH05".

Les chemine d'équilibre triée en suite :

III-1-2-3-1 Le chemine d'équilibre " MC03 "

C'est la premier chemine, reçoit de l'eau à partir de la station de pompage ST10 (les eaux de drainage), et les eaux traitée de station d' épuration SPET01.



La hauteur d' ouvrage	H= 19m
Niveau déversent	Z _{dév} = 90.50m
Cote terrain naturel	CTN= 72.95m
Dimension de la basse	L = 5.10m, l =4.20
Niveau de déversoir d'orage	Z _{déversoir} = 91.30m

Figure 57:*chemine d' équilibre MC03*

C'est le seul chemine contient une réservoir (Figure 57),

III-1-2-3-2 Le chemine d'équilibre " CH01 "

Il reçoit de l'eau à partir de chemine d' équilibre MC03, la conduite de Transfer contient 02 ventouse,et une vanne de sectionnement,et une vanne de vidange.



La hauteur d' ouvrage	H= 16.18m
Niveau déversent	$Z_{dév}= 83m$
Cote terrain naturel	CTN= 69.52m
Dimension de la basse	$L = 5.10m, l =4.20$
Niveau de déversoir d'orage	$Z_{déversoir} = 83.8m$

Figure 58:chemine d' équilibre CH01

Cette chemine et les chemine suivant ne contient pas un réservoir Figure 58.

III-1-2-3-3 Le chemine d'équilibre " CH02 "

Il reçoit de l'eau à partir de chemine d' équilibre CH01, la conduite de transfer contient 04 ventouse et 04 vanne de sectionnement, et 04 vanne de vidange.



La hauteur d' ouvrage	H= 13m
Niveau déversent	$Z_{dév}= 69.50m$
Cote terrain naturel	CTN= 59.2m
Dimension de la basse	$L = 5.10m, l =4.20$
Niveau de déversoir d'orage	$Z_{déversoir} = 70.3m$

Figure 59:chemine d' équilibre CH02

III-1-2-3-4 Le chemine d'équilibre " ET03 "

Il reçoit de l'eau à partir de chemine d' équilibre CH02, et STEP02 (SPET02), la conduite de transfer contient 04 ventouse et 03 vanne de sectionnement, et 02vanne de vidange.



La hauteur d' ouvrage	H= 9m
Niveau déversent	$Z_{dév}= 58.50m$
Cote terrain naturel	CTN= 52.20m
Dimension de la basse	$L = 5.10m, l =4.20$
Niveau de déversoir d'orage	$Z_{déversoir} = 59.30m$

Figure 60:chemine d' équilibre ET03

III-1-2-3-5 Le chemine d'équilibre " ET04 "

Il reçoit de l'eau à partir de chemine d' équilibre ET03, et STEP03 (SPET03), la conduite de transfer contient 03 ventouse et 02 vanne de sectionnement, et 02 vanne de vidange.



La hauteur d' ouvrage	H=
10.20m	
Niveau déversent	$Z_{\text{dév}} = 54.50\text{m}$
Cote terrain naturel	CTN= 46.50m
Dimension de la basse	$L = 5.10\text{m}, l = 4.20$
Niveau de déversoir d'orage	$Z_{\text{déversoir}} = 55.30\text{m}$

Figure 61:chemine d' équilibreET04

III-1-2-3-6 Le chemine d'équilibre " ET05 "

Il reçoit de l'eau à partir de chemine d' équilibre ET04, et STEP04 (SPET04), la conduite de transfer contient 04 ventouse et 03 vanne de vidange.



La hauteur d' ouvrage	H=
10.60m	
Niveau déversent	$Z_{\text{dév}} = 45.50\text{m}$
Cote terrain naturel	CTN= 37.10m
Dimension de la basse	$L = 5.80\text{m}, l = 4.40\text{m}$
Niveau de déversoir d'orage	$Z_{\text{déversoir}} = 46.30\text{m}$

Figure 62:chemine d' équilibre ET05

III-1-2-3-7 Le chemine d'équilibre " CH03 "

Il reçoit de l'eau à partir de chemine d' équilibre ET05, la conduite de transfer contient 02 ventouse et une vanne de sectionnement, et 04 vanne de vidange.



La hauteur d' ouvrage	H=	
7.52m		
Niveau déversent	$Z_{\text{dév}} = 38\text{m}$	
Cote terrain naturel	CTN= 32.68m	
Dimension de la basse	L=5.80m	l
	=4.80m	
Niveau de déversoir d'orage	$Z_{\text{déversoir}} =$	
38.80m		

Figure 63:chemine d' équilibre CH03

III-1-2-3-8 Le chemine d'équilibre " CH04 "

Il reçoit de l'eau à partir de chemine d' équilibre CH03, la conduite de transfer contient 04ventouse et une vanne de sectionnement,et 04 vanne de vidange.



La hauteur d' ouvrage	H=	
6.36m		
Niveau déversent	$Z_{\text{dév}} = 31.43\text{m}$	
Cote terrain naturel	CTN= 27.09m	
Dimension de la basse	L=5.80m, l	
	=4.80m	
Niveau de déversoir d'orage	$Z_{\text{déversoir}} =$	
32.23m		

Figure 64:chemine d' équilibre CH04

III-1-2-3-9 Le chemine d'équilibre " CH05 "

Il reçoit de l'eau à partir de chemine d' équilibre CH04, la conduite de transfer ne contient pas de ventouse ou vanne de vidange .



La hauteur d' ouvrage	H=
6.26m	
Niveau déversent	$Z_{\text{dév}} = 25.22\text{m}$
Cote terrain naturel	CTN= 21.16m
Dimension de la basse	$L=5.80\text{m}, l=4.80\text{m}$
Niveau de déversoir d'orage	$Z_{\text{déversoir}} = 26.02\text{m}$

Figure 65:chemine d' équilibre CH05

III-1-3- ceinture verte (la solution biologique) :

La réalisation de ceinture verte (d'évapotranspiration par la plantation d'arbres forestiers capables d'exporter et d'évapotranspirer de grandes quantités d'eau) est une méthode moins onéreuse et qui peut être efficace quant à l'abaissement local du niveau piézométrique de la nappe phréatique et on peut dire que la Solution de la ceinture verte est plus simple et moins coûteuse.

En effet, il s'agit à proximité des zones inondées, soit les zones les plus basses de planter les plants appropriés de façon à maintenir le niveau de la nappe phréatique à proximité de la zone racinaire des palmiers.

L'Eucalyptus est, par excellence, la grande essence internationale de reboisement. On l'a introduit partout avec succès : en Asie, en Amérique, en Afrique du Nord et du Sud et en Europe. A El Oued, les arbres témoins de sa réussite, prospèrent à l'entrée de Kouinine et au niveau de l'agglomération d'El Oued. La principale caractéristique physiologique des Eucalyptus est leur plasticité, laquelle, aussi bien du point de vue climat qu'à celui du sol, est remarquable.

Un hectare peut donc évapotranspirer une quantité moyenne de 50 000 litre par jour soit 50 m³/jour. Connaissant le volume excédentaire, l'on procède à la multiplication de cette ceinture pour abaisser le niveau de la nappe. Donc on peut dire que l'eucalyptus est une pompe magistrale, et réussit bien dans les routes d'El Oued (Figure 66b)

Nous avons parlé beaucoup de côté technique sur la ceinture verte, mais malheureusement la solution biologique (ceinture verte) dans la région du Souf ne base sur aucune étude. Et malgré ça on peut remarquer qu'elle est efficace pour rabattre le niveau de la nappe phréatique surtout dans les endroits menacés par la remontée de la nappe comme le quartier le plus menacé par ce phénomène (Sidi Mastour) à l'Est de la ville d'El Oued (Figure 66a).

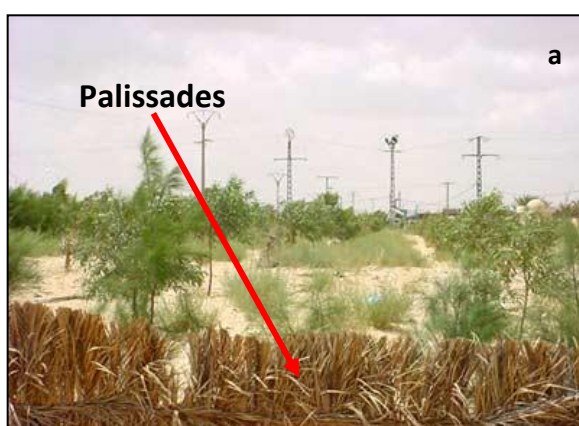


Figure 66 : La ceinture verte du côté des routes à droite (b) et dans les zones inondées (Sidi Mastour) à gauche (a).

A partir du moment où ces ceintures seront réalisées à proximité des zones affectées par la remontée de la nappe, il suffira de connaître le volume de la couche au-dessous du bulbe racinaire que l'on veut évacuer et ensuite de déterminer la surface nécessaire des dites ceintures d'évapotranspiration.

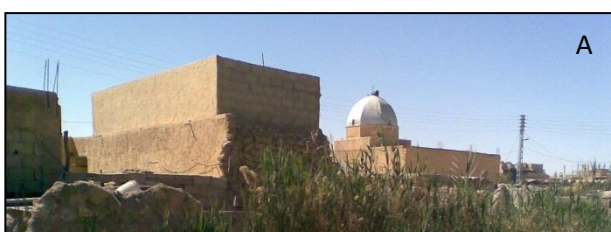
A l'échelle de la vallée la ceinture verte est une bande qui enroule les communes de la région du Souf, englobant deux-huit (18) communes soit une longueur de 150 km, une surface atteinte 350 ha (Figure 68), (DCF. El Oued, 2014).

Tableau 09 : recensement des arbres de ceinture verte

communes	ceinture verte		trifaoui	8,5	3400
	surface (ha)	Nbr d' arbre	magrane	3,5	1400
el-oued	100	40000	sidi aoun	13,5	5400
kouinine	14	5600	robbah	3,7	1480
reguiba	22,5	9000	nakhla	1	400
guemmar	10	4000	le-ogla	1	400
taghzout	6	2400	bayada	10	4000
ouermes	1,5	600	mihouensa	3	1200
debila	3	1200	oued el-alanda	48,5	19400
hassani abdelkrim	14,5	5800	total wilaya	269.2	107680
hassikhalifa	5	2000			

Le projet a démarré de Novembre 2001, le volume programmé comme nous avons déjà dit est 150 km (350 ha), la partie réalisée jusqu'au Décembre 2013 est 269.2 ha (107680 arbres). Et pour les ressources hydriques (les eaux d'irrigation), la direction de conservation des forêts programmées 250 puits, (130 puits ont été vraiment réalisés) qu'ils alimentent 100 km de réseau d'irrigation. Pour protéger la ceinture verte de désertification la DCF à réaliser 135 km de 300 km programmés de palissades à l'aide des feuilles de palmier.(DCF 2014).

Si on cherche l'efficacité et l'impact de cet ouvrage biologique sur l'environnement de la région du Souf, on peut dire qu'il y a une rabattement remarquable dans le niveau de la nappe phréatique, surtout dans la zone inondée totalement par les eaux naturelles de la nappe, située entre le chott d'El Oued et le quartier de Sidi Mastoure à l'Est de la ville d'El Oued, où avant la réalisation de cet ouvrage l'hauteur des eaux atteint d'environ 40 cm au dessus de la surface du sol, mais après l'installations des pompes biologiques (ceinture verte) le niveau des eaux diminue, et la figure 67 (a et b) montre la différence entre les deux périodes (avant et après la réalisation de ceinture verte).



A : la période avant la réalisation de ceinture verte. B : la période après la réalisation de ceinture verte.

Figure 67 :*Présente la différence entre deux périodes.*

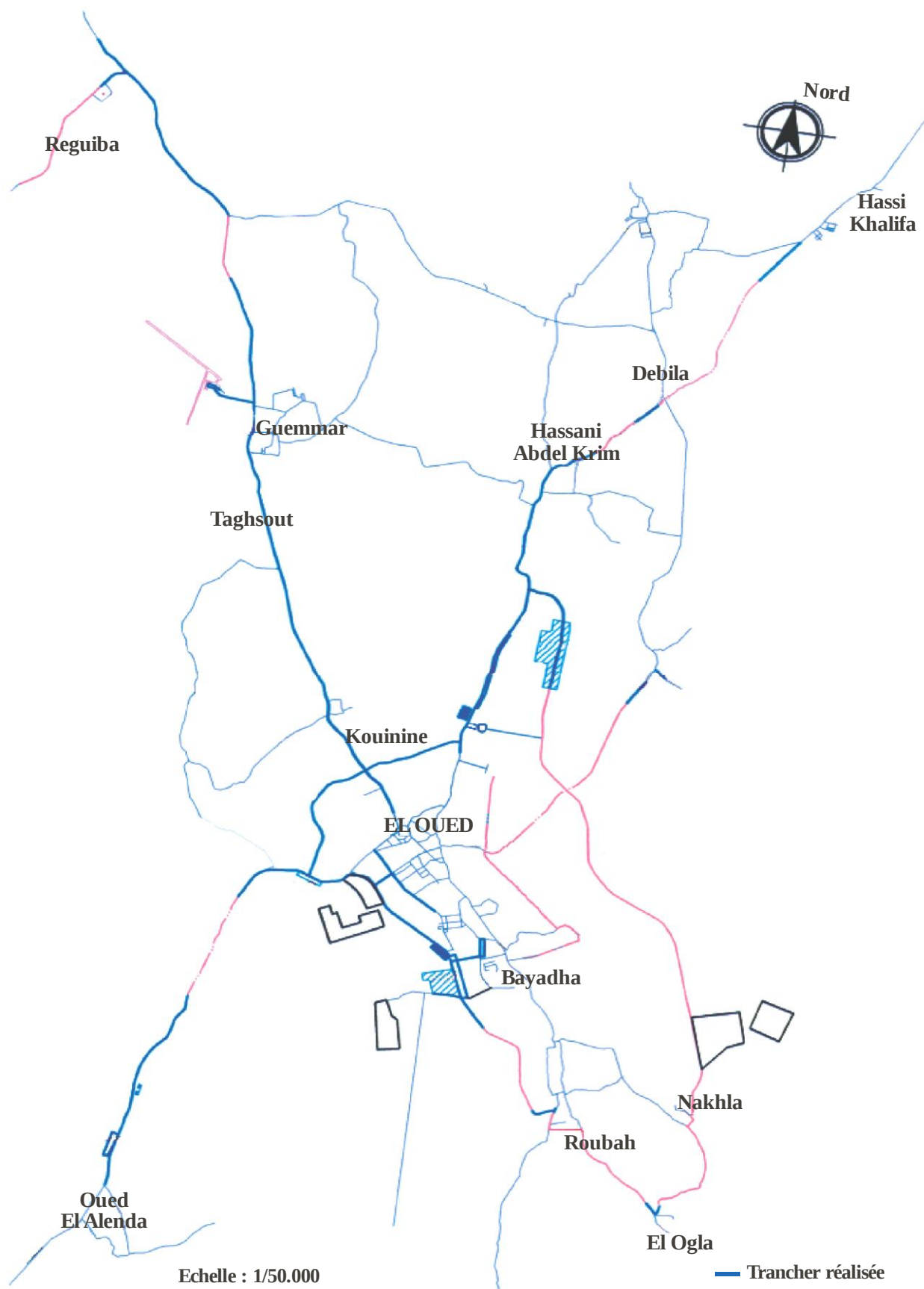


Figure 68 : La ceinture verte de la région du Souf (DCF., El oued 2006).

Conclusion :

Avec tous ces ouvrages nous pensons qu'on peut sortir de ce problème, pour cela on a choisi la région de Ouargla pour faire une comparaisont avec notre région d'étude.

Chapitre IV

le rendement de projet

Nous avons discuté dans le chapitre précédent Sur les ouvrages réalisés pour remèdes de phénomène de la remontée de la nappe phréatique, et sortir de la situation catastrophique de la région, c'est pour cela que des années après la mise en marche des ouvrages en va parler dans ce chapitre pour le rendement et l'efficacité de c'est grand projet.

IV-1- Les rendements des ouvrages :

IV-1-1- Le rendement d' un réseau d' assainissement :

Pour connaître le rendement d'un réseau d'assainissement il faut savoir le taux de raccordement de chaque commune (tableau 10)

Cet indice présente le développement de la ville.

tableau 10: le taux de raccordement par commune (ONA d'El Oued, 2014).

la commune	population	population racc	taux de racc %
El-Oued	155525	155525	100.00 %
Kouinine	11900	5433	45.66 %
Reguiba	47630	10469	21.98 %
Hassani Abdelkrim	26775	5917	22.10 %
Hassi Khalifa	36450	13377	36.70 %
Magrane	27625	8641	31.28 %
Sidi Aoun	13745	3766	27.40 %
Robbah	25290	25290	100.00%
Bayada	37320	26613	71.31 %
		moyenne	50.71%

Nous notons dans ce tableau:

- ✓ Les données fournies par ONA insuffisantes et limitées seulement à certaines municipalités (neuf communes sur dix-huit communes dans la vallée de oued souf).
- ✓ Le taux de raccordement acceptable en seulement trois communes, et les autres communes soit nul (négligeable) (les communes ne sont pas citées dans le tableau) ou non acceptables (tableau 10 en rouge).
- ✓ La commune d' El Oued raccordée complètement parce que le phénomène touchait les zones urbaines, et le reste des communes souffrent de la négligence.

Nous concluons que le rendement d'un réseau d'assainissement est très faible, Et n'est pas capable de faire sortir la région de la situation catastrophique.

IV-1-2- Le rendement d'une station d'épuration:

Comme nous avons parlé dans le chapitre précédent, Ce projet comprend quatre stations d'épuration, La Quatrième station (STEP04) est encore en période d'essai, alors seulement trois stations sont en marche, Après les grandes difficultés que nous pourrions obtenir un rapport mensuel pour la première station(STEP01) seulement. Parce que Comme d'habitude, nous avons trouvé une grande discrétion sur les données fournies par ONA.

Alors on va discuter sur le rendement de STEP01.

le rendement ou L'efficacité d'une station d'épuration peut être évalué en faisant la différence entre la charge polluante contenue dans l'eau entrant dans la station et la charge polluante de l'eau en sortie de la station d'épuration, divisée par la charge entrante. C'est ce que l'on nomme le rendement épuratoire.

Chaque rendement est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$R = \frac{P_i - P_0}{P_i} \times 100$$

où :

R : le rendement pour un paramètre donné (DCO, DBO, MES ...),

P_i : le chiffre du paramètre donné à l'entrée,

P₀: le chiffre du même paramètre à la sortie.

Pour connaître le rendement d'un station d'épuration il faut savoir les élimination des paramètres suivant : DBO₅, DCO, MES tableau 11.

Tableau 11 : *rendement d'élimination des paramètres physico-chimique (ONA d'El Oued,2014).*

		entrée			sortie			Rendement (%)		
L'année		DBO5(mg O2/L)	DCO(mg O2/L)	MES(mg/L)	DBO5(mg O2/L)	DCO(mg O2/L)	MES (mg/L)	DBO5	DCO	MES
2010	min							73,11	71,10	/
	max									
	moy									
2011	min	142	246	167	/	43	5	/	83,58	95,30
	max	310	525	534	/	112	30			
	moy	204	390	277	/	64	13			
2012	min	140	304	/	17	69	/	86,8	83,859	/
	max	320	686	/	40	100	/			
	moy	250	539	/	33	87	/			
2013	min	220	625	/	18	/	/	88,51	/	/
	max	258	895	/	39	/	/			
	moy	235	760	/	27	/	/			
2014	min	109	279	200	22	91	50	84,28	69,18	81,03
	max	319	357	420	44	102	60			
	moy	214,5	318	288,6	33,7	98	54,73			

Nous concluons que L'efficacité de traitement de la station d'épuration des eaux usées est acceptable ,
Sauf les donnée Manquée à cause de l'absence de réactive.

IV-1-3-le rendement de drainage vertical :

Pour connaitre le rendement de drainage vertical on va comparaitre le niveau piézométrique de la nappe phréatique de 2008 à celle mesurée en 2014.

afin de pouvoir mesurer le niveau piézométrique on a besoin de plusieurs matériels sophistiqués et modernes pour aboutir à des mesures exactes et précises. Ci-après désignées :

- la sonde électrique
- le trayeur
- la théodolite
- l' appareil GPS

IV-1-3-1- la sonde électrique :

C'est un appareil électrique qui mesure le niveau statique (figure 69)



Figure 69 :la sonde électrique

IV-1-3-2-le trayeur :

C'est un appareille foreuse qui creuse des fouille pour mesuré le niveau statique par la sonde électrique (Figure 70).



Figure 70 :le trayeur de creusage

IV-1-3-3-la théodolite :

C'est un appareille topographique qui relève l'altitude du site(**Figure 71**)



Figure 71 :la théodolite

IV-1-3-4- l'appareille GPS :

C'est un appareille qui donne les cordonne GPS (X,Y et Z) (Figure 72)



Figure 72 :l'appareille GPS

Après l'acquisition du matériel en a commencé de mesuré le niveau statique dans les zones inondée suivant :

➤ Le chott :

Pour connaitre le niveau statique dans les zones qui montre l'eau au-dessus de la surface de la terre, Nous prenons un point de référence (un regard accoté de l' ST10) .(Figure 73.A), à partir de ce point nous commençons à mesurer le niveau (cote terrain

naturel CTN)par la théodolite vers les points que nous voulons savoir du niveau statique(Figure 73.B).



Figure 73 :les points de station dans chott

➤ Sidi mastour :

La même procédure que nous avons utilisé dans le chott , en prend le point de référence château d'eau à sidi mastour, à partir de ce point en commence à prendre le relevé avec l'appareil théodolite jusqu'au point mouillé, arriver au point mouille en a creusé des fouilles avec le trapeur (Figure 74) pour pouvoir lancé la sonde et avoir le niveau statique (Figure 75).



Figure 74 : les piézomètre foré par trayeur



figure 75 :la mesure de NS par la sonde électrique

après la mesure de niveau statique dans les zones inondée , en va mesuré le niveau piézométrique

dans les drains verticale par une autre méthode.

La méthode que mesure le niveau piézométrique dans les drains, est la somme de la lecture affichée dans l'armoire et le niveau du flotteur (sonde piézométrique) (60 m) (Figure 76).



N° Drain	Nom de forage	X	Y	Z	NS	NP	Cote sonde	lecture
-------------	---------------	---	---	---	----	----	---------------	---------

Figure 76 :*lecture de la affichage dans l'armoire.*

Après l'achèvement du projet de drainage vertical, l'Office National de l'Assainissement a procédé des compagne de mesure pour savoir le niveau piézométrique en 2008 .(Tableau.11).

Tableau12 :*le niveau piézométrique et statique en 2008(ONA.2008).*

D01	Château d'eau - Chott	302006,355	3696555,641	74,20	4,92	69,28	60,00	9,28
D02	Ecole Hazla Tahar,	301733,169	3696131,344	73,87	5,74	68,13	60,00	8,13
D03	CM Taksept Nord	299162,67	3696067,37	74,80	6,99	67,81	60,00	7,81
D04	Complexe sportif Tiksebt	299 227,00	3 695 700,00	75,75	6,34	69,41	60,00	9,41
D05	Parc Wilaya	301868,619	3695710,673	76,15	9,20	66,95	60,00	6,95
D06	ST1 TIKSEPT	299 503,46	3 695 415,65	76,02	5,12	70,90	60,00	10,90
D07	Lycée Tiksept	299 407,64	3 695 094,86	76,91	4,43	72,48	60,00	12,48
D08	Ecole Ferhat B/Amara	299 807,22	3 694 969,33	75,59	3,27	72,32	60,00	12,32
D09	Ecol Nouvelle Tiksept ouest	298 937,00	3 694 843,00	79,15	6,35	72,80	60,00	12,80
D10	Château d'eau El Gara	299 227,00	3 695 700,00	78,30	3,53	74,77	60,00	14,77
D11	Ecole Gara Est	299 227,00	3 695 700,00	78,30	2,53	75,77	60,00	15,77
D12	CT Tiksept Ouest	299 251,00	3 694 673,00	78,30	4,11	74,19	60,00	14,19
D14	CM El Gara Est	300 215,12	3 694 473,90	73,89	2,69	71,20	60,00	11,20
D15	Ecole pratique A/Ayadi	299 621,10	3 694 205,77	79,01	4,43	74,58	60,00	14,58
D16	CM Bahi Ali Tiksept Ouest	299 443,48	3 694 205,68	80,42	5,31	75,11	60,00	15,11
D17	Mosquée El Kautar	301085,665	3694108,354	70,34	1,90	68,44	60,00	8,44
D18	CM Ghendir Omar	301964,768	3694100,742	68,30	2,19	66,11	60,00	6,11
D19	Ecole Djbelidjbeli	300657,21	3 694 003,18	76,25	6,09	70,16	60,00	10,16
D20	Hotel LOUSS	300463,059	3 693 926,22	69,57	0,35	69,22	60,00	9,22
D21	NazlaMehria	301614,011	3693782,901	72,64	3,50	69,14	60,00	9,14
D22	Espace vert cité Nour	299 569,57	3 693 771,28	81,15	6,05	75,10	60,00	15,10
D23	Annexe universitaire El Oued	299 322,30	3 693 745,35	80,87	4,82	76,05	60,00	16,05
D24	Théâtre Air libre	301216,42	3693680,2	73,40	1,84	71,56	60,00	11,56
D25	DTP	300683,305	3693511,99	79,07	5,53	73,54	60,00	13,54
D26	Siège de Wilaya - El Oued	300132,3	3693312,18	83,03	8,26	74,77	60,00	14,77
D27	Direction de l'éducation El Oued	300265,86	3693473,52	80,15	5,80	74,35	60,00	14,35
D28	CM Ahmed Tidjani	299 458,67	3 693 394,19	78,99	4,62	74,37	60,00	14,37
D29	SOUK	301688,578	3693356,448	73,36	2,19	71,17	60,00	11,17
D30	APC El Oued	300634,77	3693299,964	80,31	5,86	74,45	60,00	14,45
D31	Lycée Abdelaziz Chérif	300121,384	3693419,814	81,21	5,33	75,88	60,00	15,88
D32	Château d'eau Sidi Mestour	302378,465	3693285,85	70,34	0,74	69,60	60,00	9,59
D33	Cité Ouled Ahmed	301429,434	3693106,752	80,06	7,82	72,24	60,00	12,24
D34	ADE centre-ville	300940,781	3693170,567	80,81	6,22	74,59	60,00	14,59
D35	ST 3	299617,99	3693153,97	78,90	2,45	76,45	60,00	16,45
D36	Station 400 logements	300608,227	3692963,506	79,66	3,38	76,28	60,00	16,28
D37	CFPA 3	301093,65	3692780,876	80,31	5,35	74,96	60,00	14,96
D38	CM Bachir DjabAllah	302327,699	3692632,31	71,60	4,02	67,58	60,00	7,58
D39	Ecole Mohamed serouti	299 732,34	3 692 603,67	84,02	7,40	76,62	60,00	16,62
D40	Ecole Neghmouche Med Tahar	300446,243	3692682,285	88,15	11,41	76,74	60,00	16,74
D41	Ecole Ouinissi El Hachmi	301654,395	3692665,428	78,61	8,15	70,46	60,00	10,46
D42	Château d'eau 300 logements	300827,583	3692571,423	88,78	12,40	76,38	60,00	16,38
D43	Hôtel des Finances	299 725,65	3 692 303,36	86,88	11,10	75,78	60,00	15,78
D44	Terrain de sport	300460,729	3692403,212	87,26	11,08	76,18	60,00	16,18
D45	Ecole MeiaciAbdelouaheb	302018,144	3692209,245	79,11	5,77	73,34	60,00	13,34
D46	Ecole 300 logements	300676,194	3692148,167	87,20	11,02	76,18	60,00	16,18
D47	Annexe centre universitaire ElOued	301319,536	3692206,562	84,10	8,48	75,62	60,00	15,62
D48	EcoleEssaghaïre El Mouldi I	301459,313	3691779,629	80,43	4,63	75,80	60,00	15,80
D49	Conservation des forets	300500,686	3691766,953	89,46	14,30	75,16	60,00	15,16
D50	Cimetière Sahane 1	301948,401	3691704,979	78,61	3,54	75,07	60,00	15,07
D51	Ecole Maragni Khalifa Sahane1	302338,147	3691647,244	79,33	6,23	73,10	60,00	13,10
D52	DHW El Oued	300796	3691461	92,13	15,23	76,90	60,00	16,90
D53	Ecole Kina El Aich	301927,281	3691220,614	80,32	4,68	75,64	60,00	15,64
D54	Mosquée Sahane II	302475,577	3691120,034	78,55	4,32	74,23	60,00	14,23
D55	Résidence universitaire	302040,849	3690862,759	77,12	4,84	72,28	60,00	12,28
D56	Ecole Touati Ahmed Mustapha1	302653,43	3690698,26	79,45	5,00	74,45	60,00	14,45
D57	Ecole Mirhouet Ali Ouled Touat	303214,335	3690502,62	78,65	6,69	71,96	60,00	11,96
D58	Ecole Bekakra Ben Ali	302460,075	3690346,14	75,93	4,42	71,51	60,00	11,51

A partir de ce tableau et des résultats de mesure, on va établir des cartes qui présentent le niveau piézométrique de la nappe phréatique de la région d'étude à l'aide de système d'information géographique (arc GIS).

SIG est un système Informatique permettant à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées Géographiquement contribuant notamment à la gestion de l'espace .

Après une vaste étude approfondie sur l'arc GIS, Nous avons pu mettre en évidence les cartes de niveau piézométrique, pour comparaitre les deux campagnes de mesure en 2008 et 2014.

Et pour illustrer les résultats obtenus nous établissons des cartes en trois dimensions 3D, Pour identifier la limite des zones touchées par le phénomène de remontée de la nappe phréatique en 2008 et 2014.

Donc on va discuter sur le changement du niveau piézométrique qui a eu lieu entre les années 2008. Et 2014 .

Nous remarquer en la carte de 2008(Figure 77), la nappe phréatique été sur élevé surtout dans les régions bas de la wilaya d'El oued (chott, sidi mastour et nezla)(Figure78).

Et en 2014(Figure 79) le niveau piézométrique qui rabattue par rapport 2008 (figure80).

A cette effet en conclue qui le rendement de drainage verticale est acceptable, et le niveau de la nappe est rabattue entre 0.1m et 8.71m

la carte piezometrique de la zone d'etude en 2008



Niveau piezometrique de la nappe phréatique en 2008

Natura(2008)

<VALUE>

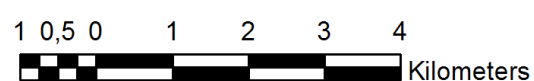
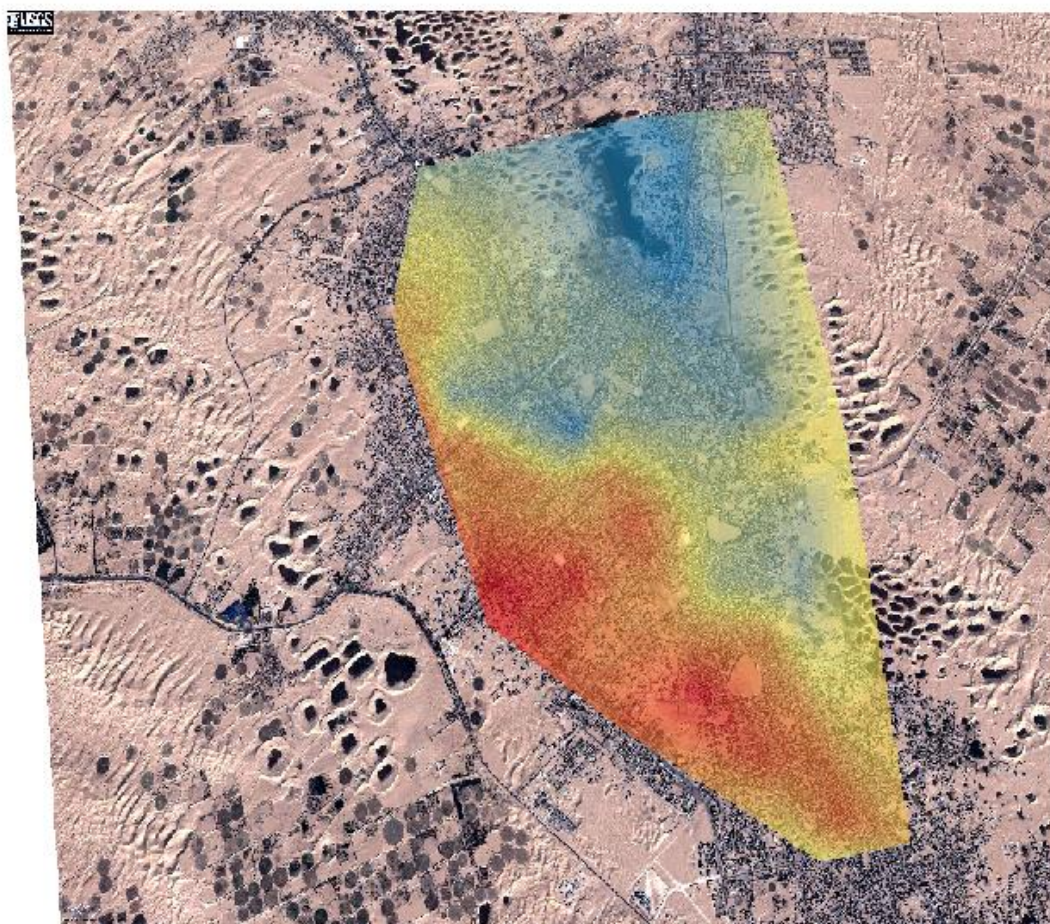
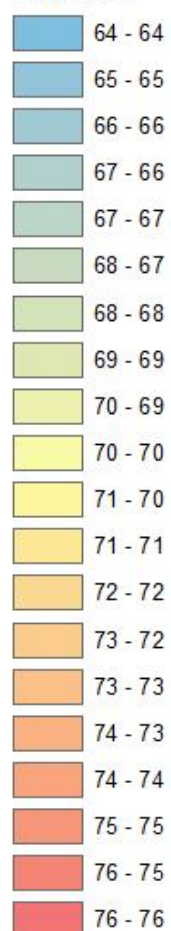


Figure 77 :*carte piézométrique de la nappe phréatique d'El Oued en 2008*

**Une carte 3D présente les zone touché par le
phénomène En 2008**

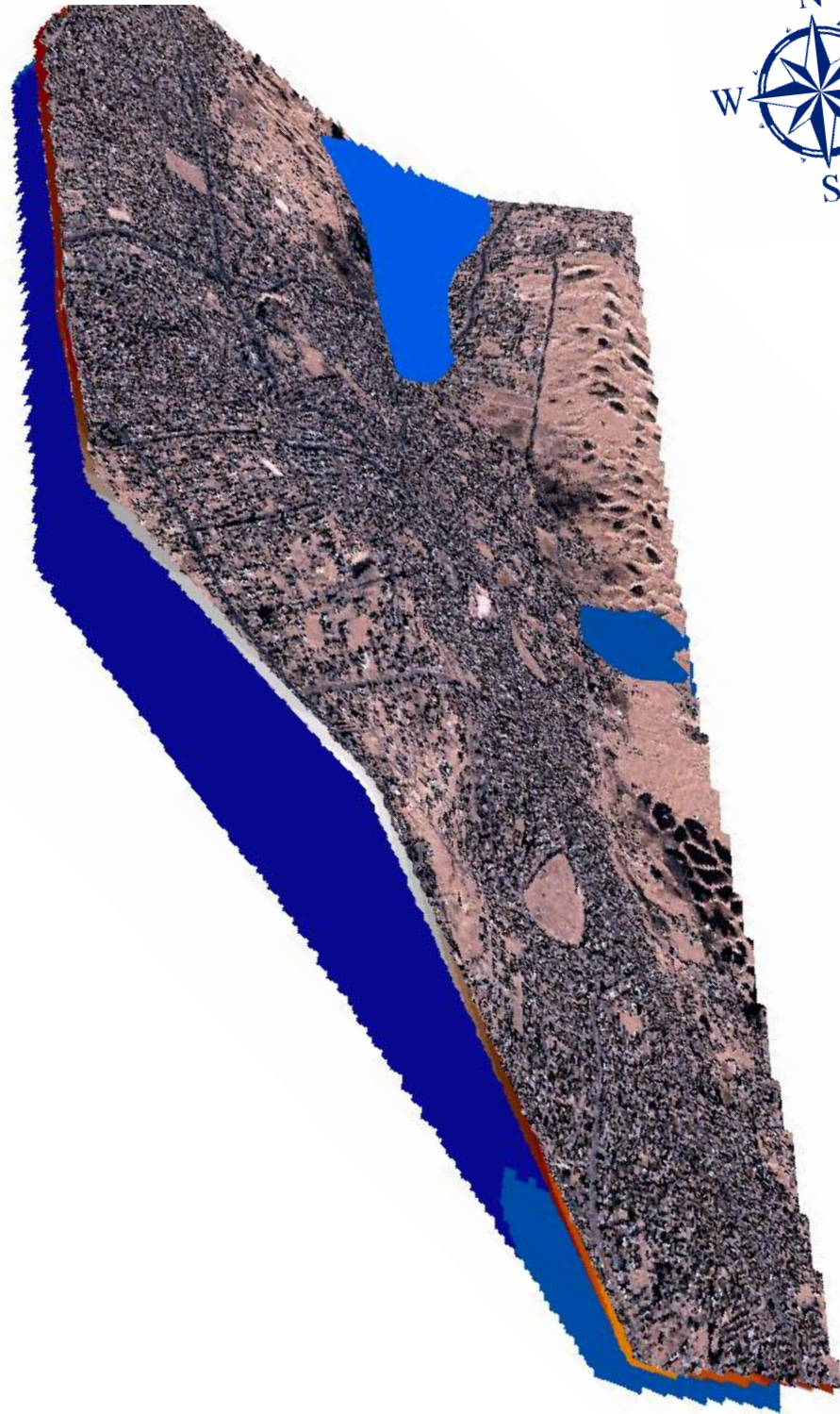


Figure78:carte 3D présente les zones touchée par le phénomène en 2008

Et de même principe en va réaliser des carte 2014 pour la comparaison entre les deux carte.

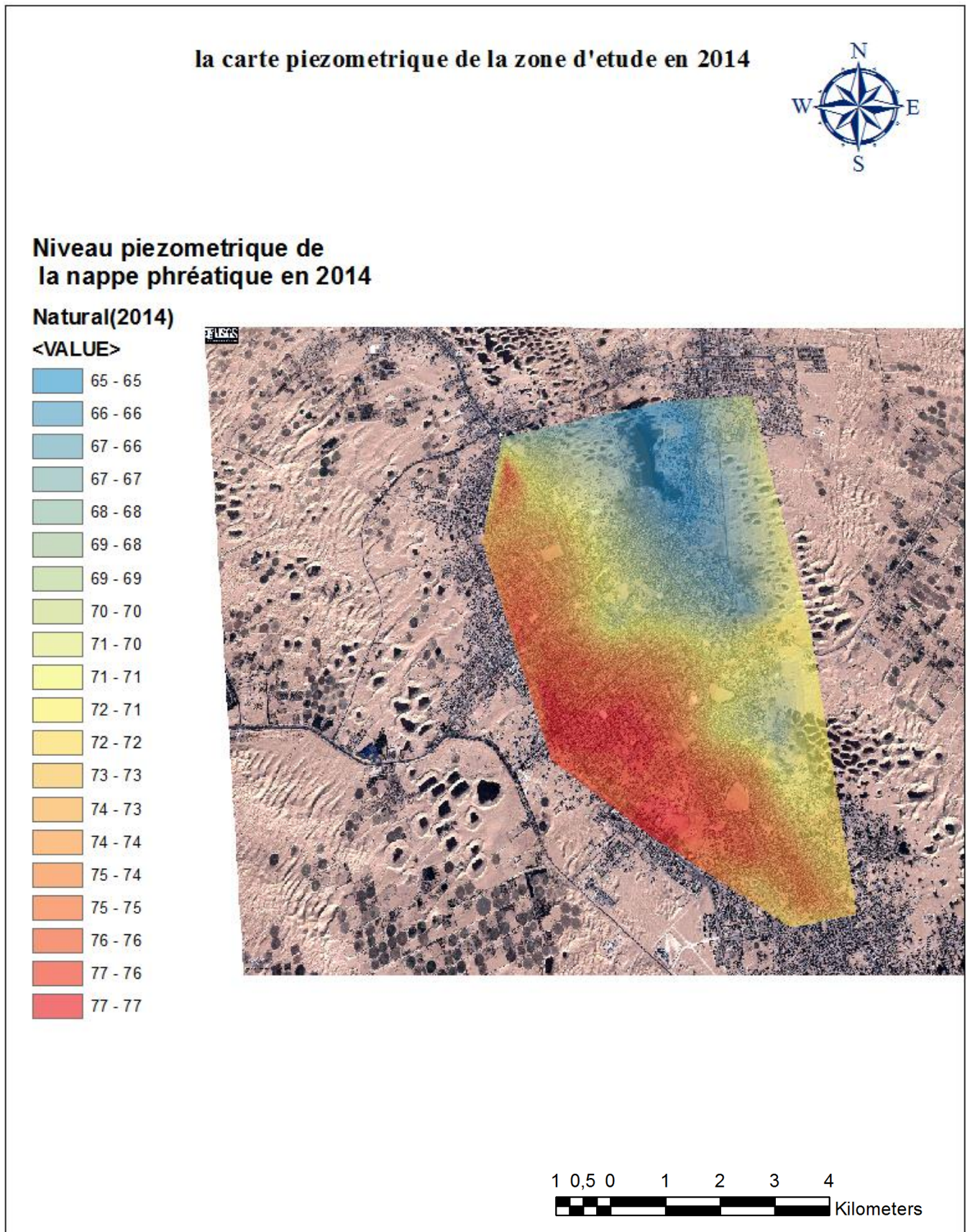


Figure79 :*carte piézométrique de la zone d'étude en 2014.*

**Une carte 3D présente les zone toucher par le
phénomène En 2014**



Figure80:*carte 3D présente les zones touchée par
le phénomène en 2014*

Conclusion

Générale

Et

Recommandations

Conclusion générale

Les disponibilités hydriques naturelles doivent exister en quantités suffisantes, même dans les régions hyper arides et déshéritées, pour que leur répartition et leur utilisation ne présentent pas de difficultés particulières. Mais, en notre époque moderne, caractérisée par un essor démographique, industriel et agricole sans précédent, des utilisations nouvelles sont venues s'ajouter aux usages anciens et traditionnels de l'eau. L'exploitation de plus en plus poussée des potentiels de production, jointe à la nécessité d'alimenter des collectivités plus nombreuses et où les besoins de chaque individu sont en augmentation constante, exigera dans les années qui viennent des ressources hydriques toujours plus importantes.

La région d'El-Oued « zone aride » est caractérisée par l'existence de trois nappes aquifères différentes : le Complexe Terminal, le Continental Intercalaire et la nappe phréatique.

- La nappe phréatique située entre 10 à 40 mètres de profondeur (1^{ère} nappe)
- Le Complexe Terminal situé entre 220 à 800 mètres de profondeur (2^{ème} nappe)
- Le Continental Intercalaire ou « Albien » situé entre 1800 et 2000 mètres de profondeur

Ces trois nappes représentent donc une ressource hydrique intéressante à exploiter pour les usages domestiques et pour la mise en valeur à El-Oued, Néanmoins, leur taux de salinité significatif pose encore un sérieux problème pour la boisson.

L'étude géologique de notre région d'étude montre que le réservoir du Continental Intercalaire est contenu dans les formations continentales des horizons sableux et argilo gréseux du Crétacé inférieur. Alors que, le réservoir du Complexe Terminal groupe sous une même dénomination plusieurs aquifères situés dans des formations géologiques différentes dont les formations litho-stratigraphiques suivantes : Sénonien et éocène carbonatés; Mio-Pliocène sableux (Continental Terminal); Quaternaire, sables dunaires, sables argileux et gypseux. La nappe phréatique est contenue dans les niveaux sableux et argilo-évaporitiques du Quaternaire, pelliculaires par rapport à la nappe des sables qui lui succède en profondeur, dont elle est généralement séparée par un niveau semi-perméable du Mio-Pliocène.

L'historique du phénomène de la remontée des eaux a montré un accroissement rapide des besoins en eau d'où des forages atteignant les nappes profondes ont été réalisées. Notre recherche a montré que le facteur principal qui a provoqué le phénomène est la surexploitation intensive des nappes profondes pendant ces dernières années. L'étude hydro-chimie, nous a donné une vue générale sur la qualité des eaux de ces nappes permet de dire que la pollution de la nappe phréatique est acquise par dissolutions (mise en solution) et par lessivage c'est à dire par les eaux usées. Maintenant le danger plus grand et la contamination de la nappe phréatique par des eaux usées.

Le projet est bien rendue pour le drain verticale mais le réseau d'assainissement est très faible .

Recommandations

À la fin de cette mémoire nous préposent quelques recommandations pour luté contre le problème de la remonté à l'El-Oued Souf :

- Réhabilitation les huit forages en arrêt de drainage verticale
- Accélération de plantation de ceinture verte
- Raccordement des autres communes par le réseau d'assainissement

Références bibliographiques

- ANRH. 1994. Les ressources en eaux dans la wilaya d'Ouargla. Rapport technique. Armon R., Dosoretz C., Azov Y. and Shelef, G. 1994. Residual contamination of crops irrigated with effluents of different qualities: A field Study. Wat. Sci. Tech., 30 (9). pp 239-248.

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

- Bataillon C., 1955. Le Souf, étude de géographie humaine. Alger, Institut de recherches sahariennes, mémoire n°2. 140p.

- BNEDR, 1992. Etude du schéma directeur de développement de l'agriculture de la wilaya d'El Oued. Alger. 32p.

- BNEDR, 1993. Schéma directeur de mise en valeur de la wilaya d'El Oued. Alger. 191p.

- Bonnard & Gardel, (Novembre) 2001a. Vallée du Souf-Ville d'El Oued. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission 1A, Diagnostic Assainissement Rapport. 147p.

- Bonnard & Gardel, (Août) 2002c. Vallée du Souf. Etude d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission II Troisième campagne de mesures hydrogéologiques. 65p.

- Bonnard & Gardel, (Mai) 2003a. Vallée du Souf. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission I-B : Schéma directeur d'assainissement. 456p.

- Bonnard & Gardel, (Mai) 2003b. Vallée du Souf. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission I-B : Schéma directeur d'assainissement réseaux d'eaux usées structurants. Cahier de plans et profils en long. 265p.

- Bonnard & Gardel, (Août) 2003c. Vallée de Ouargla. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Volet étude d'impact sur l'environnement mission II-B : caractérisation environnementale de la situation actuelle. 42p.

- Bonnard & Gardel, (Mars) 2004a. Vallée du Souf -Ville d'El Oued. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique Mission II APS du système de drainage verticale. 168p.

- Bonnard & Gardel, (Juin) 2004b. Vallée de Ouargla. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission I-C Avant Projet Détaillé Station d'épuration. Rapport technique. 57p.

- Bonnard & Gardel, (Juillet) 2004c. Vallée du Souf. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation et des mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique de la vallée d'oued Souf. Mission III-D. Etude impact sur l'environnement Mission III-D : Mesures compensatoires. 29p.

- Bonnard & Gardel, (Juillet) 2004d. Vallée du Souf Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation et des mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique de la vallée d'oued Souf. Mission III-D. Etude impact sur l'environnement. Mission III-D : Rapport de synthèse. 89p.

- Bonnard & Gardel, (Août) 2004e. Vallée du Souf. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mission II-C : Avant projet détail. Réseaux de transfert et de collecte. 196p.
- Bonnard & Gardel, (Décembre) 2004f. Vallée de Ouargla. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission II Rapport Final Investigations, essais de pompage et bilans d'eau, établissement des cartes piézométriques, diagnostic des captages d'eau et mesures de réhabilitation, de protection des ressources en eau. 110p.
- BRL-BNEDER, 1999. Etude du plan directeur générale de développement des régions sahariennes. Lot 1. Etude de base. Phase II A3. Monographies spécialisées des ressources naturelles. Ressources en eau, Vol. 3. Modélisation du Complexe Terminal. 63p.
- COBA, Binnie & Partners, GEOSYSTEM. 1997. Vallées du Souf et d'Ouargla. Mesures complémentaires de lutte contre la nappe phréatique. Etude d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Offre Technique Et Documents. 112p.
- Cote M., 2006. Si le Souf m'était conté, comment fait et se défait un paysage. Édition Média-plus, Constantine. 135 p.
- Cote M., 1998. Des oasis malades de trop d'eau? Paris, Sécheresse, vol 9, n°2. pp 123-130.
- E.N.A.G.E.O. -Entreprise nationale de géophysique-.1992. Étude de la nappe phréatique de la cuvette d'Ouargla. Rapport de mission, Direction de l'Hydraulique de Ouargla, 10p.
- Escart Dr, 1888-1891. Etude Sur le pays du Souf. Bulletin de l'Académie d'Hippone. Constantine, pp. 25-119.
- Guendouz A., Moulla A.S., 2000. Application des Techniques Nucléaires en zones arides : cas de la remontée des eaux de la nappe phréatique de la région de Oued-Souf (Grand Erg Oriental, Algérie). Proceedings of the Congress on the 'Contribution of scientific research and technologies in the development of arid and semi-arid areas'. 1-4 October 2000, El-Oued, Algérie.
- Munier P., 1981. Origine de la culture du palmier-dattier et sa propagation en Afrique, notes historiques sur les principales palmeraies africaines. Paris.
- Najah A., 1970. le Souf des Oasis. Edition Maison des livres, Alger. 173p.
- Nesson C., 1978. L'évolution des ressources hydrauliques dans les oasis du Bas Sahara algérien. In: Recherche sur l'Algérie. Ed. CNRS, Paris. pp 7-100.

