



UNIVERSITÉ KASDI MERBAH
OUARGLA

N° d'ordre :

N° de série :

FACULTE DES SCIENCES
ET SCIENCES DE L'INGENIEUR

DEPARTEMENT DE HYDRAULIQUE ET GINIE CIVIL

Mémoire

Présenté en vue de l'Obtention du Diplôme de

MAGISTER

Spécialité : Hydraulique

Option : Aménagement hydraulique en zones arides

Par Abdel-Monem MILOUDI

Thème

**Mécanismes et remèdes de phénomène de la remontée
des eaux dans la région d'Oued Souf**

-L'impact sur l'environnement de la région-

Soutenu publiquement le -- / -- /2008

Devant le jury :

BENTEBBA Mohamed Tahar
HAMOUDI Saad
BOUTOUTAOU Djamel
REMINI Boualem

Maître de Conférences, Université de Ouargla
Professeur, Université de Chélif
Maître de Conférences, Université de Ouargla
Professeur, Université de Blida

Président
Examineur
Examineur
Promoteur

A ma grande famille.

Remerciements

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

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à mon promoteur, Monsieur le Professeur REMINI BOUELAME, au département du génie rural à l'Université de Blida, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant d'encadrer ce travail. Je le remercie infiniment pour son aide, par ses conseils judicieux et ses orientations, à réaliser ce travail. Je tiens également à le remercier pour l'intérêt qu'il porte au développement des régions sahariennes. et ses conseils

Monsieur BENTABBA Mohamed Tahar, Maître de conférences à la faculté des sciences et sciences de l'ingénieur à l'Université de Ouargla, qui m'a fait l'honneur de présider mon jury.

Monsieur HAMOUDI Saad, qui a bien voulu examiner ce travail.

Monsieur BOUTOUTAOU Djamel pour avoir accepté de juger ce travail.

Monsieur BENDEKANE Belgacem et Monsieur LARESCHE Tiri, des ingénieurs au Bureau d'étude de Bonnard & Gardel pour ces conseils très précieux, et pour avoir relu mon travail.

Je remercie Mme Rabia Slimani qui m'a beaucoup aidée dans mes démarches, je tiens à remercier très vivement ma deuxième famille ; Nadia, Liela, Loueza, Fadila, Hassiba à toute la famille Slimani pour sa gentillesse et son aide.

M^{elle} Fouzia pour sa sympathie, son aide et amitié. Sans oublier Houria, ingénieur au Laboratoire de biogéochimie en milieux désertique.

Nous remercions Madame AICHA et Monsieur LECHARI Mohamed El Bachir, des ingénieurs de la D.H.W.d'El-Oued pour tous leurs renseignements et leurs aides.

Je tiens enfin à remercier plus personnellement mes proches pour leur aide et leur soutien permanent sans lesquels ce mémoire n'aurait pas abouti.

Merci à mes parents, mes sœurs, mes frères.

Je remercie par la même occasion tous mes amis de la promotion 1^{er} année de Magister, surtout, A. Khelifa, A. Ben tria qu'ils trouvent ici l'expression de mes vifs remerciements.

Je n'oublierai pas mes amis B. Guechout, D. Zibédi, A. Assassa, N. Debbab, A. Mejour, A. Nesrat et tous mes amis de bureau d'étude Bonnard & Gardel pour leur aide et leur vive sympathie surtout H. Benmoussa, N. Slimani, I. Bennajit, Y. Hamadou, R. Kadari, T. Soufi, B. Oualabi, Y. Hourri, M. Halem, S. hamdini, qu'ils soient assurés de ma profonde reconnaissance, je les remercie pour leur amitié et leur soutien

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

Liste des tableaux

<i>N°Tableau</i>	<i>Titre</i>	<i>Page</i>
Tableau 1	Données climatiques de la région d'Oued Souf (1996- 2006).	10
Tableau 2	Caractéristiques des quelques pompes des stations des relevages.	52
Tableau 3	Répartition des fosses par communes	53
Tableau 4	Plants servant à fixer le sable et s'adaptant aux exigences climatiques et du sol de la zone du Souf	57
Tableau 5	Espèces possibles d'eucalyptus à introduire	58
Tableau 6	Les débits estimés d'eaux usées collectés par chaque commune	67
Tableau 7	Les caractéristiques des stations d'épuration dans le cadre de réalisation	76
Tableau 8	Débits exploités et exploitables à partir des nappes du Complexe Terminal dans la wilaya de Ouargla (l.s ⁻¹)	85
Tableau 9	Niveau de profondeur des eaux de la nappe phréatique par rapport a la surface du sol dans la cuvette de Ouargla (m)	92
Tableaux 10	Débits de drainage, estimé, par secteur dans la palmeraie de Ouargla.	97
Tableau 11	La répartition des longueurs des collecteurs par diamètre et matériau.	98
Tableaux 12	Le débit d'eau journalière rejetée de quelques stations (m ³).	101
Tableau 13	Différents débits de chaque ensemble.	101

Liste des figures

<i>N° figure</i>	<i>Titre</i>	<i>Page</i>
Figure 1	Localisation géographique de la zone d'étude.	5
Figure 2	Plan géologique du Grand Erg Oriental.	7
Figure 3	La lithostratigraphie du forage F1.	8
Figure 4	Le relief du Souf.	9
Figure 5	Diagramme Ombrothermique de la région d'Oued Souf.	12
Figure 6	Climagramme d'Emberger pour la région du Souf.	13
Figure 7	Limite de l'aquifère du Continental Intercalaire avec les niveaux piézométrique et le sens d'écoulement.	14
Figure 8	Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara Septentrionale.	15
Figure 9	Limites de l'aquifère du Complexe terminale avec les niveaux piézométrique et le sens d'écoulement.	17
Figure 10	Zone d'alimentation de la nappe phréatique et le sens d'écoulement de la nappe.	18
Figure 11	Système du ghout dans la région du Souf.	20
Figure 12	Le périmètre de Hobba vue d'avion avec le plan au sol, crée en 1958.	21
Figure 13	Les puits entre El-Oued et Ghadamès en 1883.	23
Figure 14	Les nombres des palmiers du Souf au début de XX ^e siècle.	23
Figure 15	Les Oasis du Souf aux XIX ^e et XX ^e siècles.	24
Figure 16	Les palmeraies du Souf.	26
Figure 17	La ville d'El Oued, vue d'avion en 1980.	27
Figure 18	Evolution de la situation des ghouts autour d'El Oued en 1980.	28
Figure 19	Evolution des nombres des palmiers au début des l'années 80.	29
Figure 20	La catastrophe situation des ghouts d'El Oued en 1986.	29
Figure 21	Situation d'un ghouts envoyée complètement par les eaux polluée de l'année 90.	31
Figure 22	Carte piézométrique de la nappe phréatique du Souf en mars 1993.	32
Figure 23	Situation d'un ghout dans la commune d'El Oued remplis d'eau et de roseaux à la place des palmiers.	35
Figure 24	Développement les surfaces des palmiers de l'année 1995 à 2000 du Souf.	36
Figure 25	Les nombres des palmiers de l'année 1995 à 2000 du Souf.	36
Figure 26	Le comportement de la nappe dans le temps pour cette période.	37
Figure 27	Etat des ghouts du Souf en 2001.	38
Figure 28	Le chott d'El Oued (remontée capillaire de l'eau de la nappe) près de la station principale (10).	39
Figure 29	Puits traditionnel pour Le réseau de surveillance de la nappe phréatique.	40
Figure 30	Etat du réseau de surveillance en 2001.	41
Figure 31	La carte de différent piézométrique entre 1993-2002 (a) et 2001-2002 (b).	42
Figure 32	Forme de l'agriculture nouvelle le mini-pivot de fabrication artisanale.	45
Figure 33	Le comportement spatial de la nappe phréatique pour ce période (actuel).	46
Figure 34	Le réseau d'assainissement actuel de la commune d'El Oued.	50
Figure 35	Localisation des stations de relèvement existantes.	51
Figure 36	Le système traditionnel d'assainissement (la fosse perdue).	54
Figure 37	Conduite d'amiant ciment utilisée dans le réseau drainage (a)avec la station de pompage des eaux de drainage (b).	55
Figure 38	La zone de rejet actuel d'El Oued.	56
Figure 39	La ceinture verte du côté les routes a droite (b) et dans les zones inondées (Sidi Mastour) a gauche (a).	59
Figure 40	Présente la différence entre deux périodes (A. avant, B. Après).	60
Figure 41	L'état actuel de pompe biologique.	60
Figure 42	La ceinture verte de la région du Souf.	61
Figure 43	Schéma directeur d'assainissement de la vallée du Souf.	63
Figure 44	Schéma d'une installation type d'assainissement individuel.	65
Figure 45	Le réseau de drainage planté dans le commun d'El Oued.	66
Figure 46	Débits d'eaux usées vers le réseau d'assainissement dans la vallée du Souf.	68
Figure 47	Les dispositifs d'épuration pour l'assainissement individuel.	71

Figure 48	Schéma type d'un système filtres plantés de roseaux.	73
Figure 49	Schéma de principe (plan d'implantation) la station d'épuration.	75
Figure 50	Localisation de la cuvette de Ouargla.	80
Figure 51	Carte géologique du grand erg oriental.	81
Figure 52	Reliefs de la région de Ouargla.	82
Figure 53	Historique des prélèvements de Continental Intercalaire à Ouargla.	84
Figure 54	Les oasis de la cuvette de Ouargla aux X ^e et XI ^e siècles.	87
Figure 55	Carte piézométrique de la nappe phréatique en avril-mai 1968.	89
Figure 56	Coupes hydrogéologiques au travers la cuvette de Ouargla.	90
Figure 57	Carte piézométrique de la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla.	91
Figure 58	Carte piézométrique de la nappe phréatique en novembre 2003.	93
Figure 59	La répartition actuelle des palmeraies de la cuvette de Ouargla.	95
Figure 60	Drain horizontale à ciel ouvert traverse les oasis de palmeraies.	96
Figure 61	Taux de colmatage du réseau.	99
Figure 62	Conduite obturée (a) et dépôts importants et attaque des parois du conduit (b).	99
Figure 63	Pente des collecteurs.	100
Figure 64	Etat de l'écoulement dans les collecteurs.	100
Figure 65	Regard sans tampons obturés par les eaux usées et le sable et le Débordement près de la SR Mekhadma.	100
Figure 66	L'ensemble des points de rejets des eaux usées de la cuvette de Ouargla.	102
Figure 67	situation générale des travaux au niveau de la cuvette de Ouargla.	105
Figure 68	Schéma de principe de la station de lagunage de Ouargla.	107
Figure 69	Localisation de la station de traitement des eaux usées sur le chott de Ouargla.	108

Liste des abréviations

AEP	: Alimentation en Eau Potable.
ANRH	: l'Agence Nationale des Ressources Hydriques.
BG	: Bonnard & Gardel.
BNEDR	: Bureau National d'Etude pour le Développement Rural.
CT	: Complexe terminal.
CI	: Continental intercalaire.
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.
DHW	: Direction d'hydraulique de la Wilaya.
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'Epuration.

Résumé :

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

La région d'El Oued est confrontée au phénomène de la remontée des eaux depuis une quarantaine d'années et qui ne cesse de prendre de l'ampleur chaque année.

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

Face à cette problématique, diverses solutions ont été proposé et en cour de projetée pour mettre fin à cette inondation particulière.

Dans notre étude, nous nous sommes intéressées au mécanisme de la remontée des eaux de la nappe phréatique par suivre sont niveau piézométrie de la nappe avant et après l'apparition de phénomène et aussi on à présenter l'influence des ces solutions sur la région avec quelques recommandation concernes les remèdes.

Mots clés : Eau, Nappe, Remontée, Oued Souf, Environnement, Solution, Gestion.

Summary:

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

The region of El Oued has faced the remounting of water since 40 years ago and which cannot be stopped each year. The phenomenon of the water rising of the phreatic layer has taken very big dimentions these twenty years ago. The use of the water of the profound layer considerably increased the volume of were the principal causes of their ecological unbalance.

Facing this problematic, several solutions were proposed at the some time the projects to put an end to this particular (inundation).In our study, we were interested in the mechanism of the remounting of water of the phreatic layer by controlling its piezometrie level of the layer before and after the disappearance of the phenomenon. Also we have presented the influence of these solutions on the region with some recommendation concerning the remedies.

Keywords: water, layer, remounting, Oued Souf, environment, solutions

ملخص

الماء عنصر كوني مثل الشمس و الأرض، و المياه الباطنية مثل الدم للأرض و لكن عندما نتحدث عن زيادة الماء في الوسط الصحراوي يظهر لنا في شذوذا في الوهلة الأولى.

إن منطقة الوادي تواجه ظاهرة صعود المياه منذ حوالي الأربعين سنة و التي لم تتوقف و واصلت الانتشار مع كل سنة. و ظاهرة صعود المياه للطبقة الحرة أخذت أبعادا مخيفة في العشرينية الأخيرة، استعمال مياه الطبقة العميقة بطريقة مفرطة زاد بصفة معتبرة من حجم المصاعب مع غياب مصب طبيعي لقذف المياه المستعملة سواء كانت منزلية أو صناعية. هذه الأسباب خلقت اختلال في التوازن البيئي مما سبب في خسارة واحات النخيل و غرق الغيطان مما جر إلى نتائج مميتة على المستوى البيئي، الفلاحي، الاقتصادي و الصحي لمنطقة سوف.

و لمواجهة هذه المشكلة عدة حلول اقترحت و في صدد التنفيذ لوضع حد لهذه الظاهرة الخاصة في دراستنا نحن مهتمون بآلية صعود مياه الطبقة الحرة بمتابعة المستوى البيزومتري لهذه الطبقة قبل و بعد ظهور هذه المشكلة و عرضنا تأثير هذه الحلول على المنطقة مع بعض التوصيات المتعلقة بالعلاج.

الكلمات المفتاحية: الماء، الطبقة، صعود، وادي سوف، بيئة، حلول، تسيير.

Sommaire

	<i>Page</i>
INTRODUCTION	1
Chapitre I – Présentation de la région du Souf	4
I.1- Situation géographique de la région d'Oued Souf	5
I.2- Géologie de la région du Souf	6
I.3- Relief	9
I.4- Contexte climatique du Souf	10
I.4.1- Climatologie	10
I.4.2- Synthèse climatique	12
I.5- Hydrogéologie du Souf	13
I.5.1- Nappe du Continental Intercalaire	13
I.5.2- Complexe Terminal	15
I.5.3- La Nappe traditionnelle (nappe phréatique)	18
Chapitre II: Diagnostique sur les eaux de la nappe traditionnelle du Souf	19
II.1- L'agro-système soufi et ses implications	20
II.2- Historique de remontée de la nappe phréatique	22
II.2.1- Prévision sur la variation piézométriques de la nappe phréatique et son impact sur la vie de <i>Soufis</i>	22
II.2.1.1- Période de rabattement de la nappe traditionnelle du Souf	22
II.2.1.2- Période De L'équilibre Critique De La Région	25
II.2.1.3- Période de la rupture d'un système fermé et l'ampleur du phénomène	28
II.2.1.4- Période de la rupture totale d'un système fermé et l'éveil des pouvoirs publics	31
II.2.1.5- Période de l'activité de pouvoirs publics et le lancement des grands projets de la vallée du Souf	37
Chapitre III: Remèdes de remontée des eaux et leur impact sur la région du Souf	47
III.1- Situation de l'assainissement du Souf	49
III.1.1- Assainissement collectif	49
III.1.2- Assainissement individuel	52
III.2- Le réseau de drainage d'El Oued	55
III.3- La zone de rejet d'El Oued	55
III.4- les remèdes proposés et en cours d'exécution pour le phénomène de remontée de la nappe phréatique	57
III.4.1- Création de ceinture d'évapotranspiration (la solution biologique)	57
III.4.2- Plantation d'un réseau d'assainissement	62
III.4.2.1- Le réseau d'assainissement	62
III.4.2.2- Le réseau de drainage des eaux de la nappe phréatique	65
III.4.3- Volet d'épuration des eaux usées	67
III.4.3.1- l'épuration dans l'assainissement individuel	68
III.4.3.2- l'épuration des eaux usées dans l'assainissement collectif	74
III.4.3.3- Traitement et aménagement des ghouts et Houds	78

Chapitre IV: Approche comparative entre les solutions proposés pour les région du Souf et Ouargla	79
IV.1- La situation générale de la cuvette de Ouargla	80
IV.2-Géologie de la région	80
IV.3- Hydrographie et géomorphologie de la région de Ouargla	81
IV.4- Présentation climatique	83
IV.5- Hydrogéologie de la région de Ouargla	83
IV.5.1- La nappe profonde de Continental Intercalaire (Albien)	83
IV.5.2- La nappe de Complexe Terminal	84
IV.5.3- La nappe phréatique	85
IV.6- L'analyse de phénomène de remontée de la nappe phréatique dans la cuvette de Ouargla	86
IV.6.1- Avant 1957 (date de premier forage Albien)	86
IV.6.2- Après 1957	88
IV.7- Système du drainage de palmeraie de la cuvette	96
IV.8- Assainissement urbain	98
IV.8.1- Réseau d'assainissement	98
IV.8.2- Stations de pompage	101
IV.8.3- Dispositifs de traitement	103
IV.8.4- Assainissement autonome	103
IV.9- Insuffisances organisationnelles	104
CONCLUSION	110
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	113
ANNEXES	120

Si l'homme entretient avec l'eau des rapports singuliers, c'est en raison de l'absolue nécessité dans laquelle il se trouve de faire appel à elle, simplement pour se maintenir en vie. Impossible, dans ces conditions, de prendre du recul. Vingt-quatre heures sans elle, et la plus belle des mécaniques intellectuelles s'arrêtent, le cerveau n'entend sa soif.

L'eau est un élément cosmique, au même titre que le soleil et la terre. Elle est, au même titre que les deux autres, la condition de la vie.

L'eau souterraine était comme le sang de la terre. C'est elle qui, en Arabie et en Syrie, transmettait aux roseaux et aux joncs ce parfum si puissant qu'il envoûtait les oiseaux.

Mais lorsque on parle d'excédent d'eau en milieu désertique peut paraître aberrant à première vue (Idder T, 1998). C'est pourtant une réalité dont j'ai pu me rendre compte à Oued Souf, ville dont nous sommes originaire.

Un coin de désert, un morceau de Sahara. Dunes et palmiers. On se trouve étonné de découvrir en ce coin de terre une population aussi importante, une vie aussi intense, des problèmes aussi cruciaux.

Dans les années 1900, une jeune journaliste et écrivaine, française d'origine russe, attirée par le Maghreb, découvre le Souf. Et Isabelle Eberhardt fut éblouie par ce pays. « Jamais, en aucune contrée de la terre, je n'avais vu une ville se parer d'aussi magnifiques splendeurs » (Eberhardt I, 1990).

Dans la foulée, cette région peu connue, à l'écart au sein du Sahara algérien, devint une région touristique, parcourue par des circuits, appuyée par quelques hôtels.

Mais par la suite depuis les années 1970, ce territoire synonyme de beauté pure, de condensé de Sahara, est entré en crise. Et ses paysages en ont été bouleversés.

Le cas du Souf est exemplaire à plus d'un titre. Longuement façonné par la société locale, peaufiné jusqu'en ses détails, son paysage est aujourd'hui brutalement remis en cause. Et comme toujours en pays saharien, les faits, anciens et nouveaux, positifs et négatifs, sont enregistrés avec une netteté éclatante. Nulle part mieux qu'au désert les paysages ne peuvent se lire à livre ouvert (Cote Marc, 2006).

Le problème des excédents hydriques ne touche pas uniquement la ville d'Oued Souf, mais il affecte également plusieurs autres villes du Sahara algérien, comme exemple Ouargla, et El Menéa. Ce sont de grandes villes, où les volumes desquelles se sont développés de grands périmètres de mise en valeurs, qui rejettent des quantités considérables d'eau de drainage.

Le développement rapide a entraîné des problèmes énormes ces dernières années, relatifs principalement à la remontée et l'évacuation des eaux des nappes phréatiques, aux eaux d'assainissement.

L'absence d'un exutoire naturel complique d'avantage le rejet du surplus d'eau et les eaux usées domestique. Cependant, la solution au problème de la remontée nécessite la suppression des fosses septiques et la généralisation d'un réseau d'assainissement dans toute la région d'Oued Souf équipées par des stations d'épurations.

Pour cela on choisit le titre "mécanisme et remèdes de phénomène de remontée des eaux de la nappe dans la région d'Oued Souf -Impact sur l'environnement de la région-" pour

notre travail, et pour réaliser ce travail, plusieurs visites de prospection sur site d'étude et les chantiers des travaux, et dans d'autres Oasis du Sahara algérien, notamment celle de Ouargla, ont est nécessaires pour acquérir une connaissance approfondie du cadre naturel.

La collecte des données scientifiques a été effectuée auprès de différentes administrations locales et régionale, en particulier, BG (Bureau d'étude de Bonnard & Gardel), l'O.N.M (Office Nationale de Météorologie), la D.H.W (Direction de l'Hydraulique de la Wilaya), la D.S.A (Direction des Services Agricole), l'O.N.A (Office Nationale d'Assainissement), et l'A.N.R.H (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques).

L'interprétation de ces données a nécessité, en fragmentaire et parfois contradictoire, dû à l'absence, au niveau local, de basse de données fiable et régulièrement mises à jour.

Il a donc été nécessaire, au préalable, de regrouper les différents éléments disponibles, de les vérifier et d'en faire la synthèse.

On va suivre quelques étapes étudiée, où nous allons établir un état des lieux et l'examen des conditions naturelles (chapitre I), nous verrons ensuite la mécanisme et comment la mauvaise gestion de cette ressources, dans un cadre naturel particulièrement favorable à l'accumulation des eaux de la nappe, à conduit à l'apparition du phénomène des excédents hydriques (chapitre II), et après ça on donnent les remèdes proposer et en cours d'exécution sur le terrain pour sortirent de cette situation (chapitre III), et le chapitre IV sera enfin consacrée une approche comparative entre les solutions proposée pour la cuvette de Ouargla et Oued Souf pour donnée une idée que les ouvrages hydrauliques planter dans les deux région est insuffisant sans la gestion des ressources hydriques.

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

La zone d'étude est située dans la Wilaya d'El Oued, l'une de principales oasis du Sahara septentrional Algérien. Elle est située au Sud-est de l'Algérie à une distance de 650 km de la capitale, au Nord-est du Sahara septentrional. Elle occupe une superficie de 44.586 km², et limitée par les Wilayates de Biskra, Khenchela et Tebessa au Nord, Nord-est par la Wilaya de Djelfa, au sud et sud-est par la Wilaya de Ouargla et à l'est par la frontière Tunisienne. Traditionnellement, les limites des Oasis du Souf sont l'Erg oriental jusqu'aux abords du Chott Melghir, s'étire une masse de palmeraies limitée à l'Est par la frontière Tunisienne et à l'Ouest par l'immense oasis de l'Oued-Righ. Et les limites de cette oasis atteignent la frontière libyenne au sud.

La région d'étude s'étend sur une 18 communes (El Oued, Bayadha, Robbah, Kouinine, Guemmar, Taghzout, Hassani Abdelkrim, Debila, Sidi Aoun, Magrane, Hassi Khelifa, Reguiba, Mihouensa, Oued Alenda, Ogla, Nakhla, Ourmes et Trifaoui), une superficie d'environ de 3500 Km², limitée par les coordonnées géographiques suivantes: les longitudes 05°30' et 07°00' Est et les latitudes 35°30' et 37°00' Nord (figure 1) (ANRH, 2005 ; Najah.A, 1970).

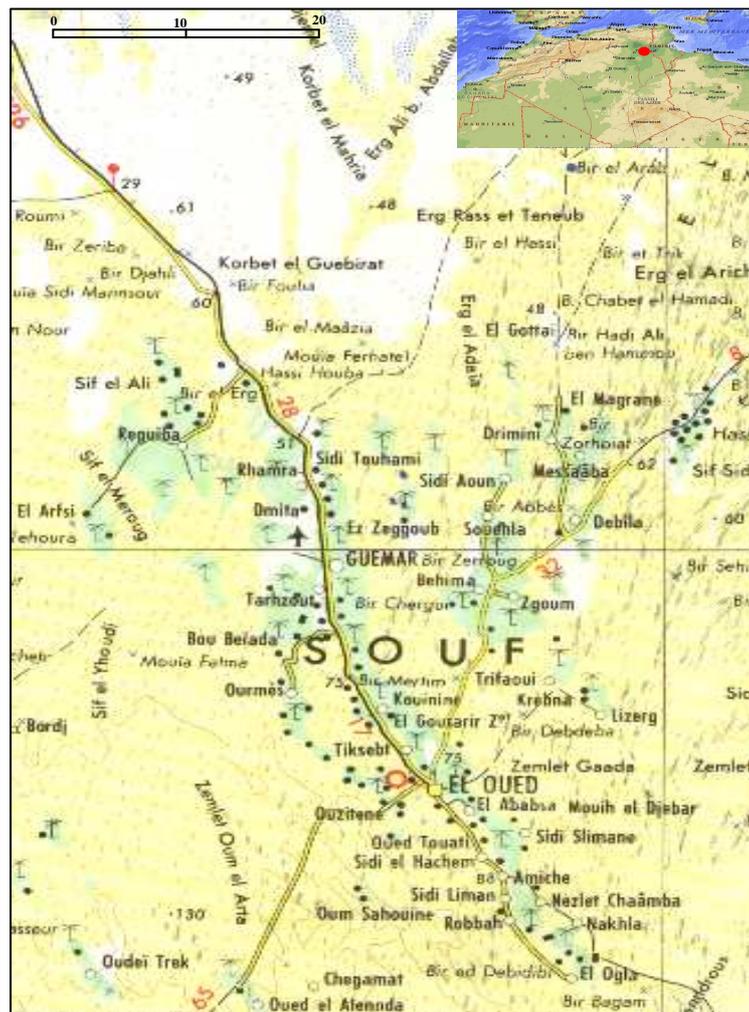


Figure 1. Localisation géographique de la zone d'étude.

I.2- Géologie de la région du Souf:

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

Dans la région du Souf, les conditions tectoniques et paléogéographiques ont permis la mise en place d'une série sédimentaire à caractère lithologique divers et variable dans le temps, plutôt calme, régulière et homogène dans l'espace (figure.3). Ces caractéristiques ont favorisé la formation dans le Souf et dans tout le bas Sahara de plusieurs terrains aquifères à comportement hydrodynamique variable en fonction de leurs faciès.

D'après Cornet (1964), Lechaari M.B (1990), Guendouz et al (1992), le bassin oriental du bas Sahara, entre la dorsale du M'Zab et les reliefs du Dahar, les formations post – turoniennes constituent (figure 2) un système aquifère généralement indépendant du Continental Intercalaire ;

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

L'Aptien même que le Barrémien, sont constitués principalement par des formations dolomitiques, marneuses et marno-calcaires. Et d'après les coupes géologiques des forages réalisés dans la région du Souf, L'Aptien est le seul étage dont l'épaisseur ne dépasse guère 30 mètres (figure 3).

L'Albien est constitué par une alternance de marnes, de grés de sables et surtout par des calcaires avec passages de silex et d'argile, l'épaisseur varie de 100 à 150 m ; dans d'autres endroits elle peut atteindre 200 m (figure 3).

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

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

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

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

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

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

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

- * *L'Eocène carbonaté à la base*, réunis forme un très puissant ensemble calcaire.
- * *L'Eocène évaporites au-dessus* constituée par une alternance de calcaires, d'argiles et d'anhydrites.

Le Miopliocène repose en discordance indifféremment sur le primaire d'une part et sur le crétacé inférieur, le Turonien, le Cénomanién et l'Eocène d'autre part. Il appartient à l'ensemble appelé communément "Continental Terminale".

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

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

Les nappes phréatiques sont contenues généralement dans ces niveaux.

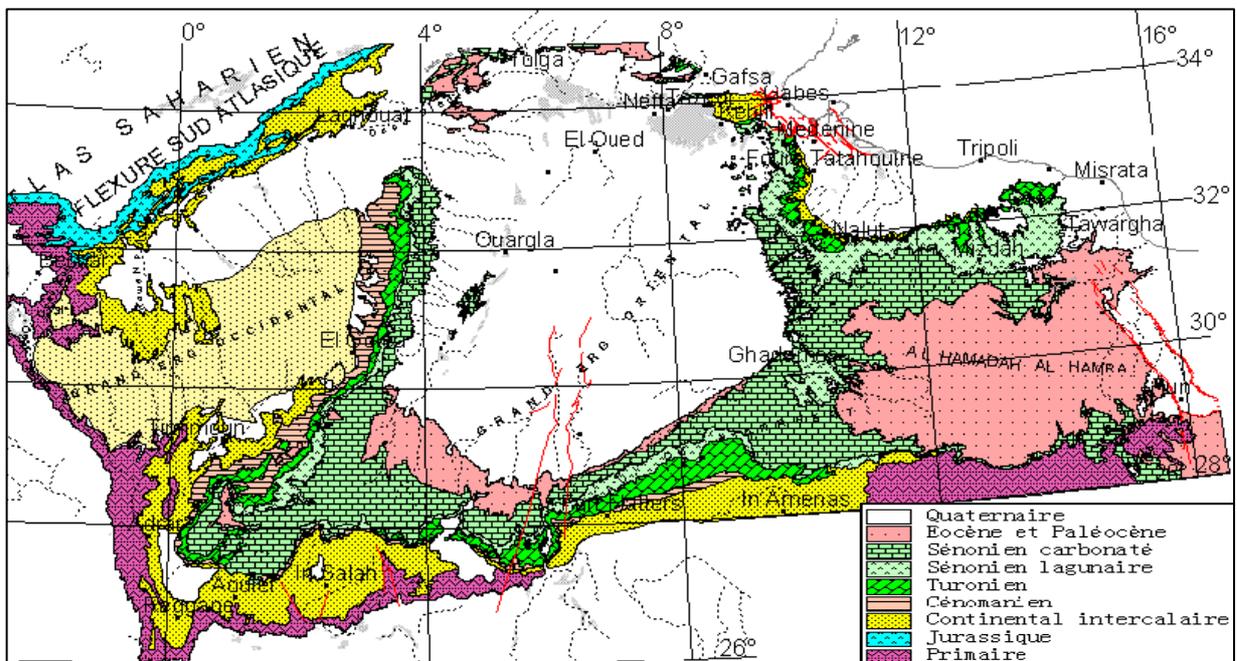


Figure 2. Plan géologique du Grand Erg Oriental, (Baba Sy.M, 2005).

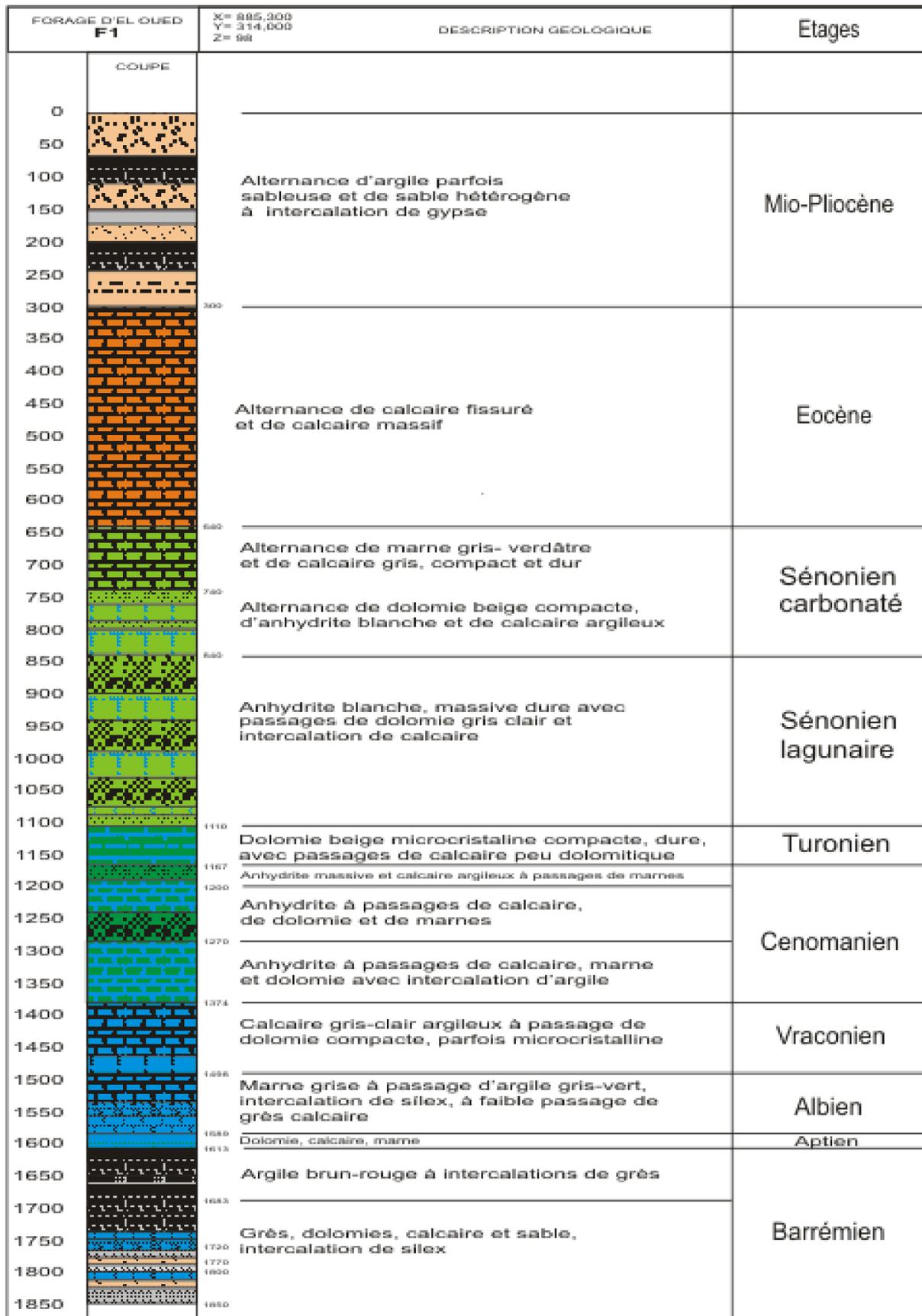


Figure 3. La lithostratigraphie du forage F1, (ANRH, 1993).

I.3- Relief:

Le relief du Souf est presque tout entier compris entre deux lignes orientées Est-Ouest ; la première au Nord est la courbe des 50 m, et la seconde au sud, celle des 100 m. une troisième ligne, relie les points de 75 m, est parallèle à ces deux lignes en leur milieu. La courbe de niveau des 50 m passe par Réguiba, Magrane et Hassi khalifa (figure 4). Celle des 75 m relie Guémar à Z'goum et la courbe de 100 m, Oued-Ziten, Amiche et El-Ogla (Voisin A.R, 1970).

Cette région sablonneuse ; à une altitude moyenne de 80 m, possède des dunes qui dépassent parfois cent mètres (100 m) de hauteur ; et le plus "haut sommet" du Souf est une dune de 127 m située à 2 km au sud d'Amiche, accuse une diminution notable du sud au nord pour être de 25 m au-dessous du niveau de la mer dans le chott Melghir qui occupe le fond de l'immense bassin du bas Sahara.(Najah.A, 1970 ;Voisin A.R, 1970)

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

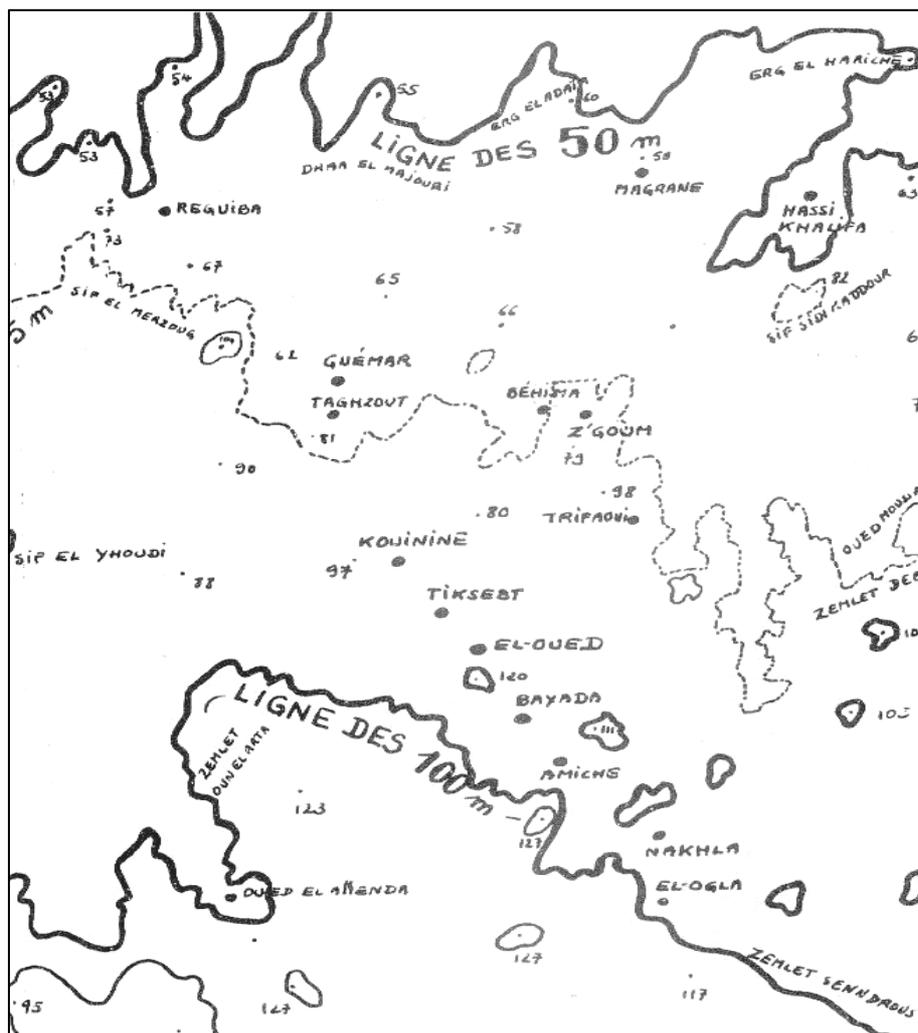


Figure 4. Le relief du Souf (Voisin A.R, 2004).

Il convient de préciser que le terme Oued n'implique pas l'existence d'un cours d'eau, mais vise à caractériser une dépression ou Houd où la végétation, quoique maigre, reste différente de celle de la Remla ou «Ämi» (Najah A, 1970).

Les Sahanes sont des plateaux déprimés, souvent assez étendus, parfois caillouteux ou recouverts d'une croûte gypseuse ; ils sont enserrés par l'Erg qui leur donne ainsi une forme de cratère. Cette croûte ou agglomérat de petits gravillons de gypse les Sahanes contre l'invasion des sables. Même que les Houds ne sont que des Sahanes comblés par l'absence de cette croûte protectrice (Najah A, 1970).

L'Erg Soufi est plus modeste, presque jusqu'à Bir-Djedid (160 km au sud d'El-Oued) on ne rencontre qu'une étendue uniforme et imprécise de Remla (monticule). Les masses de sable qui paraissent à première vue infranchissable, le sont au contraire assez facilement, car l'Erg rarement compact ; il est la plupart du temps coupé par de longs couloirs appelés Gassi (Voisin A.R, 2004).

I.4- Contexte climatique du Souf:

I.4.1- Climatologie:

Tableau 1. *Données climatiques de la région d'Oued Souf (1996- 2006)*

paramètre Mois	Température			Précipitation (mm)	Insolation (heure)	Humidité (%)	Evaporation (mm)	Vent (m.s ⁻¹)
	T _{min} °C	T _{max} °C	T _{moy} °C					
Janvier	5,33	16,77	10,87	12,07	230,95	65,73	75,04	2,78
Février	6,92	19,12	12,74	4,68	246,34	55,64	99,06	2,72
Mars	10,78	24,24	17,48	5,27	280,19	48,45	149,50	3,80
Avril	15,43	28,70	21,22	8,22	286,71	44,27	202,08	4,18
Mai	19,09	33,14	26,14	2,31	312,20	38,18	252,27	4,54
Juin	23,87	38,35	31,18	2,29	345,36	34,09	270,55	4,02
Juillet	26,78	41,53	34,23	0,82	350,95	31,45	316,07	3,80
Août	26,74	41,04	33,80	3,94	330,84	34,91	278,19	3,41
Septembre	22,57	33,81	28,33	9,66	266,15	47,00	196,09	3,52
Octobre	17,56	29,99	23,27	10,41	256,49	52,73	154,66	2,27
Novembre	11,28	22,52	16,41	12,50	226,35	59,91	108,95	2,39
Décembre	6,52	17,22	11,77	8,63	214,44	66,91	96,59	2,65
Moyenne	16,07	28,87	22,29	80,79*	278,91	48,27	2199,06*	3,34

* Cumulé annuel

(O.N.M. El Oued Guemmar, 2006)

I.4.1.1- Températures:

La température moyenne annuelle est de 22,29 °C, avec un maximum en Juillet de 34,23 °C (maxima moyen 41,53 °C), et un minimum en janvier de 10,87 °C (minima moyen 5,33 °C) (Tableau 1).

Le Souf a des étés brûlants qui sont aussi durs que ceux qui s'observent dans le Sahara Central. En hiver par contre, les températures peuvent être très élevée, où le thermomètre indique jusqu'à 49 °C à l'ombre dans la journée pour n'enregistrer dans la nuit que 15 °C ou 16 °C. Cet écart ou amplitude est souvent aux environs de 30 °C ; situé dans les dernières dunes du grand Erg Oriental, (Voisin A.R, 1970; Najah A, 1970).

I.4.1.2- Précipitations:

Les précipitations sont très faibles et irrégulières, la moyenne annuelle de la région est de 80,79 mm/an (Tableau 1).

D'après Dubief (1963), les précipitations sahariennes ont une origine différente selon les saisons. Dans le Souf, la pluviométrie assez capricieuse, satisfaisante dans l'ensemble, se produisent généralement de novembre à février. Le plus souvent fines et modérées, elles deviennent parfois torrentielles (Najah A, 1970).

I.4.1.3- Vents:

Selon le Tableau 1, nous remarquons que les vents sont fréquents durant toute l'année. Les vitesses les plus élevées sont enregistrées durant la période allant de Mars jusqu'en Août, avec un maximum de $45,45 \text{ m.s}^{-1}$ durant le mois de Mai.

Les vents du secteur Est et Nord-Est prédominent, puis à un degré moindre ceux de direction Ouest et Sud-Ouest caractérisés par une température élevée dû au "Chihili" ou sirocco.

Généralement, au printemps que les vents sont les plus forts (période de pollinisation des palmiers), ils sont chargés de sables éoliens donnant au ciel une teinte jaune et peuvent durer jusqu'à trois jours consécutifs avec une vitesse allant de 150 à 180 Km / h.

I.4.1.4- Evaporation potentielle:

L'évaporation est importante, atteint dans le Souf une ampleur considérable car ce phénomène physique rencontre ici les conditions nécessaires optimales : la moyenne annuelle est de 2199,06 mm. Le maximum est atteint en période de moins de juillet avec une moyenne de 316,07 mm. Les minima sont enregistrés durant le mois de janvier (75,04 mm) (Tableau 1).

I.4.1.5- Humidité de l'air:

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

L'humidité de l'air est faible. La moyenne annuelle est de 48.27 % (Tableau 1). Elle varie sensiblement en fonction des saisons de l'année.

En effet, pendant l'été, elle chute jusqu'à 31,45% au mois de Juillet, sous l'action d'une forte évaporation et des vents chauds; alors qu'en hiver elle s'élève et atteint une moyenne maximale de 66,91% au mois de Décembre (Tableau 1).

I.4.1.6- Insolation:

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

Les durées d'insolation sont évidemment très importantes au Sahara et varient assez notablement d'une année à l'autre et même suivant les périodes de l'année envisagées (Dubief, 1963). Et d'après le tableau (I) la durée moyenne d'insolation est

d'environ 278,91 heures, avec un maximum de 350,95 heures en Août et un minimum de 214,44 heures en Décembre.

I.4.2- Synthèse climatique:

Une caractérisation globale du climat peut être réalisée par l'emploi d'indices ou des diagrammes climatiques. Pour caractériser le climat du Souf, nous utiliserons les indices de Demartonne et d'Emberger, ainsi que le diagramme Ombrothermique de Gaussen.

Le diagramme Ombrothermique de Gaussen (figure 5) montre que la durée de la saison sèche est de 12 mois (sécheresse permanente).

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

$$Q_2 = 2000 P / M^2 - m^2$$

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

$$Q_3 = 3,43P / M - m$$

P : Pluviosité moyenne annuelle en mm.

M : Moyenne des températures maximales quotidiennes du mois le plus chaud en $^{\circ}C$.

m : Moyenne des températures minimales quotidiennes du mois le plus froid en $^{\circ}C$.

Pour la station de El Oued (Guemmar) et pour la période 1996- 2006, $Q_3 = 7,65$. Donc le bioclimat est type hyper aride (saharien) à hiver doux (figure 6).

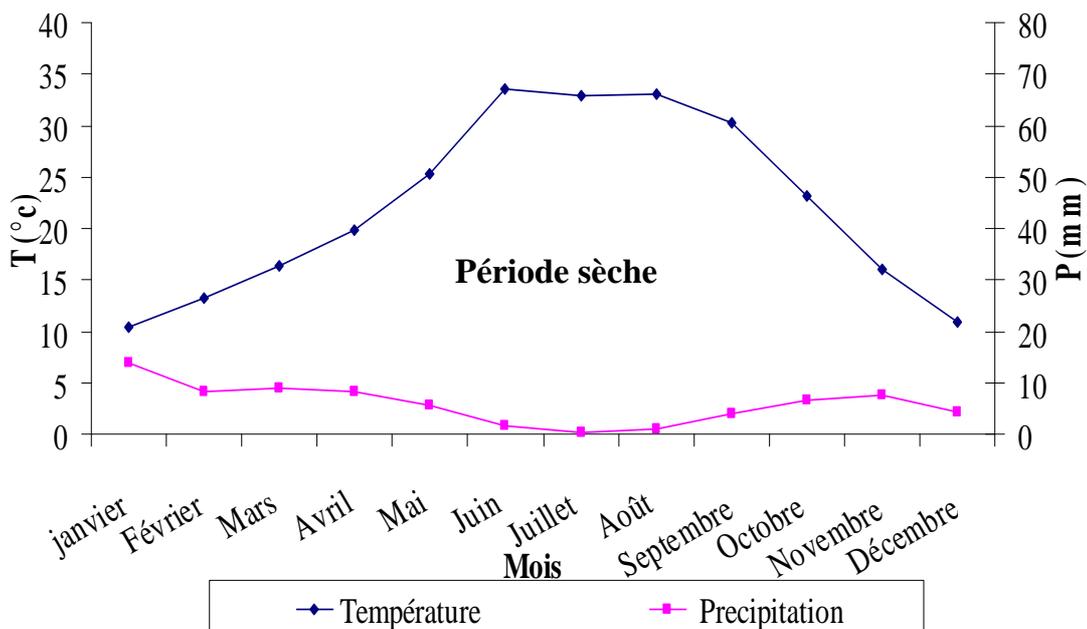


Figure 5. Diagramme Ombrothermique de la région d'Oued Souf (1996-2006).

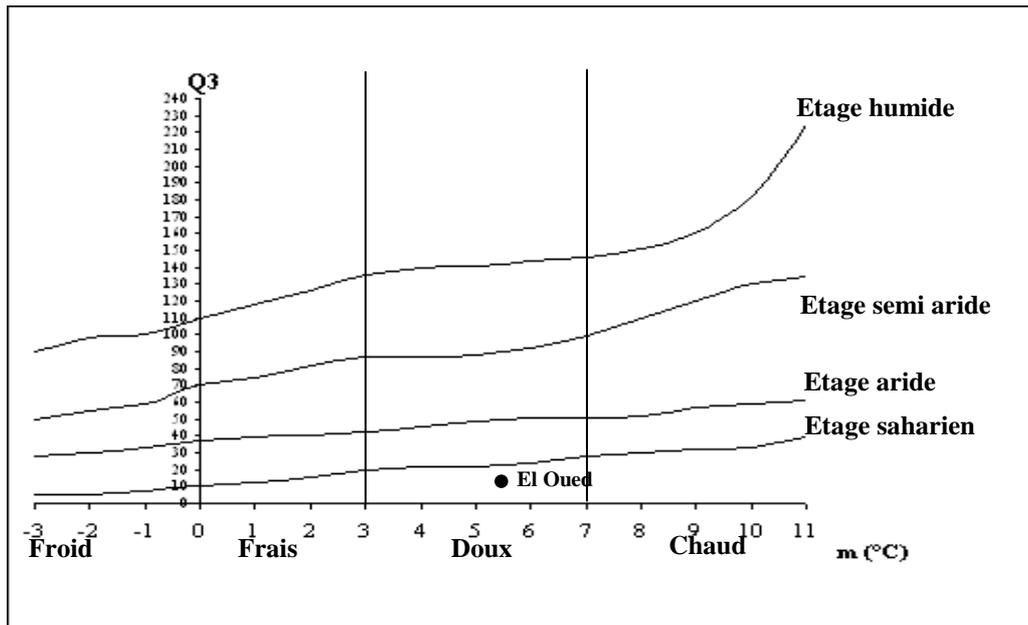


Figure 6. Climagramme d'Emberger pour la région du Souf.

I.5- Hydrogéologie du Souf:

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

I.5.1- Nappe du Continental Intercalaire:

La nappe du Continental Intercalaire directement surmontée par les argiles et carbonates du Cénomaniens, s'étend sur tout le bassin sédimentaire du Sahara septentrional, sur plus de 600 000 km² (figure 7). Cet aquifère est contenu dans les formations continentales des horizons sablo-gréseuses et argilo-sableuses du crétacé inférieur (Barrémien et Albien). Les formations du Continental Intercalaire (CI) s'étendent jusqu'en bordure de la plate-forme, en une auréole continue d'El Goléa (Algérie) jusqu'à la limite sud de la Hamada El Hamra (Libye). Au Nord-Ouest du bassin, le CI affleure tout au long de l'Atlas saharien et au Nord-Est au pied de la falaise du Dahar et du Jebel Nefusa. Plus au Sud, le CI repose directement sur les formations marines du Paléozoïque, lequel forme en affleurement une ceinture continue allant de la frontière marocaine, à la limite N-W du bassin, jusqu'à la ville de Hun (sud-est de Libye).

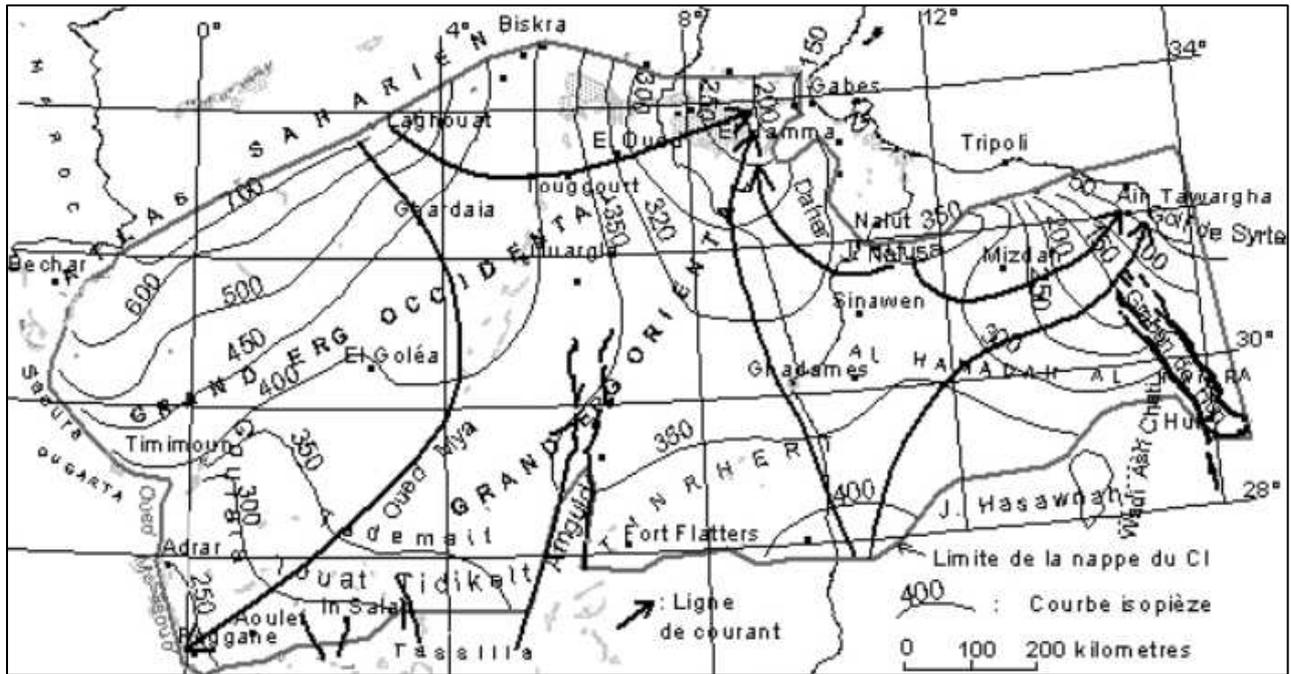


Figure 7. Limite de l'aquifère du Continental Intercalaire avec les niveaux piézométrique et le sens d'écoulement (Baba SY et al., 2006).

Les premiers jaillissements de l'eau obtenus en genèse de l'Albien, car de ça référence à son étage supérieur.

Baba SY et al., (2006) met en évidence les zones d'alimentation qui sont: a) piémont sud atlasique au Nord-Ouest, b) Tinrhert au Sud, c) Dahar à l'Est, d) Jebel Nafusa au Nord-est, e) Jebel Hassawna au Sud, où la nappe du Cambro-Ordovicien est drainée vers le Nord par la nappe du Continental Intercalaire (figure 7).

L'exutoire naturel principal de l'aquifère est situé en Tunisie. Il consiste en des remontées verticales par failles dans la zone du Chott Fedjaj et à un écoulement vers la nappe de la Geffara tunisienne par l'intermédiaire des failles d'El Hamma et de Medenine. Et les bordures occidentales et méridionales du Tademaït constituent aussi une zone d'exutoire naturelle importante, probablement jalonnée anciennement par des sources, dont les foggaras ont pris la relève. L'eau non captée s'évapore dans un chapelet de sebkhas qui occupent le fond des dépressions du Gourara, du Touat et du Tidikelt. Par ailleurs, des transferts verticaux à partir du Continental Intercalaire vers le Complexe Terminal existent peut-être à la faveur des fractures qui jalonnent la dorsale d'Amguid-El Biod. Sur le reste du domaine, mis à part la zone de communication possible avec le Complexe Terminal sur le Grand Erg Occidental (Figure 8), le toit de la formation, constitué d'une épaisse couche d'argile et d'anhydrite, est parfaitement imperméable et isole complètement les deux réservoirs, L'exploitation du Continental Intercalaire s'est d'abord effectuée, depuis de longs siècles des exutoires artificiels, par le système traditionnel des foggaras, introduit sur la bordure du plateau du Tademaït dès le X^e siècle (Cornet et Gouscov, 1952 ; Guendouz A, et al. 1991 ; UNESCO, 1972a ; BRL-BNEDER, 1999).

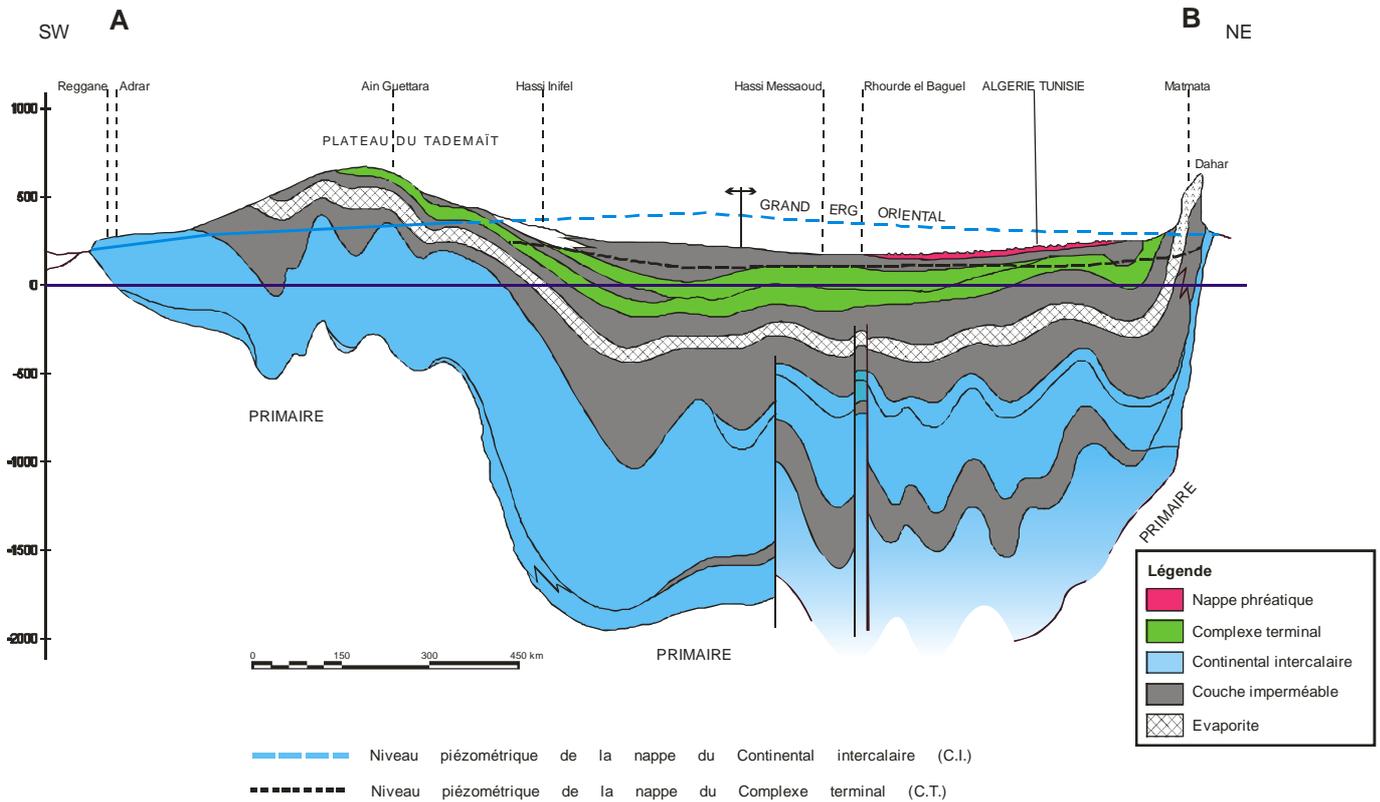


Figure 8. Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara Septentrionale (UNESCO, 1972a).

Le premier forage exécuté au niveau du Continental Intercalaire dans la région du Souf à BARREMIEN creusé en 1986 ; à CHOUHADA au Sud-est de la commune d'El Oued, à une profondeur de 1850 m. L'eau a une température avoisinant 70 °C, exploitée pour l'AEP par un débit de 160 l/s (Giersch P, 1989).

Aujourd'hui il existe, dans l'ensemble de la région du Souf, 3 forages du Continental Intercalaire en production (DHW, El Oued 2007). Ils sont totalement utilisés pour couvrir les besoins domestiques. La demande en eau industrielle est cependant faible, étant donné qu'il n'existe pas d'unités industrielles importantes demandant une grande consommation d'eau.

I.5.2- Complexe Terminal:

Selon la définition de Kilian C (1931), le terme « *Continental terminal* » désignait les formations continentales, sableuses et argileuses du Miopliocène. Mais d'après BEL et DEMARGNE (1966) : « *La nappe du Continental Terminal contenue dans les sables du Miopliocène est plus ou moins en relation avec les nappes de l'Eocène, du Sénonien et du Turonien, de sorte qu'à l'échelle de l'ensemble du Sahara, on peut considérer que ces différents niveaux forment une seule et même nappe, la nappe du Continental Terminal, par opposition au Continental Intercalaire* ».

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

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

D'après Baba SY et *al* (2006), les sables dunaires de L'Erg occidental, très perméables, offrent d'énormes potentialités d'infiltration des eaux de pluie. Ils s'étendent sur plus de 90 000 km², et l'absence de couverture imperméable entre les sables du Mio-plio-quatenaire et le Continental Intercalaire, fait que le Complexe Terminale se confond avec le Continentale Intercalaire sous le grand Erg occidental (figure 8), alors que dans le bassin oriental, il forme un aquifère nettement hétérogène.

Les terrains constitutifs du Complexe Terminal s'étendent sur une superficie d'environ 350 000 km² (figure 9) en Algérie et en Tunisie couvrent essentiellement la majeure partie du bassin oriental et l'ensemble du Sahara septentrional, depuis la Saoura à l'Ouest jusqu'au Graben de Hun (et même jusqu'au Golfe de Syrte) à l'Est, depuis l'accident Sud-Atlantique au Nord jusqu'au flanc Nord des plateaux de Tademaït et du Tinhert en Algérie, de Gargaf (Nord du Fezzan) en Libye. Son extension longitudinale est donc au moins égale à celle du Continental Intercalaire (1600 km), tandis que sa hauteur dans le sens Nord-Sud est plus réduite (600 km) (BRL-BNEDER, 1999).

Dans le bassin Occidental, l'écoulement se produit dans des zones d'affleurement du piedmont vers le Sud (limite Sud du Grand Erg et zone d'affleurement du Continental Intercalaire). A l'extrême Ouest, une partie de cet écoulement est interceptée vers le sillon de la Saoura. Et à partir de la dorsale du M'Zab, l'ensemble de l'écoulement converge vers la zone des Chotts (c'est-à-dire qu'il se renverse et s'effectue du Sud vers le Nord sous le Grand Erg Oriental) (figure 9).

Dans le Sud tunisien et en Libye cette direction d'écoulement vers le Nord-Ouest puis vers le Nord se poursuit, avec un fort gradient en Libye par suite de la réduction de transmissivité du réservoir (BRL-BNEDER, 1999).

D'après EDMUNDS et *al.*(1997), Baba SY (2005), les nappes du Complexe Terminal sont essentiellement alimentées sur les bordures relativement arrosées du bassin, par infiltration directe sur les affleurements calcaires (Sénonien, Eocène inférieur, Turonien), ou au travers des nappes d'inféro-flux des oueds : bordure Sud-Atlasique, M'Zab, Jebel Tebaga, Dahar, Jebel Nefousa. Dans les deux grands ergs (Occidental et Oriental), par infiltration de pluies exceptionnelles au travers des formations dunaires perméables (BRL, 1998). Et à l'Est du Djérid, la partie nord de la "chaîne" des Chotts est considérée comme source de recharge potentielle

Les zones d'exutoire sont principalement centrées sur les Chotts Algéro-Tunisiens et sur le Golfe de Syrte (figure 9), où les nappes sont artésiennes sous couverture semi-perméable peu épaisse (figure 8). Les sources constituent également un autre exutoire. La plupart d'entre elles ont aujourd'hui disparu à cause de la baisse du niveau des nappes, et les seules qui subsistent, se localisent dans les chotts.

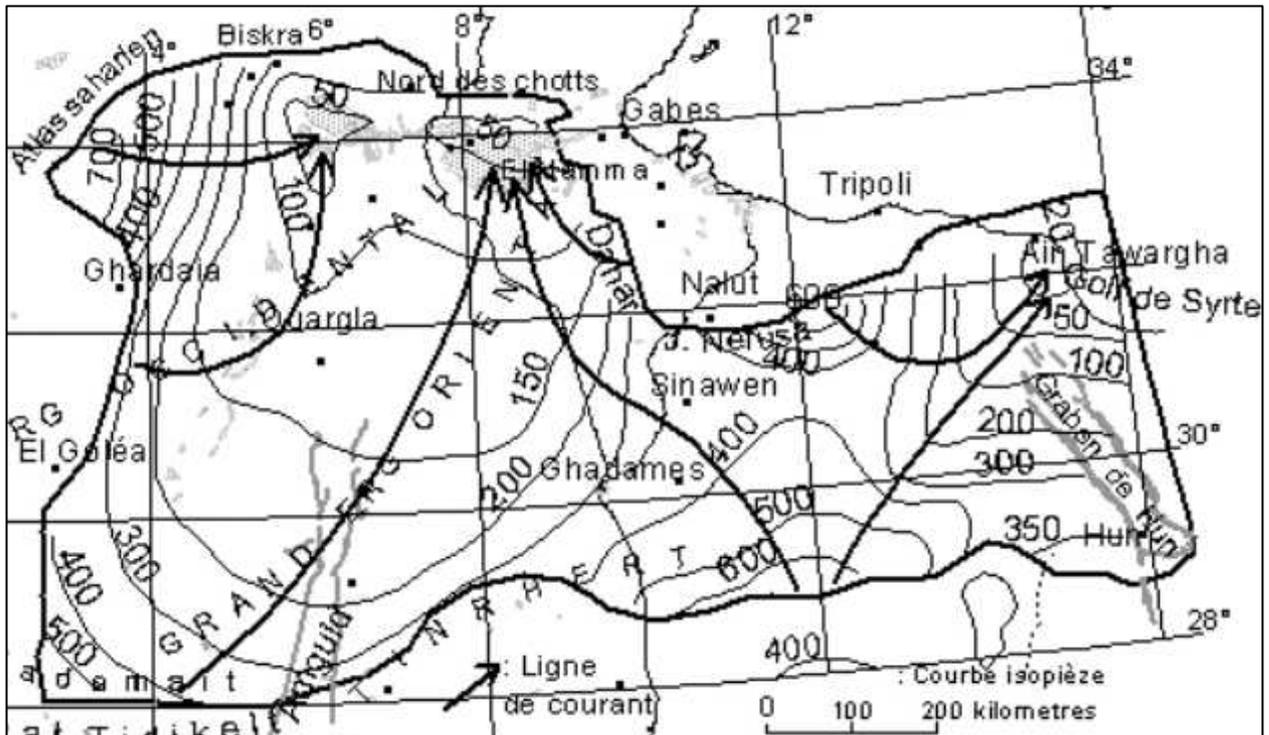


Figure 9. Limites de l'aquifère du Complexe terminale avec les niveaux piézométrique et le sens d'écoulement (Baba SY et al., 2006).

D'après Voisin A.R (2004) la baisse générale du plan de l'eau jusqu'en 1950, a été à l'origine de la reprise des prospections et des premiers forages artésiens profonds destinés à sauver les Oasis du Souf.

Le premier forage profond artésien de prospection fut exécuté en 1953 à Sif El Menadi (90 Km N.O d'El Oued). Foré à 435 m de profondeur, il a débité quelques 4 m³ par minute et permit la première plantation de palmiers irrigués (Najah A, 1970).

Dans la région du Souf, l'eau jaillit depuis le printemps 1956 d'un forage exécuté à El-Oued, à près de 300 m de profondeur ; le débit est assez faible (3,3 litres/seconde) et la pression au sol assez réduite (+2,4 mètres) (Voisin A.R, 1970).

Actuellement, il existe dans la Région du Souf 102 forages du Complexe Terminal sur un ensemble de 546 forages pour l'ensemble de la wilaya d'El Oued (DHW El Oued). Comme pour la nappe du Continental Intercalaire, ces forages sont essentiellement utilisés pour couvrir les besoins domestiques et agricoles.

Le débit exploité dans la wilaya d'El Oued à partir des deux aquifères du Complexe Terminal atteindre 17,16 m³.s⁻¹ (DHW El Oued, 2007). Mais pour les communes de notre région d'étude le débit exploité ne dépasse pas 3 m³.s⁻¹.

I.5.3- La Nappe traditionnelle (nappe phréatique):

PLINE dans son histoire naturelle ancienne (1855), la signalait déjà : " A 12 journées de marche de la grande syrte vers l'occident, se trouvent des puits qui appartiennent aux

Ammanientes, peuple qui trouvent sans peine des sources à une profondeur de 2 coudées".

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

D'après Dubief (1947), l'alimentation de cette nappe, assurée uniquement par l'infiltration des eaux (figure 10), est à écarter car la pluviométrie, typiquement saharienne, même si elle se montrait parfois généreuse, ne suffirait jamais à expliquer à elle seule l'existence d'une pareille accumulation d'eau dans le sous-sol.

L'épaisseur de la nappe phréatique contenue dans les sables dunaires quaternaires, est de l'ordre de quelques mètres (25 m à El Oued)

Les études de Lelièvre (1969), de Nesson (1978) et de Guendouz et *al.* (1992) montrent d'une manière générale, comme d'ailleurs dans tout le Bas-Sahara que le sens de l'écoulement des eaux de la nappe phréatique suit celui de la nappe du Complexe Terminal, c'est-à-dire du Sud vers le Nord (figure 10).

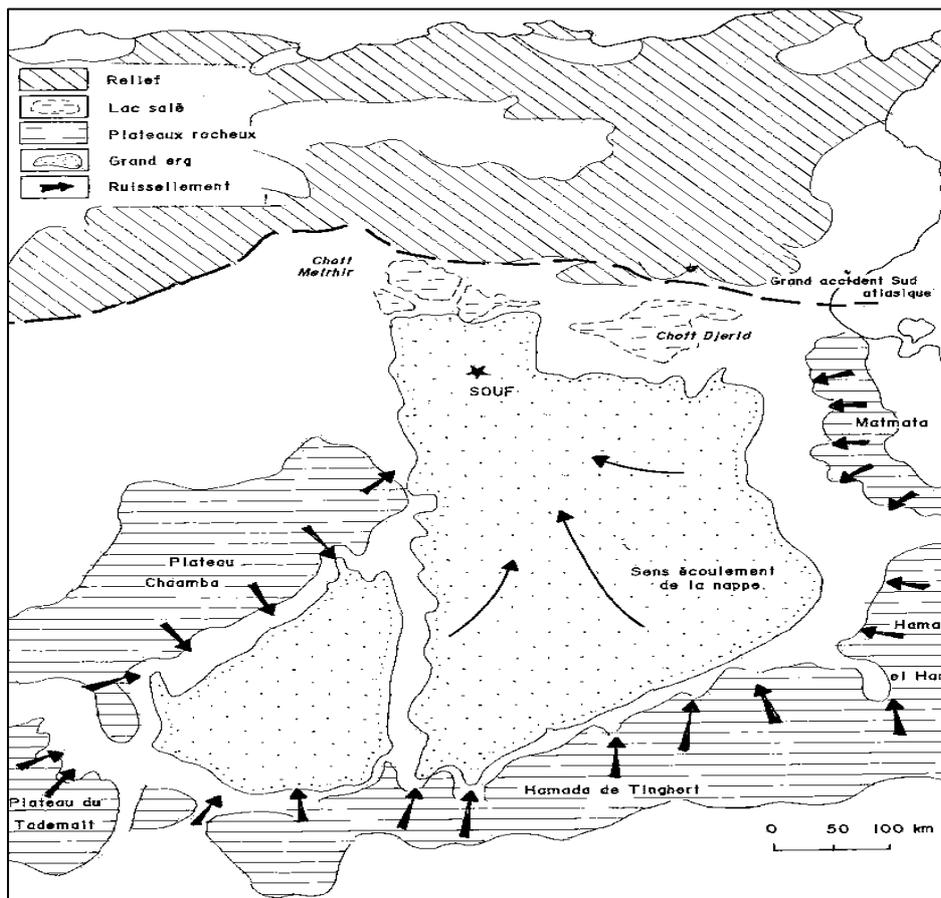


Figure 10. Zone d'alimentation de la nappe phréatique et le sens d'écoulement de la nappe (Cote Marc, 2006).

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 lorsque on parle sur l'eau de la nappe phréatique, donc ils faut expliquer le système où les Soufi exploite de l'eau dans l'Oasis ou par un autre mot le " Ghout ".

II.1- L'agro-système soufi et ses implications:

Creuser de 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 ceignent ce fond (figure 11), sont étroitement complémentaires. C'est cela que l'on appelle un "Ghout". C'est l'unité de base de l'aménagement dans le Souf.

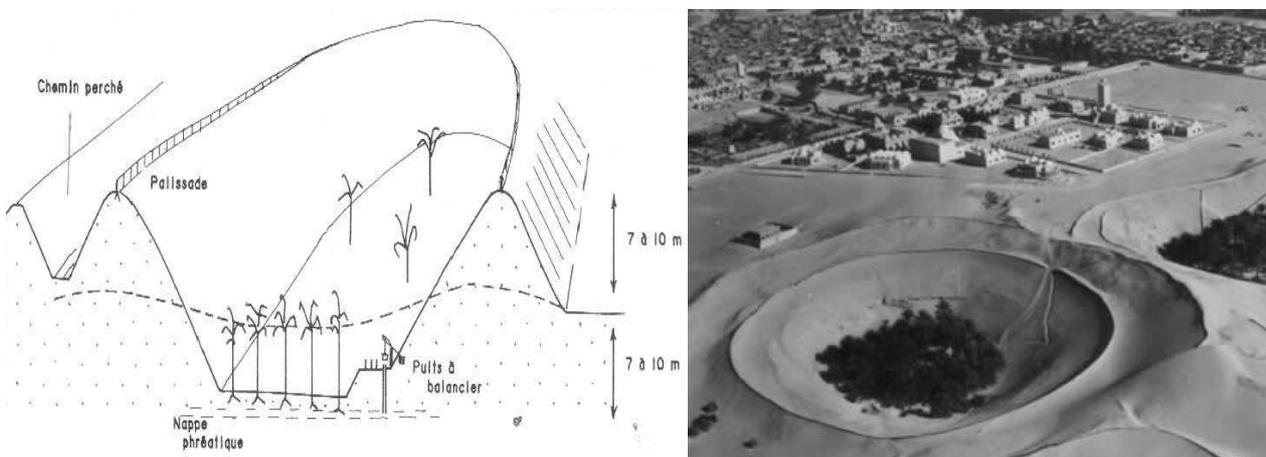


Figure 11. Système du ghout dans la région du Souf.

Et pour 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 aujourd'hui. 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 obligé à creuser des sortes de vasques, afin de suivre l'eau 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).

La Recensement du 13/05/1998 de la Direction des Services Agricoles de la Wilaya d'El Oued, a évalué le nombre total de ghouts et Houuds à 9565 dans la région du Souf.

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).

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 irrigués par irrigation de surface. Cette création finissant en 1959, avait pour objectif de donner des exploitations à des paysans sans terre (figure 12).

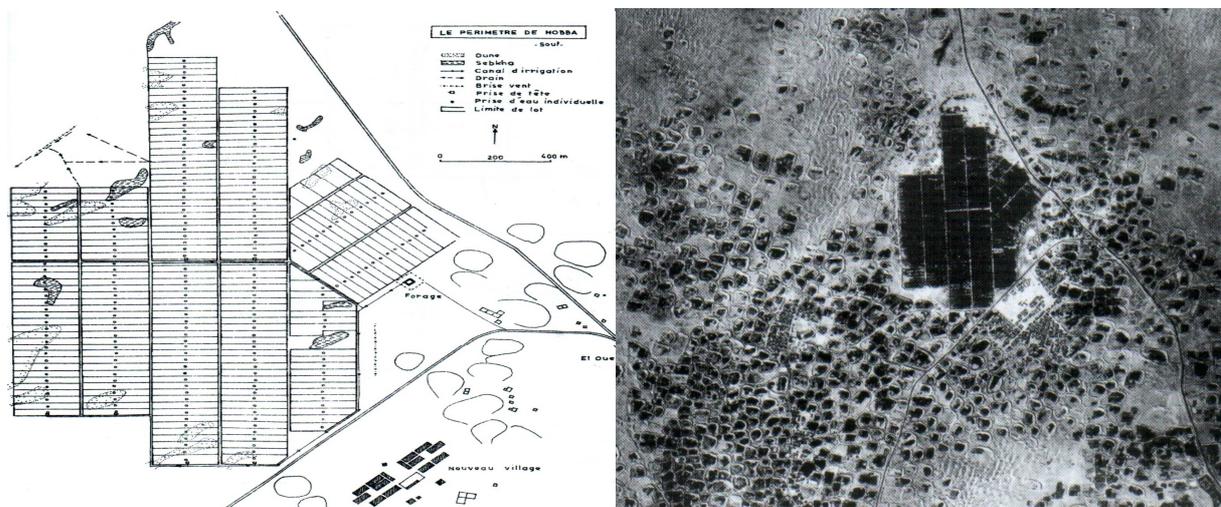


Figure 12. Le périmètre de Hobba vue d'avion avec le plan au sol, créée en 1958 (DSA d'El Oued, 2006).

Dans toute l'Algérie, comme dans tout le Sahara, le XX^e siècle a apporté changement ou bouleversement. Pour la région du Souf, ce changement a été d'autre plus brutal qu'il a été tardif, et que la région est restée longtemps à l'écart. Tellement cette technique était nouvelle pour les Soufis de l'époque que l'Administration dut avoir recours à des travailleurs achachnas de l'Oued Righ, familiers de ces techniques, pour créer le périmètre, les lots étant ensuite attribués à des Soufis.

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

Comment ce paysage s'est défait en quelques décennies? Pour donné ou plutôt trouver la réponse de cette question, on retourne avant 1955.

Lorsqu'en 1953 fut réalisé avec succès un forage profond à Sif Menadi (90 Km au nord D'El Oued) (figure 16), les techniciens, fiers de leur exploit, ne se doutaient pas que celui-ci allait constituer un coup de tonnerre dans le ciel serein du Souf.

Le cause principale de réalise les forages profonds artésiennes dans la région du Souf, c'est le manque de l'eau et par un autre mot la baisse de la nappe phréatique a cause de développement de débit extrait d'après l'agriculteur pour l'irrigation de sont palmiers.

II.2.1- Prévision sur la variation piézométriques de la nappe phréatique et sont impact sur la vie de Soufis:

II.2.1.1- Période de rabattement de la nappe traditionnel du Souf:

Duveyrier H. (1864), dans sont livre parle sur la voyage qu'il fait dans l'Erg ; « *Entre El-Oued et Ghadamès, j'ai mesuré la profondeur des puits des stations de ma route : elle s'élève successivement de 8 m 55 à 22 m 30. Tous les puits de cette partie de l'Erg ont été creusés et sont entretenus par les Souafa, les Rouagha et les châamba.* » (Figure 13).

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

En 1953, un rapport du laboratoire des BTP notait qu'une basse avait dû intervenir dès 1890, qu'elle s'était accélérée dans les années 1930-1940, et inquiétait les agriculteurs. Elle était inégale, de l'ordre de 1 m dans la partie Sud, 1,50 m entre El Oued et Guemmar, et atteignait 2,30 m au droit de Reguiba. Dans les secteurs de Ghamra Ouest ou Djedeïda, on voit, dressés encore aujourd'hui, les troncs insolites des palmiers morts de cette époque. Et un rapport sur la situation d'El Oued en 1948 note que « *On ne peut songer à multiplier ces plantations car on constate que le niveau de la nappe aquifère baisse par suite, semble-t-il, de l'accroissement du nombre des palmeraies* » (Série Politique et économique N° 21, 20 et 14).

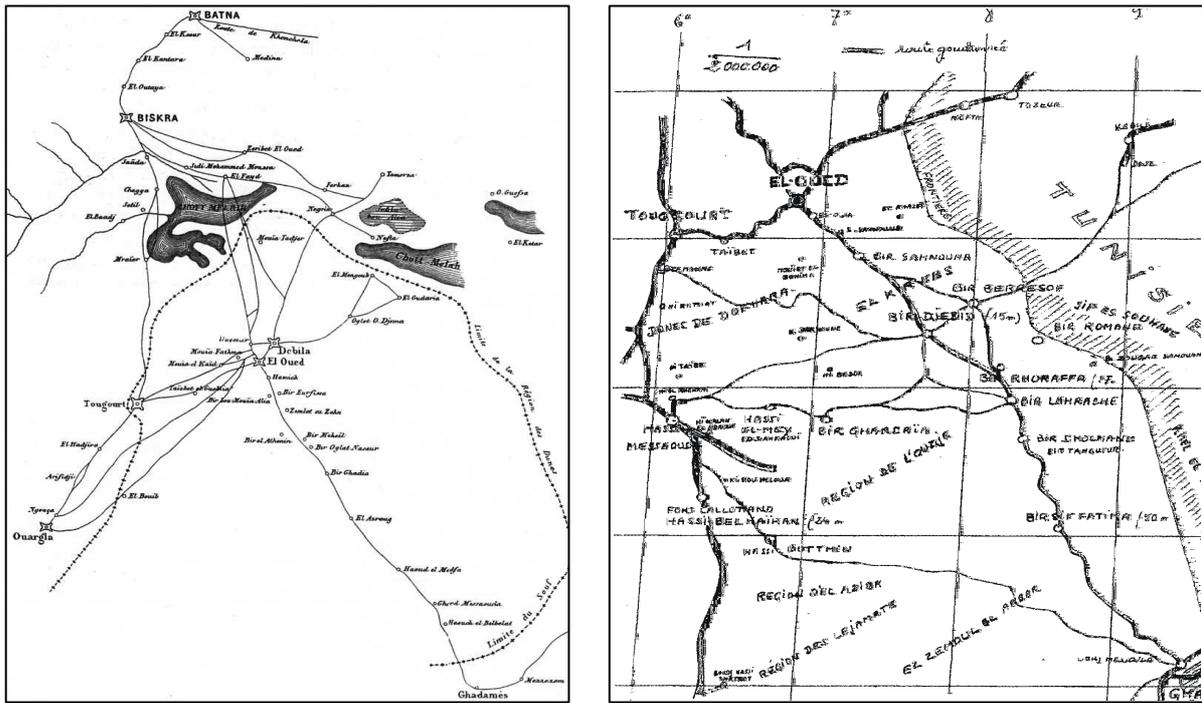


Figure 13. Les puits entre El-Oued et Ghadamès en 1883 (carte de Jus. H, 1886, in Cote Marc, 2006).

La société Soufie le sait bien, qui au cours des derniers siècles a eu à faire face à un lent rabattement de cette nappe, et a dû mettre au point les techniques d'approfondissement des ghouts et de "descente" du palmier (réaliser en creusant sous le palmier, et en descendant progressivement celui-ci avec des cordes, jusqu'à ce que ses racines atteignent à nouveau la nappe). Et à cause de cette technique, le Soufi a réussi à augmenter le nombre de palmiers (figure 14), mais toujours il y a en une réaction de la nature par le rabattement de la nappe phréatique a cause du débit extrait.

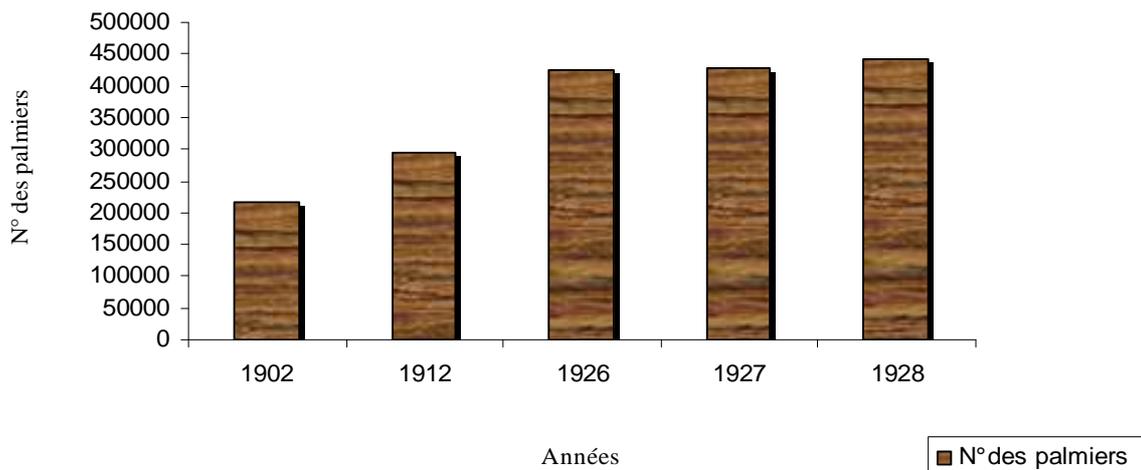


Figure 14. Les nombres des palmiers du Souf au début de XX^e siècle (Najah A., 1970).

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

vieillessement du sol et à l'augmentation de pompage par les racines (augmentation des nombres des palmeraies) (figure 14), 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 15). Elle devient de plus en plus catastrophique dans certaine rues de palmeraies, sur la nappe varie 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, il constaté la présence soit de forte formation de Lous, comme à Hassi Khalifa-Ghamra- Djedaida- soit l'apparition d'épaisse couches de Tafza jusque-là insoupçonnées (Najah A, 1970).

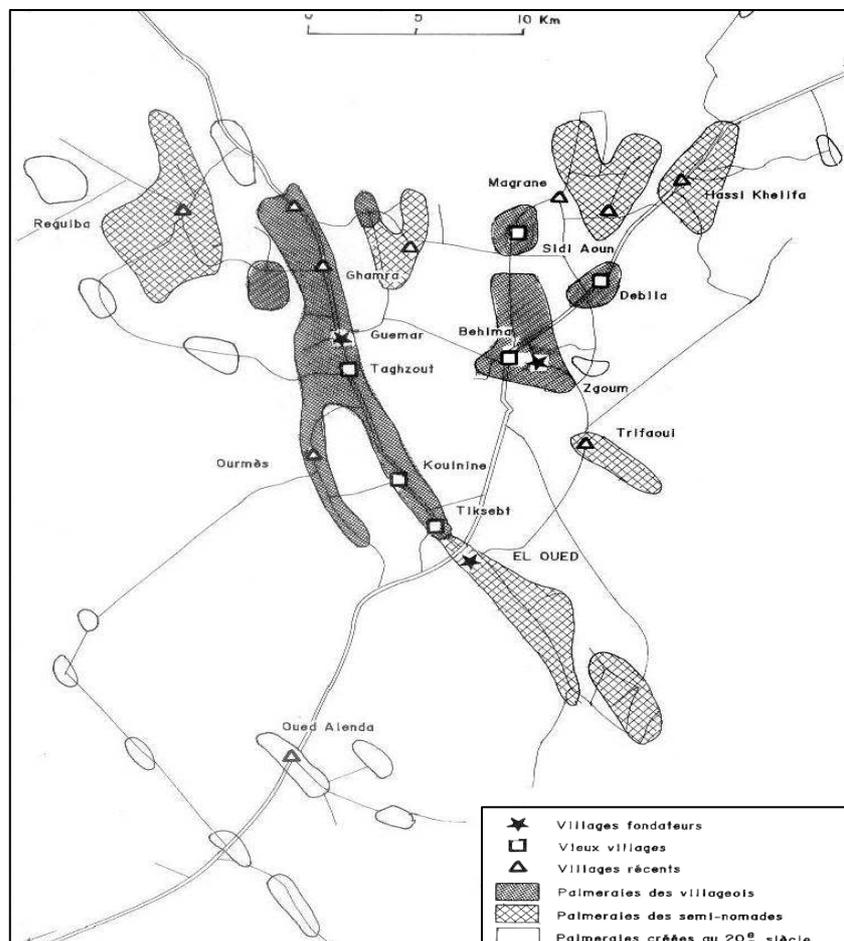


Figure 15. Les Oasis du Souf aux XIX^e et XX^e siècles (Bataillon Cl, 1955)

Le Souf est avant tout un ensemble de palmeraies poussant dans de profonds cratères de sable. Les palmeraies suivent le trajet de l'Oued souterrain dont la forme affecte grossièrement la forme 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 Ghadamès, et celle du Sud-ouest à la route de Touggourt. El Oued se trouve à la bifurcation de ces quatre routes (Voisin A.R, 1970).

II.2.1.2- Période de l'équilibre critique de la région:

A partir de la fin du XIX^e 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, le croisement démographique. Le Souf comptait 21 000 habitants en 1881 (Escart, 1891). En 1900, il y avait 32 700 habitants (Voisin A.R, 1970), et 92 000 en 1948 (Cote Marc, 2006).

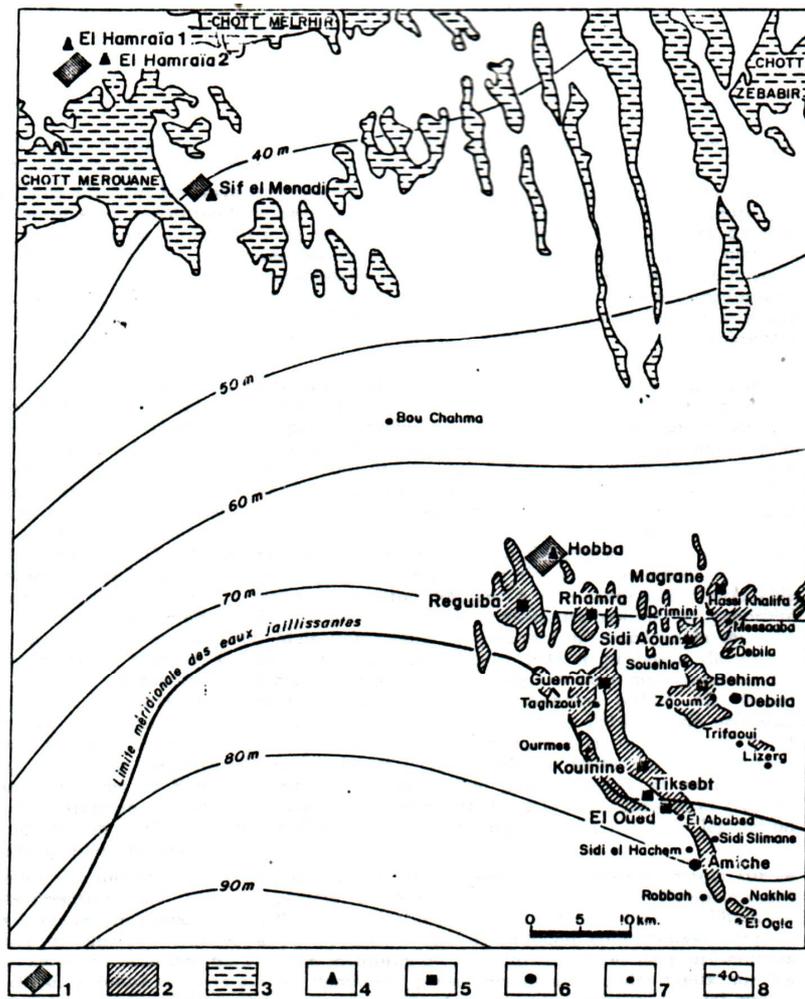
Et devant cette situation de croisement démographique de cette époque, et les besoins en eau de l'agriculture, on observé une baisse générale de la nappe phréatique. Fait raisonner que la réalisation des nouveaux forages était la solution, où en 1957 adressant à la même nappe de première forage, un autre forage exécuté a 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 m 50 ; la profondeur exploitée allant de 325 à 400 m. Un troisième forage, à Guemmar, donne 8,3 litres par seconde sous un 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 (Voisin A.R, 2004).Où le nombre de palmeraies atteindre de 443.800 palmiers en 1962 (DSA. d' El Oued, 2007).

Et une douzaine des forages ont été effectués en 1961 à 1969 : Hamraïa, El Oued, Guemmar, Amiche, Débila, Kouinine, Magrane et Béhima (Hassani Abdel Karim), de moyenne de forage par an (DHW. El Oued). Où 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 de niveau piézométrique sur tous les puits (forage), depuis l'année de leur réalisation. Ainsi une diminution de 17 mètres a été enregistrée à Sif Menadi, à l'aval de la surface isopièze, entre 1953 et 1967 (figure 16).

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



1. Palmeraie irriguée.- 2. Palmeraie « Bour ».- 3. Chott ; sebka.- 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 16. Les palmeraies 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 celle-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 noyées (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 DHW d'El Oued, on trouve que de 1956 (l'année du premier forage profond à atteindre le Complexe terminal) à 1970, un forage fut réalisé presque chaque année.

Après l'année 1970, le périmètre de Hobba (Reguiba) n'est pas unique dans la région, il existe également deux périmètres créés dans le cadre de révolution agraire : Akfadou (1976, 90 palmiers par attributaire) et Sahane Berry (commune de Hassi Khalifa) (1^{re} tranche 1982, lots livrés tout plantés, 2^e 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, 2007).

En 1973, le premier rapport de la direction de l'hydraulique de la Wilaya d'El Oued d'après M^{er} A-Majid EDHABE, notait que 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 17).



Figure 17. La ville d'El Oued, vue d'avion en 1980 (Cote Marc, 2006). Le cercle présent ghout El Sardouk.

Et 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 M^{er} Djilali Mahrie, et 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.

Où, de l'année 1970, le rythme de la réalisation des forages, s'est accéléré chaque année et a vu la réalisation de 2 ou 3 forages. Où a l'année 1977 seule, atteindre le nombre de forage à réaliser le douze (12) forages à l'échelle de la région du Souf, neuf (9) pour l'alimentation d'eau potable et trois (3) pour le besoin d'irrigation, de 30 litres par seconde en moyenne chacun (DHW. d'El Oued, 2007).

II.2.1.3- Période de 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 qu'ont cessé d'augmenter, notamment dans le domaine de la consommation en eau potable, on se conçoit plus la vie en ville sans l'adduction d'eau, et la distribution au robinet 24 heures sur 24. Et pour assurer ça 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 (Voisin A.R, 1970).

L'état récapitulatif des forages situés dans la région du Souf montre qu'entre 1956 et 1980, 38 forages ont été réalisés (DHW. 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 un 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 18), comme il n'y en a eu nulle part ailleurs au Sahara.

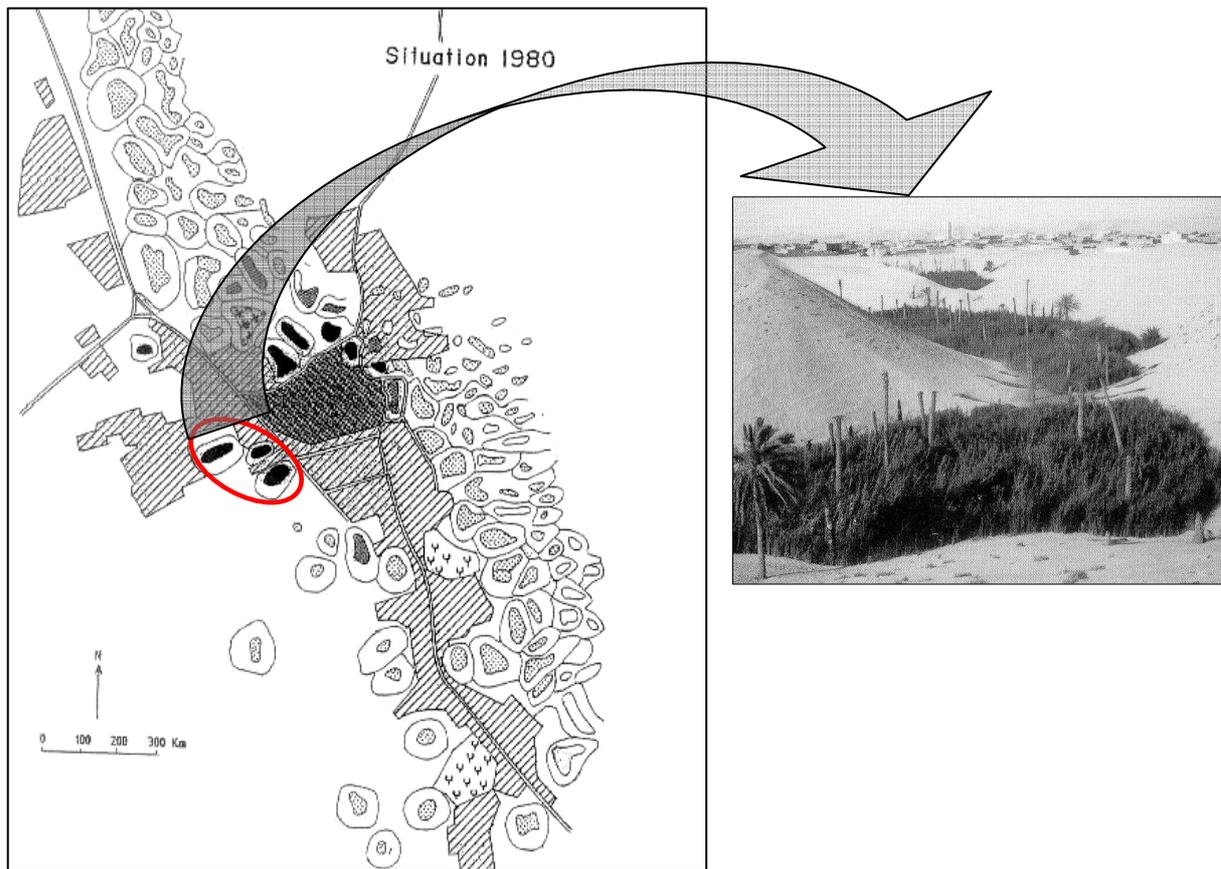


Figure 18. Evolution de la situation des ghouts autour d'El Oued en 1980 (Cote Marc, 1998).

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

La répercussion sur les palmiers sont claires et directes : envahissement par les joncs et roseaux, arrêt de fructification des palmiers, puis dépérissement des arbres, et enfin morts des palmiers et abandon du ghout (figure 18). Où on trouve 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 de la rendement productive, lors de la saison de 1981-1982, le rendement a atteint le 74 %, et la saison de 1982-1983 le rendement a diminué à 32 %, et on a perdu 94 523 palmiers de 1983 à 1984, et le rendement diminue jusqu'à le 28 % au ce saison (DSA. El Oued 1984) (figure 19).

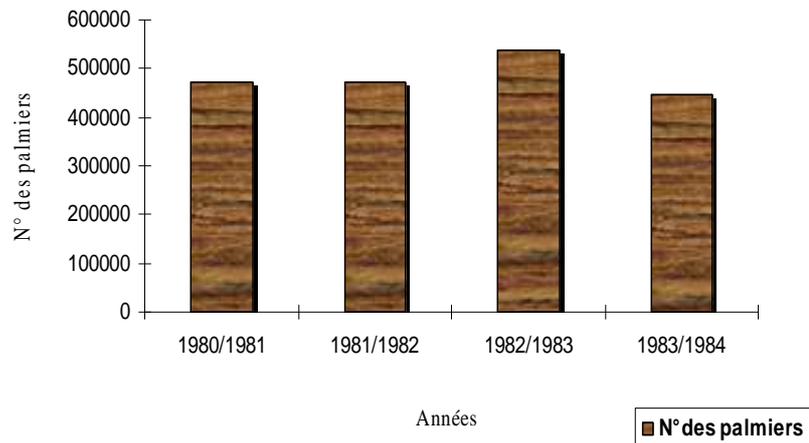


Figure 19. Evolution des nombres des palmiers au début des l'années 80 (DSA. d'El Oued, 1984)

Année après année, la nature du Souf souffrir par voix silencieux, et le charme de ce paysage disparaître sous la source de notre vie, la situation devient plus complexe et plus progrès d'environ la ville d'El Oued, le phénomène développée et touchée des autres cites (ghouts) comme présenté dans le figure 20.

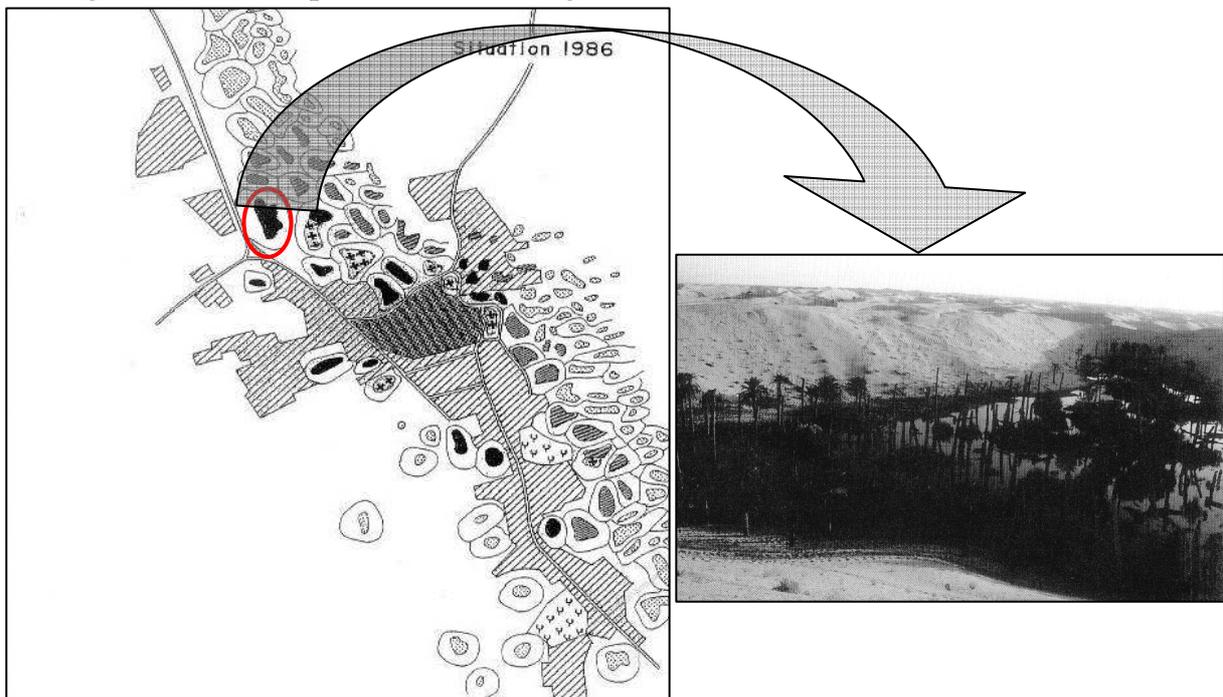


Figure 20. La catastrophe situation des ghouts d'El Oued en 1986 (Cote Marc, 1998).

Et avec la montée démographique dans la région du Souf, les besoins des habitats en eau augmenter, 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 atteindra 1850 m, et de pression de 22 bar qui débité 200 litres par seconde, et suivait 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 débit de 250 litres par seconde, et le dernière 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 débit de 230 litres par seconde (DHW. El Oued, 2007). Les deux forages de commune d'El Oued (DW 101, DW 102), ils sont en services de l'année de réalisations, et pour le forage de Sahane-Berry resté fermé d'environ dix (10) ans jusqu'à la fin de 2006, il est raccordé au le réseau de distribution des eaux potable (DHW El Oued, 2007).

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

Le système traditionnel d'alimentation en eaux pour les habitants et les l'agriculteur, fonctionnait en boucle fermé, avec des débits limités. Les forages profonds ont crée 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 alimenter 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 ; ces 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 GIERSCH .P, 1989 dit et éclairer 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 d'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 réglait 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 d'environ 400 litre par jour par habitant.

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

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

II.2.1.4- Période de 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 terminale et le continental intercalaire atteindre le 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 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 de 130 000 habitants, où le nombre des fosses perdus dans la région atteindre les 36 265 fosses (ONA. d'El Oued, 2007). 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 il existe un réseau d'assainissement des eaux usées sont Guemmar et El Oued.

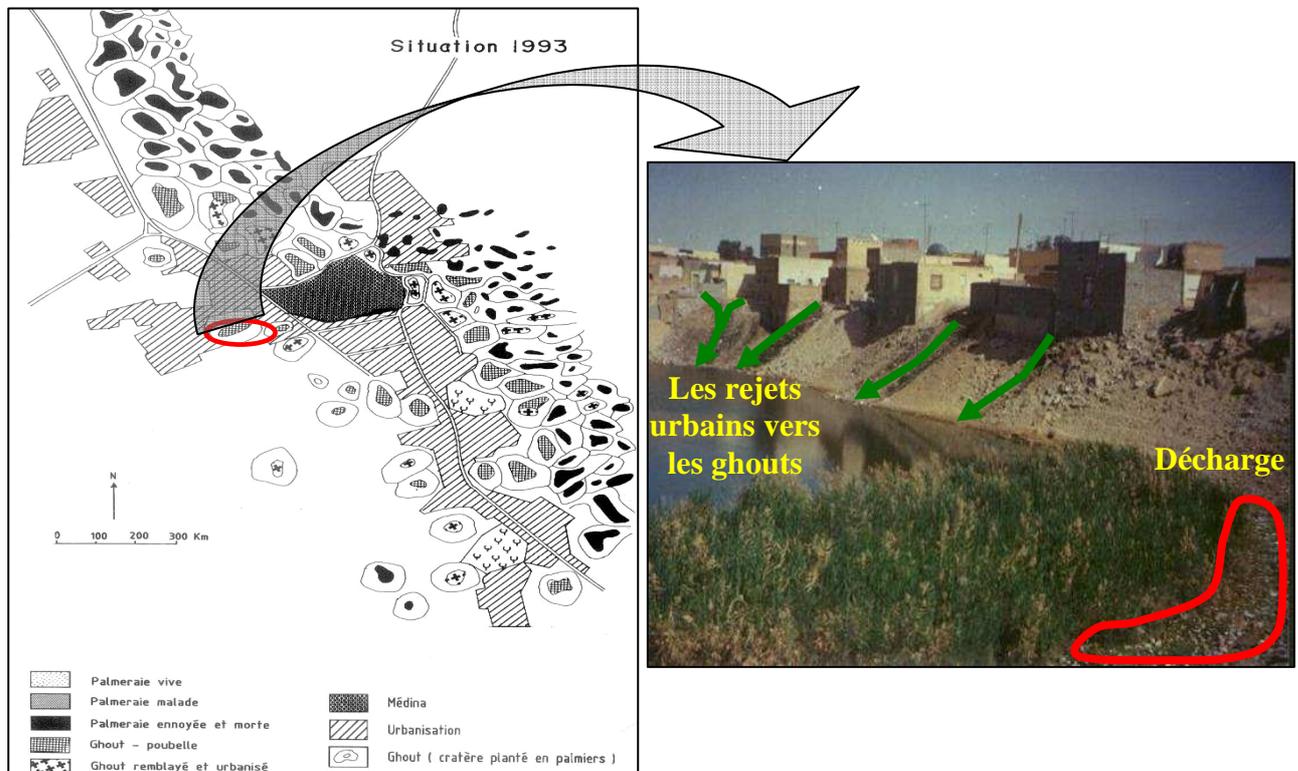


Figure 21. Situation d'un ghout ennoyé complètement par les eaux polluées de l'année 90 (Cote Marc, 2006).

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, Rhobah, Oglâ...). Les ghouts ennoyés qui cernant la ville présentant une eau noirâtre et nauséabonde (figure 21), 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 de réseau mis en place en 1993, 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 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 des mesures piézométriques ont été menées.

Et 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 de niveau piézométrique en 1993 (figure 22).

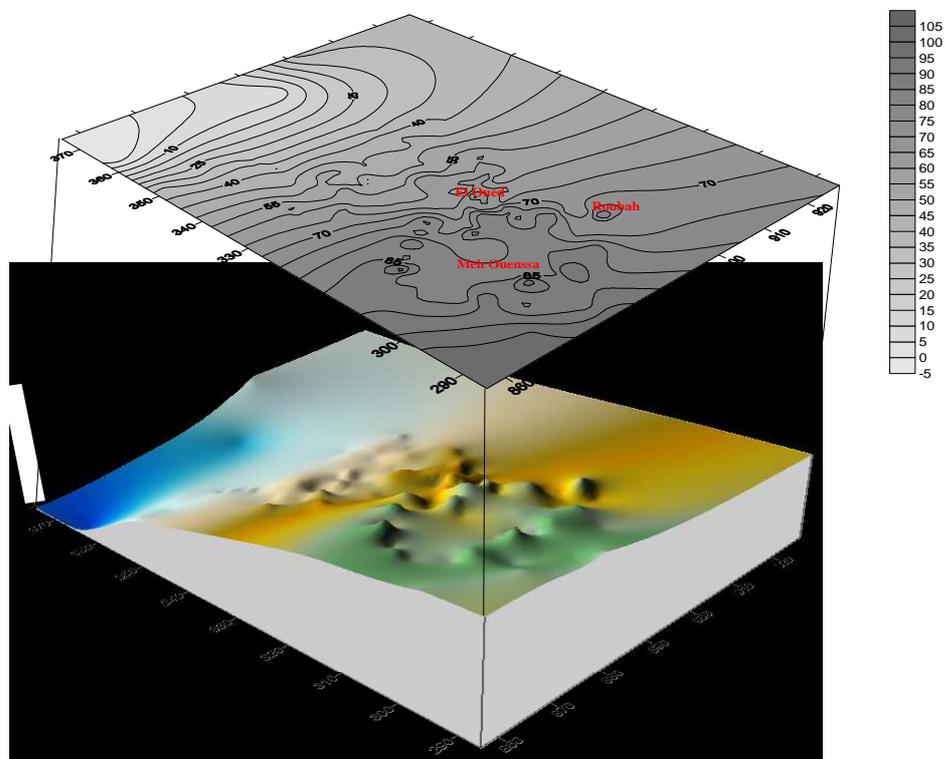


Figure 22. Carte piézométrique de la nappe phréatique du Souf en mars 1993.

L'objectif principal de l'analyse de l'évolution de la piézométrie dans le temps et l'espace sont de visualiser la direction de l'écoulement horizontale et vertical (drainance), 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 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 Sud vers le Nord-Ouest; Reguiba-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.

Dans la zone de Mouiha Ouensa et Oued EL Alenda les courbes isopièzes sont bien espacées, elles se rapprochent au fur et à mesure qu'on s'approche de Guemmar puis ont tendance à se confondre entre Reguiba et Houba.

- Au Sud-Ouest le module d'espacement croît (élargissement), le gradient hydraulique décroît et la transmissivité croît.

- Au Nord-Ouest le module d'espacement décroît (resserrement) accompagnant une augmentation du gradient hydraulique.

Le gradient hydraulique est calculé par la formule suivante :

$$I = \frac{H_2 - H_1}{L}$$

Où:

H_1, H_2 : Niveau piézométrique déterminé par les courbes isopièzes.

L : distance entre les deux points de niveau piézométrique H_1, H_2 déterminés par l'échelle de la carte.

L'analyse de la surface piézométrique permet de distinguer en fonction du gradient hydraulique et du sens d'écoulement les zones suivantes : Sud de la ville d'El Oued (Mih Ouensa), et Nord-Ouest (Foulia).

Zones	H_2 (m)	H_1 (m)	L (m)	Gradient hydraulique
Sud-Ouest de la ville d'El Oued (Mih Ouensa)	90	65	10 000	0,0025
Nord-Ouest (Foulia)	65	- 05	50000	0,0014

Ceci explique par la morphologie du substratum imperméable, dont les irrégularités planimétriques (sillons, crêtes) sont mises en évidence par l'étude géophysique réalisée d'après L'entreprise nationale de géophysique E.N.A.G.E.O (1993).

Au vu de la carte du toit du substratum argileux de la nappe phréatique (ENAGEO, 1993) nous remarquons que les plus grandes profondeurs sont rencontrées dans la partie centrale de zone d'étude, c'est-à-dire dans la région délimitée par El Oued au Sud, Hamadine Au Nord et Hassi Houba Au Nord-Est. Dans cette région, la profondeur du substratum dépassé parfois une centaine de mètres.

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 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 zone d'étude, où le substratum argileux est profond, le reste de la région étudiée est caractérisée 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 ghouts n'est souvent plus sauvé.

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 XIX^e siècle (Escad 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 bactériologique 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.

Certaines maladies se multiplient dans la région du Oued Souf: maladies épidermique (cutanée), leishmanioses où enregistrée d'après la direction de la santé de wilaya d'El Oued en 2006 de 1247 cas déclarés, on a dit déclaré à cause de plusieurs cas non déclarés (parce qu'il est traiter par les herbes médicales) et des autres maladies mortelle comme la typhoïde où on a enregistré en 2007 d'après la direction de la santé de la wilaya d'El Oued et l'Algérienne Des Eaux (ADE. El Oued) plus de 141 cas jusqu'à le 31/12/2007, mai d'après l'enquête qu'on à fait, on à trouvée plus de 160 cas de typhoïde, surtout dans la commune de Reguiba, Hassi Khalifa, Magrene, avec un seul cas mortel à Guemmar pour l'année de 2007. Donc on peut imaginée pendant les années 90 l'état de la santé de la région du Souf surtout les zones Nord-Ouest et Nord-est (Guemmar, Reguiba, Hassi Khalifa, Magrene....) parce qu'ils sont des zones agricoles.

Ces plans d'eau, inattendus dans le Souf et non contrôlés, tentent les enfants comme endroit de jeu, mais sont garants de la mort par noyade d'une cinquantaine des personne au cours des derniers 15 années, les 80 % sont des enfants d'après la direction de protection civil d'El Oued, puisque il y à de nombre important de ghout, dont la profondeur de l'eau atteint 5 m (figure 23).

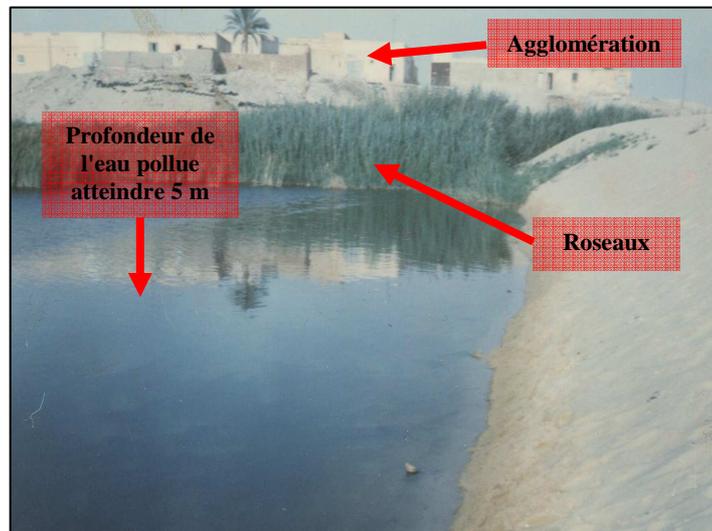


Figure 23. Situation d'un ghout dans la commune d'El Oued remplis d'eau et de roseaux à la place des palmiers (Photo, Remini B., 1996)

Un nouveau biotique, inattendu, est apparu, avec roseaux, moustique, aigrettes, poules d'eau, sangliers. Mais les habitants le paient 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 Sid Mastour situé à la périphérie Nord de la ville. Plusieurs familles ont du être transférés vers d'autres lieux par peur d'effondrement de leurs maisons (Remini B, 2005).

Et d'après la courbe ci-dessous qui présente la développement des surfaces des palmiers dans la région du Souf de l'années 1995 à 2000, on remarque que le trois premier saisons ils y a décroissement dans la surface, où de 9622 ha démunie jusqu'à 8074 ha (figure 24), et s'explique cette déperdition est de démarrage des travaux de remblaiement du fond du ghouts menacées de phénomène de remonté par une couche de sable neuf sur 1 où 2 m d'épaisseur.

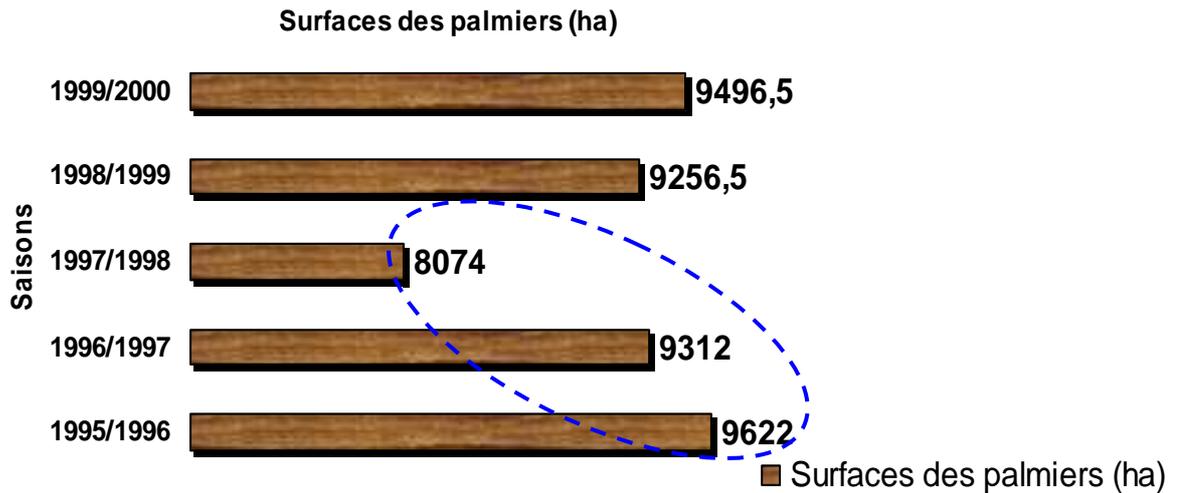


Figure 24. Développement les surfaces des palmiers de l'année 1995 à 2000 du Souf (DSA. El Oued, 2007).

Et d'après le recensement de la direction d'agronomie d'El Oued, on peut estimer la déperdition par la perte de 36 617 palmiers en trois années de 1995 à 1997 seulement, des causes situées avant. Et la figure 25 donne une idée générale sur le développement des nombres de palmiers de la région pour la période de 1995 à 2000.

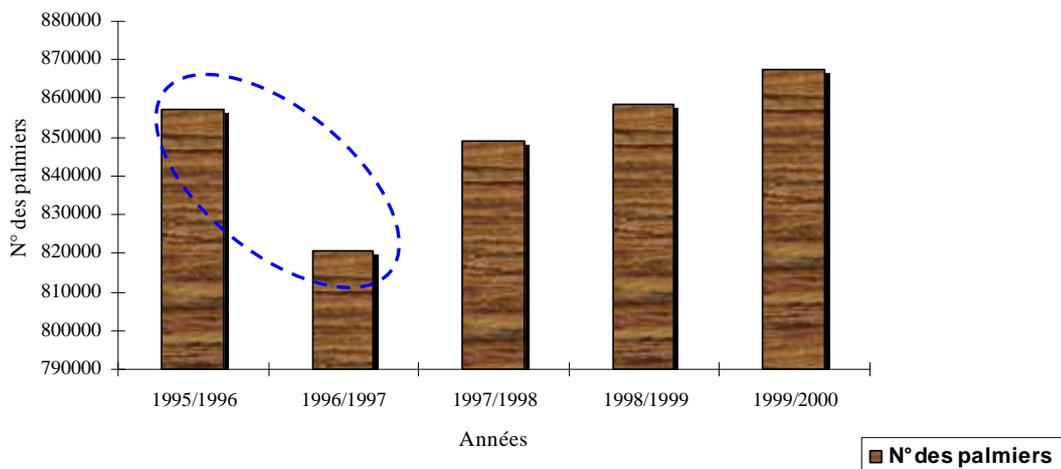


Figure 25. Les nombres des palmiers de l'année 1995 à 2000 du Souf (DSA. El Oued, 2007).

Enfin, on peut estimer la déperdition totale par 131 140 palmiers dans une vingt ans de la peine.

Et on peut résumer l'histoire de la nappe traditionnelle du Souf jusqu'à cette période dans ce schéma réalisée d'après Cote Marc (2006) (figure 26); 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 de 1969 apparaissent épisodiques; par contre apparaît évidente la corrélation avec le rythme croissant des forages dans les nappes profondes.

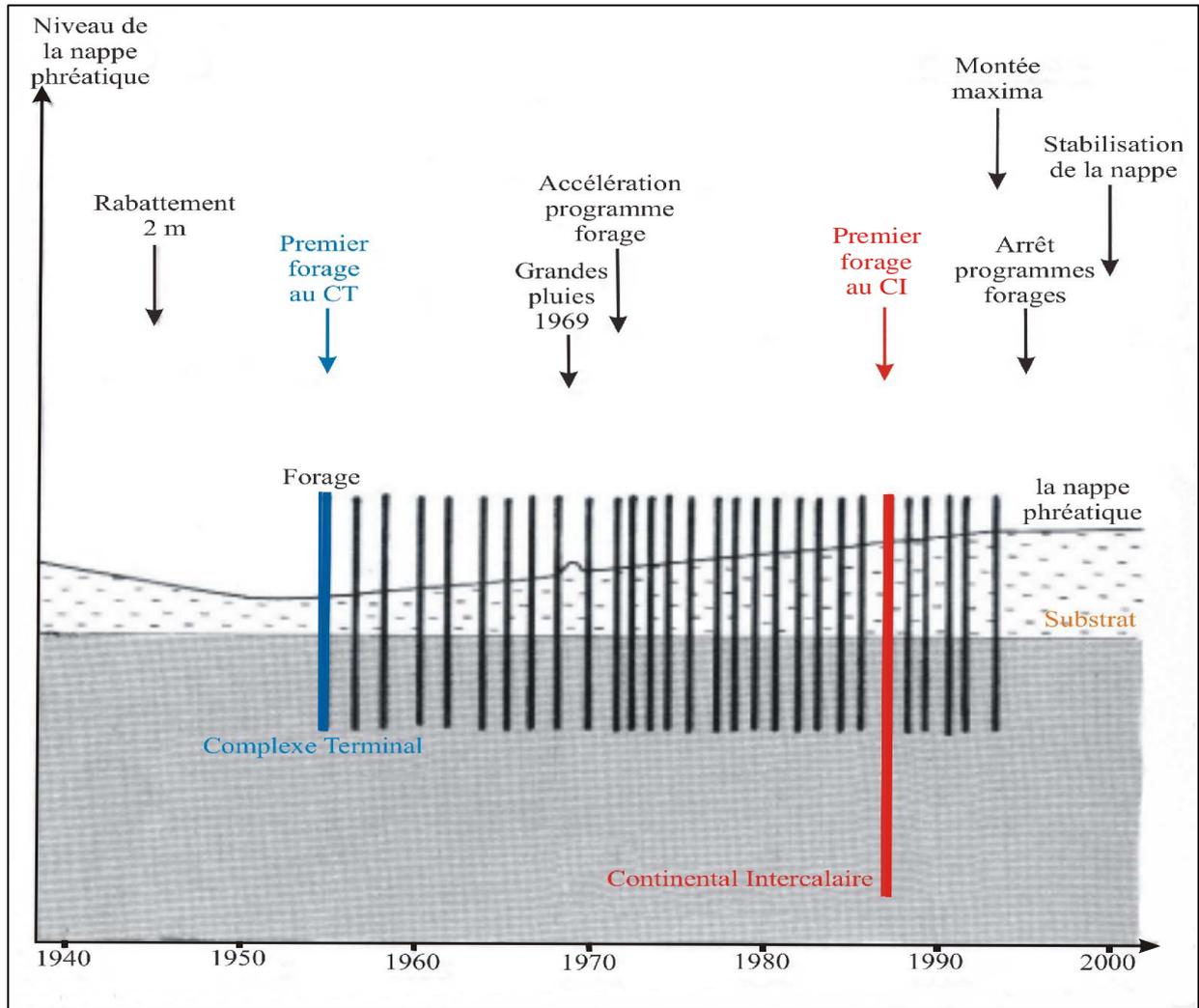


Figure 26. Le comportement de la nappe dans le temps pour cette période (Cote Marc, 2006)-Modifier-

II.2.1.5- Période de l'activité de 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 élaboré par des générations 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 on a 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 27 présente la situation des ghouts au début de cette période.

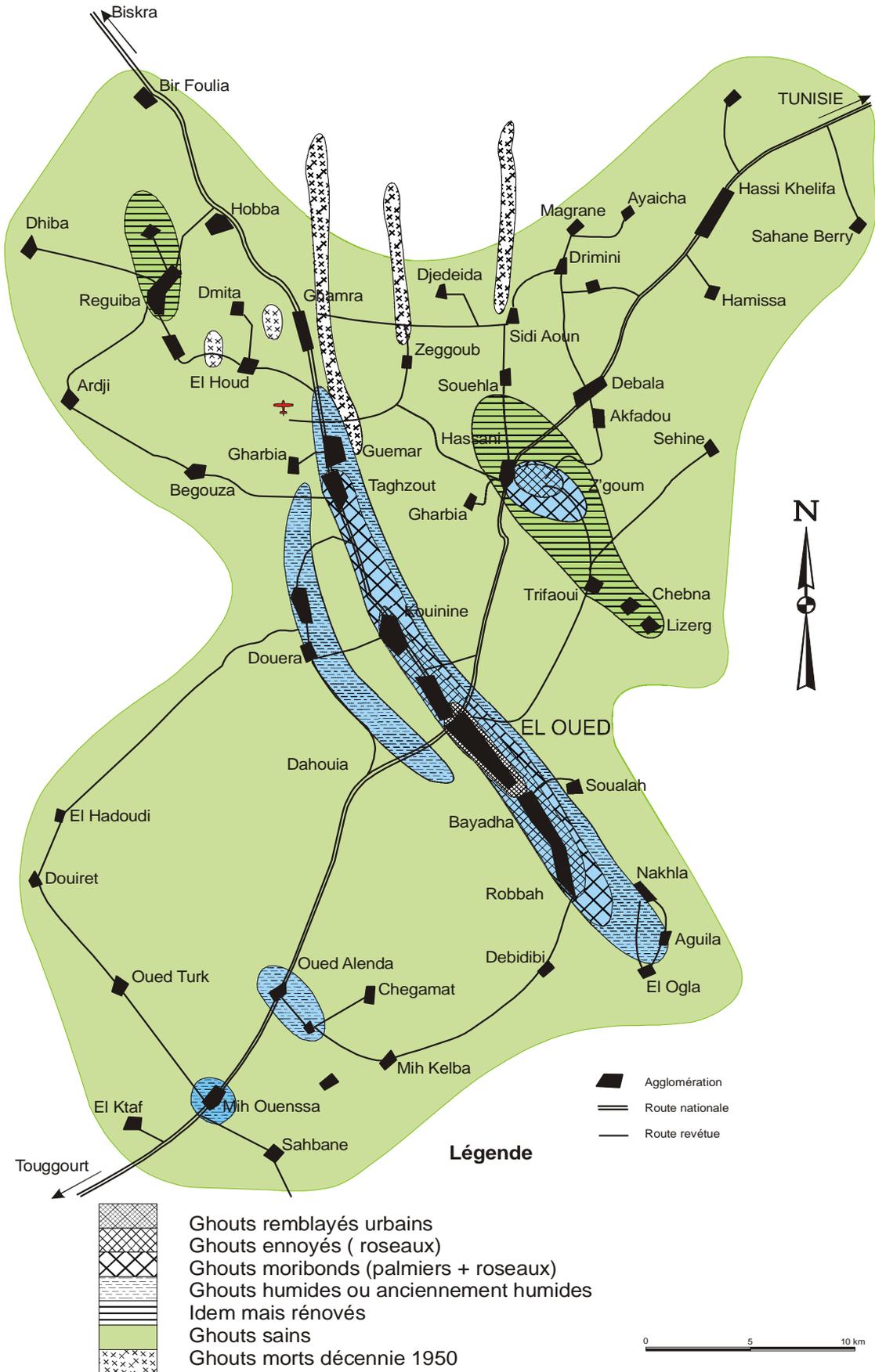


Figure 27. Etat des ghouts du Souf en 2001 (Cote Marc, 2001)

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 28).



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

Figure 28. 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 de 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 atteindra 206,2 mm (ONM El Oued–Guemmar, 2007).

Et pour suivre le changement (la variation) piézométrique de la nappe, il faut retourner au (les données des mesures) réseau surveillance de l'ANRH (réalisé en 1993), où 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 de 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 subit une montée de la nappe phréatique (Bonnard & Gardel, 2002c).



Figure 29. Puits traditionnel pour Le réseau de surveillance de la nappe phréatique (Bonnard & Gardel, 2002c).

Ils consistent essentiellement en puits améliorés implantés dans des lieux publics, principalement des écoles et lycées (figure 29), 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 30); (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.

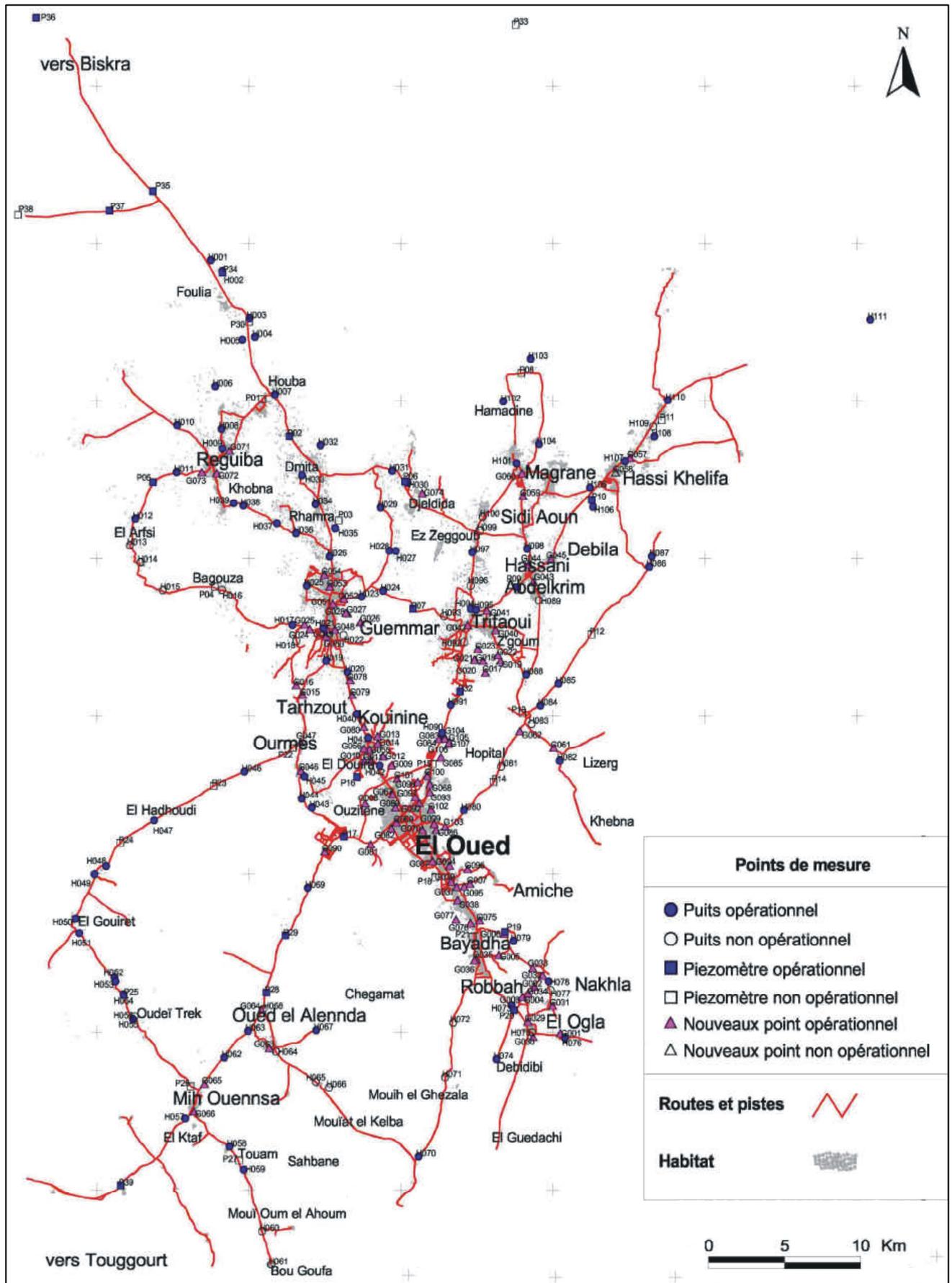


Figure 30. Etat du réseau de surveillance en 2001 (Bonnard & Gardel, 2002c)

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 le phénomène de remontée 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 hydrogéologique en 2002 et les données de l'ANRH (figure 31).

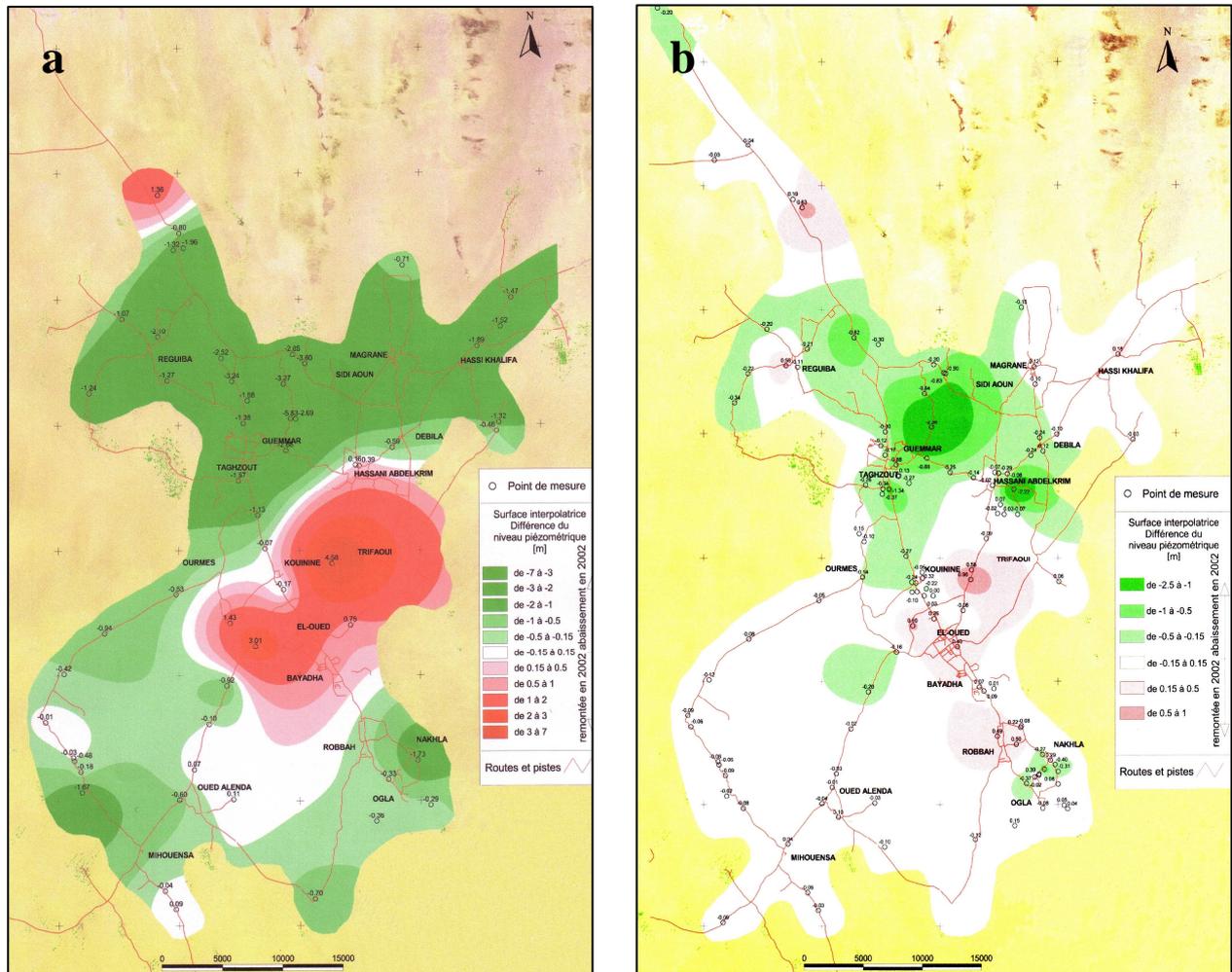


Figure 31 La carte de différent piézométrique entre 1993-2002 (a) et 2001-2002 (b) (Bonnard & Gardel, 2001b, 2002c).

* Evolution mars 1993-avril 2002:

La comparaison entre les mesures de mars 1993 et avril 2002 (figure 31a) 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 le 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 (Annexe 3), 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 sera nécessaire.

❖ Dans 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 imitées du système californien, initiées sur son sol (à Ouargla, Adrar...) par des entreprises américaines, et irrigant d'un

coup 30 à 50 ha. Technique donnée 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 32).

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 qu'on a fait le pivot de grand périmètre privé de Dahouia irriguée 20 ha (250 m de diamètre) est la plus grand dans la région du Souf.



Figure 32. *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 (motopompe) le comportement spatial de la nappe phréatique change (figure 33).

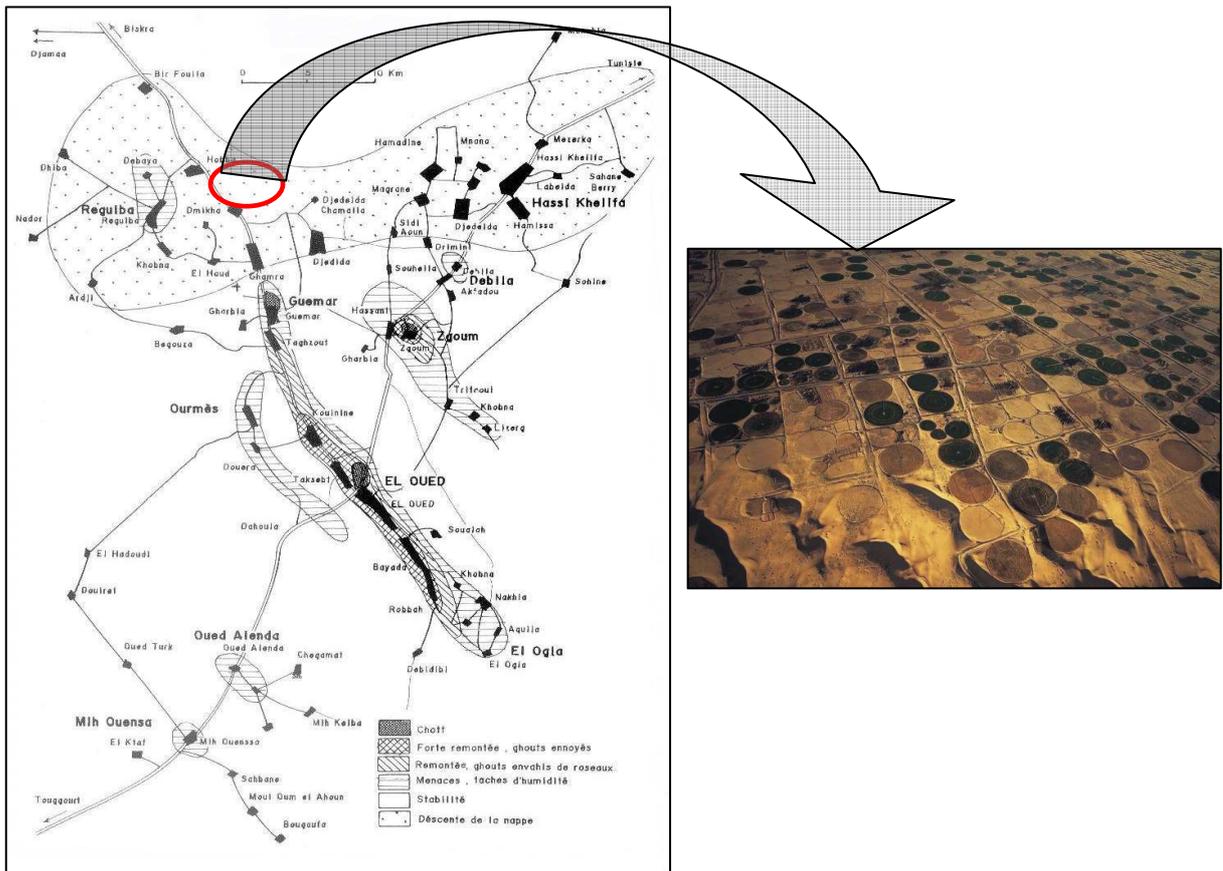


Figure 33. Le comportement spatial de la nappe phréatique pour ce période (actuel) (Cote Marc, 2006).

(Les motopompes) elles tirent leur eau de la nappe phréatique; la percolation est faible l'évapotranspiration très forte; ils représentent donc une consommation par rapport à cette nappe surtout dans la zone nord du Souf qui connue grand densité d'utilisation de ce 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 recourir à la recherche, et essayer d'aller plus loin dans la compréhension du phénomène (remonter-rabattement).

Conclusion :

Et 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 proposer et en cours d'exécution pour façonnée aujourd'hui un nouveau paysage Soufi.

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, géologique 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 dont les 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.

* Le Bureau National d'Etude pour le Développement Rural (BNEDR), a réalisé une étude sur la région du Souf pour trouver les causes et les remèdes pour les problèmes de la remontée des eaux de la nappe phréatique

* COBA grands Bureaux d'ingénieurs-conseils portugais, Binnie & Partners Bureaux d'ingénieurs-conseils Britannique, et GEOSYSTEM Consulte (Alger) en 1997 ont réalisés des études structurées en deux parties à savoir :

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 résiduelles, 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 au même de renverser le phénomène.

* L'Entreprise Nationale des Projets Hydrauliques de l'Ouest (E.N.H.P.O), et le bureau des études Bonnard & Gardel ont réalisés une étude complète sur la région, pour résoudre le problème de la remontée de la nappe phréatique, le projet aujourd'hui est en étape d'exécution pour le réseau d'assainissement et de drainage avec les stations d'épurations et des stations des pompes.

Il est sûr que toute solution passe par un préalable, qui est l'assainissement de la ville d'El Oued, c'est-à-dire la réalisation d'un réseau d'égouts, véhicule les eaux usées de toute la ville, vers un point bas (point de rejet ou exutoire) situé de côté du chott ; au Nord de la région du Souf.

Parallèlement, on devra drainer le trop-plein d'eau (provenant des fuites de l'alimentation des eaux potables, et les eaux infiltrées dans le sol par l'irrigation) des terrains d'assiette de la ville. Les eaux d'Égouts et le trop-plein représentent au total un grand volume.

La question fondamentale est de savoir que devons nous faire avec ce volume important ? Il est important de savoir l'historique et la situation des réseaux hydrauliques (Eaux Usées et Eaux de drainage) dans la région de la vallée du Souf.

III.1- Situation de l'assainissement du Souf:

De très lourds travaux d'assainissement ont été engagés à El Oued depuis 1981 avec une faible efficacité (DHW. El Oued, 2007). La commune d'El Oued la Seule a été 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.

III.1.1- 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 34), 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 34) la grande partie non fonctionnelle, posées 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. En absence de station de pompe à l'aval, ce réseau n'a pas été mis en service.

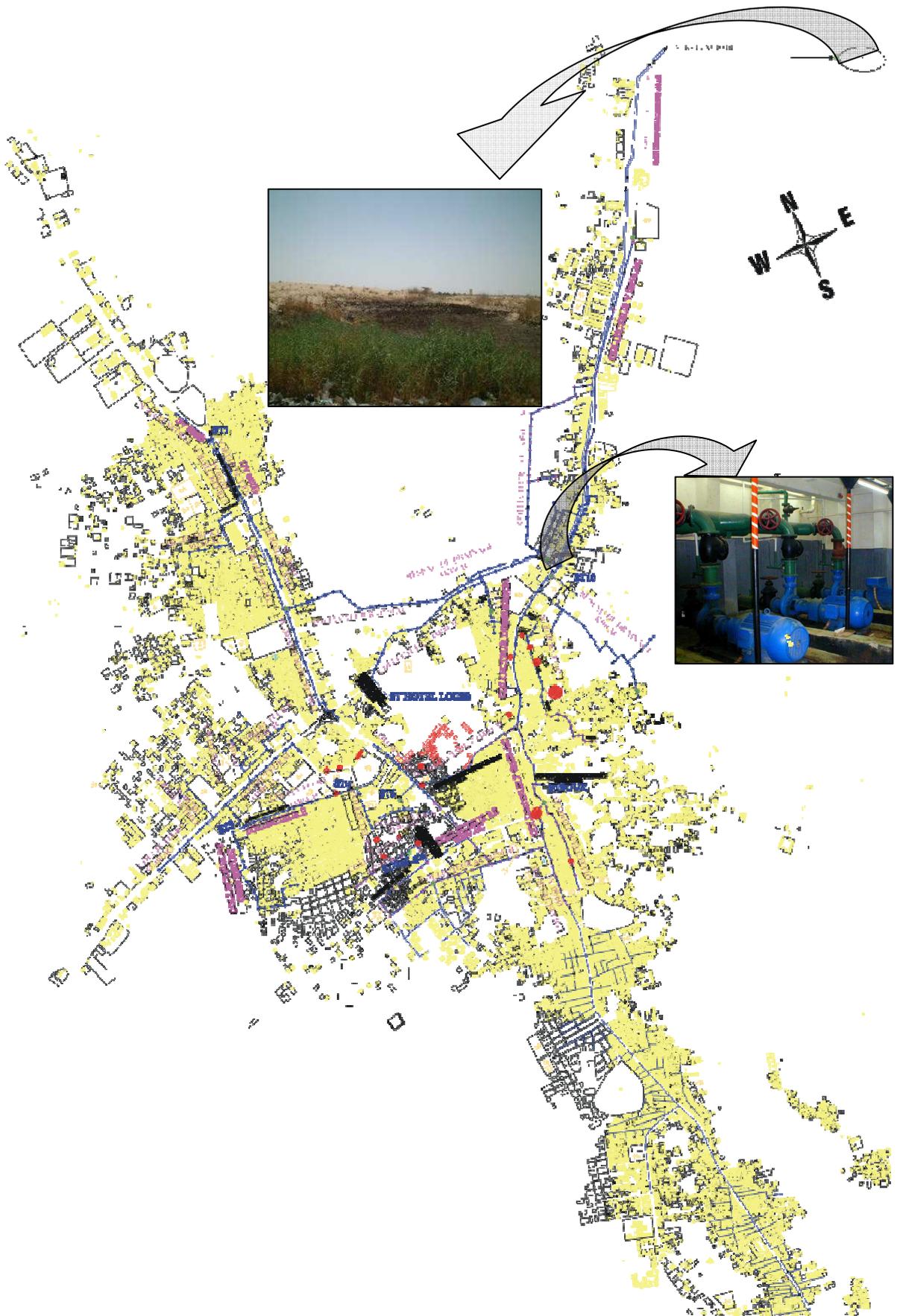


Figure 34. *Le réseau d'assainissement actuel de la commune d'El Oued (Bonnard & Gardel, 2004c).*

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 (DHW. El Oued, 2007).

La situation générale des stations de pompages (figure 35), 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 bête.

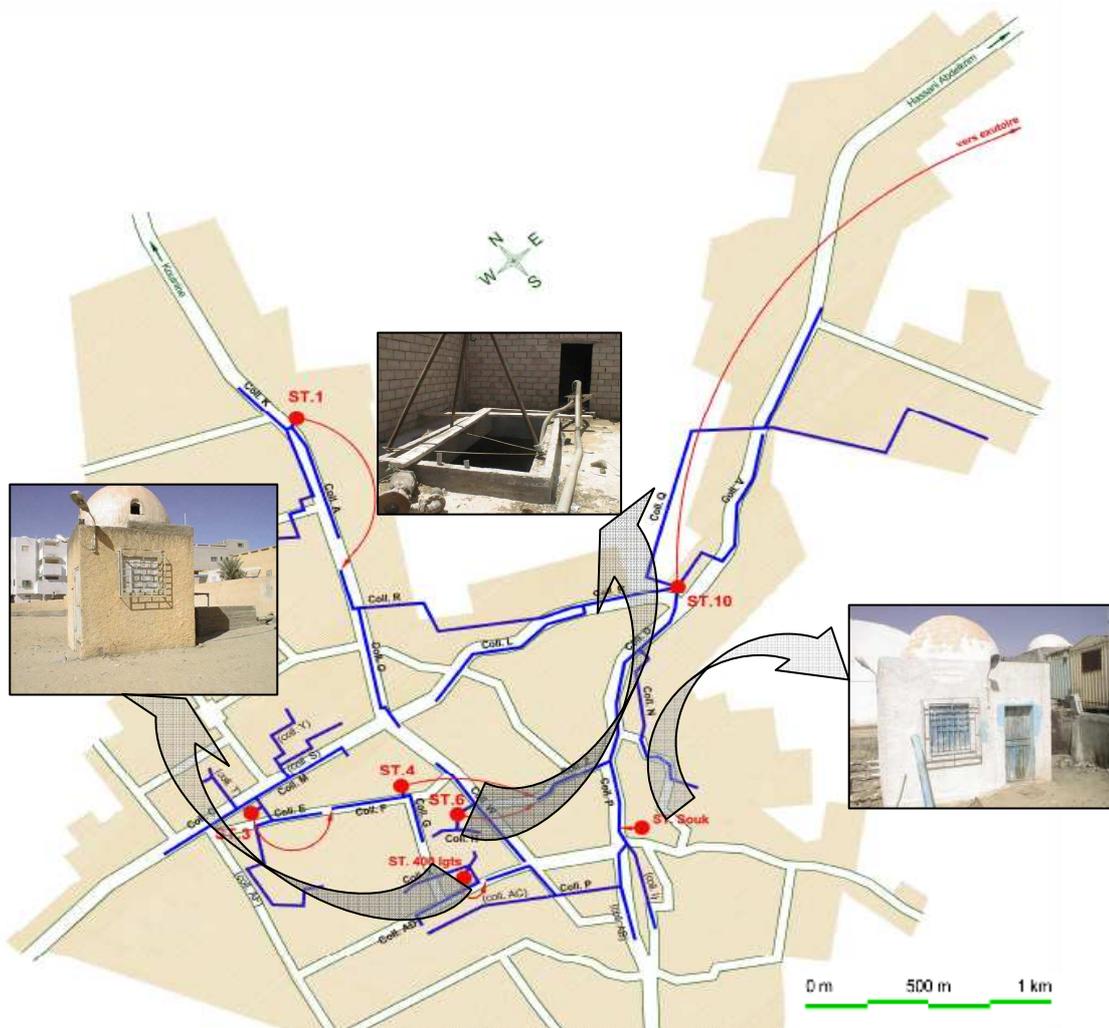


Figure 35. Localisation des stations de relèvement existantes (Bonnard & Gardel.2003b)

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 actuelle en attendant la mise en place d'un équipement plus fiable et plus pratique.

Le tableau 2 donne les caractéristiques de quelques stations de relevages existantes dans la région :

Tableau 2. Caractéristiques de quelques pompes des stations des relevages (COBA et al.1997) :

Caractéristique Code de station	Débit de pompage Q (m ³ /h)		Hauteur manométrique (m)		Puissance (KV)	
	Station N° 1 (Teksebte)	200	3*	30	9*	30
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, on a remarqué que le groupe électrogène n'aurait jamais été mis en service par son installateur (pour la ST3 et ST 4), les pompes des secours en était relever 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 réalisées 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.

III.1.2-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 individuel et ne pas faire la confiance au réseau collectif d'assainissement.

Ce système d'épuration individuel se composent généralement d'une fosse aménagée (figure 36) 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 des cas le Soufi change les puits (qu'il a utiliser avant pour l'alimentation en eaux potable et l'irrigation de son jardin) en fosse perdue pour évacuer directement les eaux usées (domestique), et le changement de qualité des eaux des puits (la salinité des eaux) c'est la cause principale d'abandonner ce puits.

Le Soufi utilise dans la construction des fosses (puits) perdues les matières naturelle locale, essentiellement les roches de rose des sables, parce que la résistivité de ces roches à l'infiltration des eaux est très grande a cause de sa composition chimique qui est basée sur les cristaux de sables (quartz), qui ne présente aucune réaction chimique avec les eaux infiltrée, ce qui représente un bon support d'infiltration de ce dispositif d'épuration traditionnel (figure 36).

La pratique de la fosse perdue est privilégiée pour les 18 communes du Souf qui totalisent 36 265 fosses (tableau 3).

Tableau 3. Répartition des fosses par communes (Bonnard & Gardel, 2002b).

Commune	Nombre de fosses
Bayadha	3051
Ogla	470
El oued	1165
Debila	2011
Guemar	2612
Hassi Abdelkrim	1784
Hassi Khalifa	2195
Kouinine	1016
Magrane	1941
Mihouansa	613
Nakhla	1155
Oued Allenda	513
Ourmes	404
Reguiba	2455
Robbah	2006
Sidi Aoun	845
Taghzout	849
Trifaoui	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 souterraine après quelques années d'utilisations, 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.

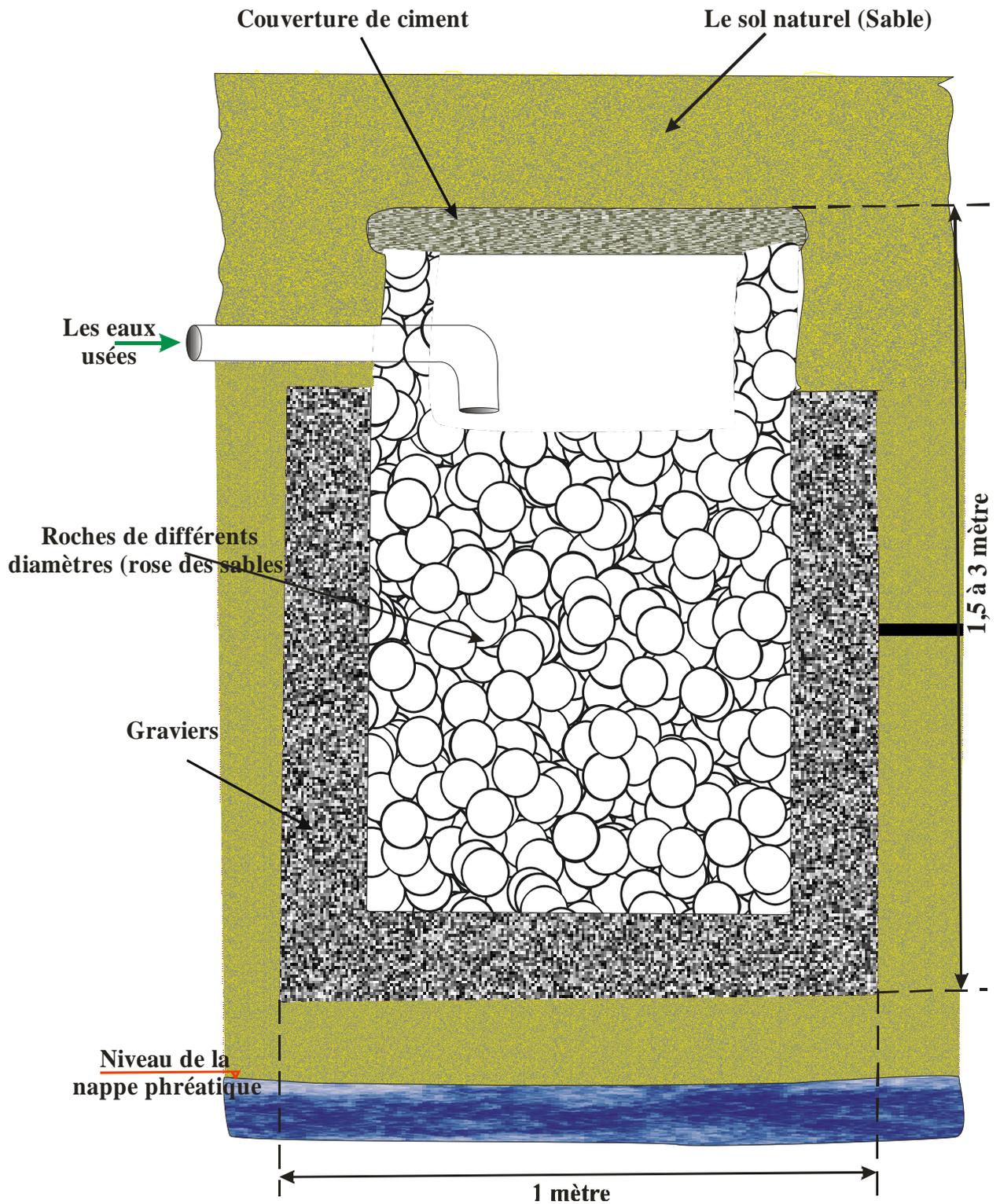


Figure 36. Le système traditionnel d'assainissement (la fosse perdue).

III.2- Le réseau de drainage d'El Oued:

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, dessert les zones basses de l'agglomération, c'est-à-dire essentiellement le quartier Nezla et une partie du quartier Chott et Sidi Mastoure (la principale zones menacé par le phénomène de remontée des eaux de la nappe). La collecte est gravitaire et aboutit à une station de pompage située dans la même enceinte que la station de relèvement ST10 pour les eaux usées (figure 37b), à partir de laquelle les eaux de drainage sont évacuées vers l'extérieur de la ville via une canalisation DN 400 parallèle à celle des eaux usées.

Le réseau de drainage des eaux excédentaires (de la nappe phréatique) présente 4050 m de longueur, les collecteurs sont des conduites d'amantes ciments de diamètres DN 200 perforer de trous de diamètre 2 cm, la distance entre deux trous, distribuée sur un angle 120° orienté vers le haut (figure 37a), les côtés et le dessous de conduite sont dépourvue des 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 manière chronique et qu'ils requièrent un curage périodique. Cela explique aussi en partie l'usure anormalement rapide des roues des pompes de la station ST10.

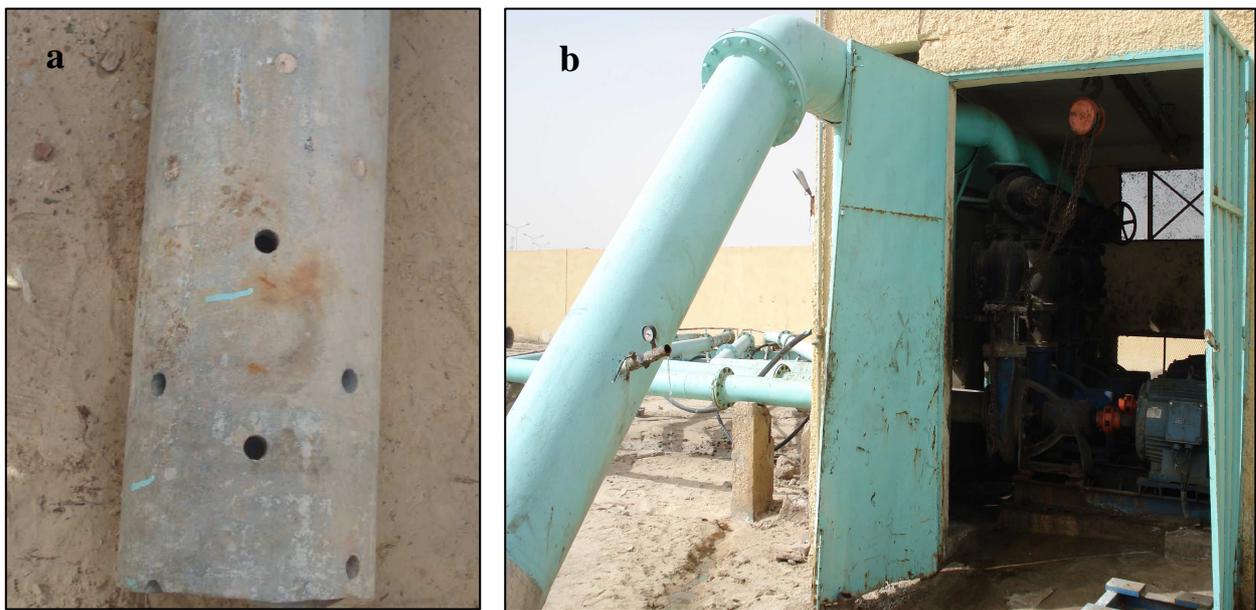


Figure 37. Conduite d'amiante ciment utilisée dans le réseau drainage (a) avec la station de pompage des eaux de drainage (b).

III.3- 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 fonctionnel 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 38).

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 38).

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.

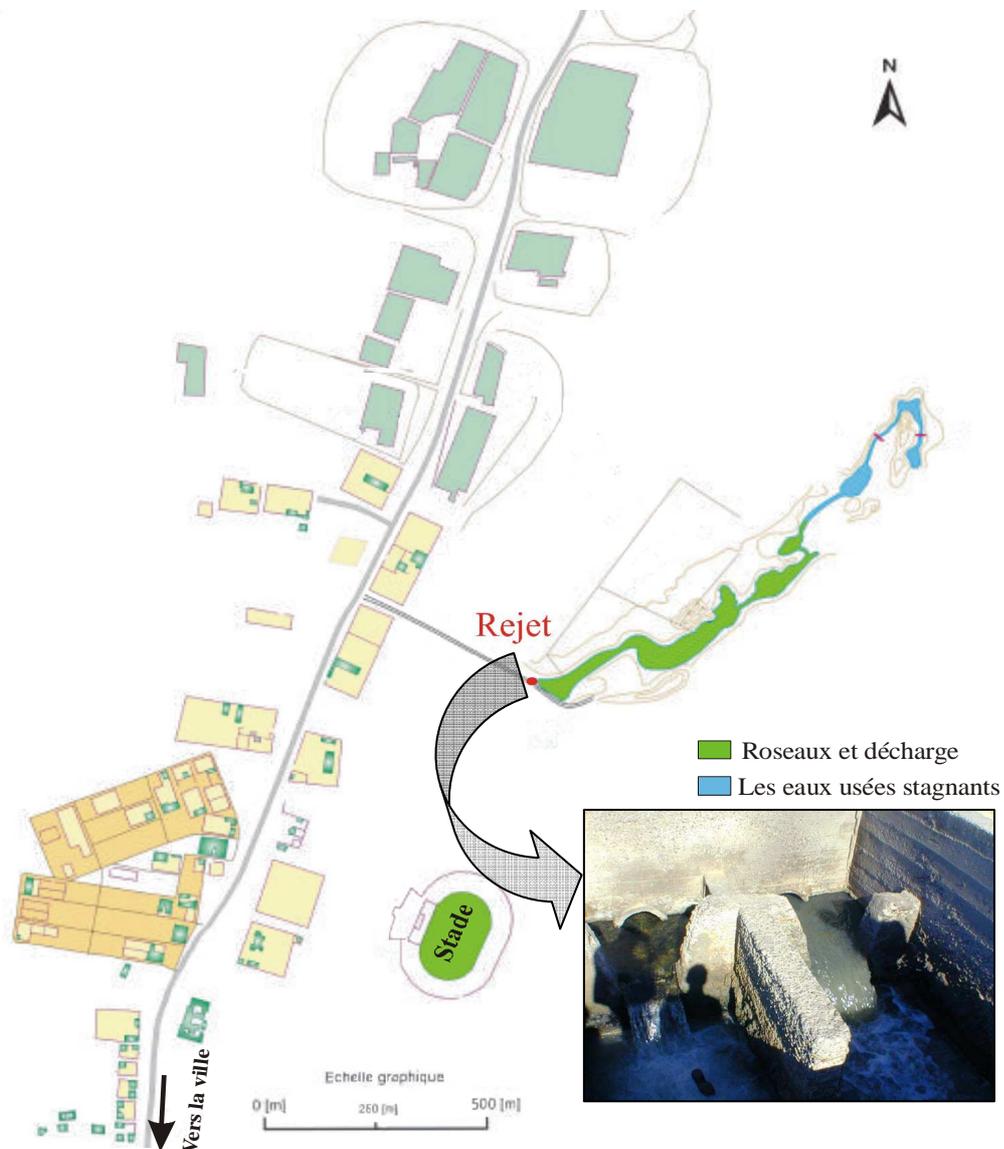


Figure 38. La zone de rejet actuel d'El Oued (Bonnard & Gardel, 2001b)-Modifier-.

❖ Pour répondre à la question fondamentale est de savoir quoi faire par ce volume d'eau en excès, et pour cela le bureau d'étude de Bonnard & Gardel responsable de contrôler l'exécution de travaux sur le terrain, qui bases sur une étude complète pour remédié la région de cette 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 des épurations, et on n'oublie pas la solution de la direction de conservation des forêts qui propose et réalise la ceinture verte.

III.4- Les remèdes proposés et leur exécution en cours pour le phénomène de la remontée de la nappe phréatique :

Dans cette partie, nous essayons de résumer les solutions proposées et leur exécution qui est en cours de réalisation sur le terrain:

III.4.1- Création de ceinture d'évapotranspiration (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 locale du niveau piézométrique de la nappe phréatique.

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

Les plants proposés dans le cadre de ces réalisations sont des plants hydrophyles et xérophytes (compte tenu de la quantité des eaux).

Il s'agit de la gamme des plants présenté dans le tableau 4.

Tableau 4. Plants servant à fixer le sable et s'adaptant aux exigences climatiques et du sol de la zone du Souf (George Toutin, 1977)

Espèces	Multiplication	Epoque de mise en place	Observation
Arbres et arbustes cultivés - <i>phoenix dactylifera</i> - <i>phoenix canariensis</i>	Rejets - semis	Printemps	-Ses développes bien même en zones très salées
- <i>Tamarix articulata</i>	boutures	Hiver	-S'accomodes de tous le sols, mêmes salés, racines profondes
- <i>Casuarina épuisetifalia</i> - <i>Parkinsonia</i>	Semis plants	Hiver	-S'adapte bien aux condition du milieu, pousse bien 2 m / 2 ans. -pour sols salés, et aux eaux salées pousse bien.
- <i>Peuplier de l'Euphrate</i>	Drageons boutures	Hiver	-S'adapter bien, croissance lente.
- <i>Eucalyptus occidentalis</i> - <i>gomphocephala canuldensis</i>	Semis plants	Hiver	-Poussant vite, 4 m en 2 ans véritable pompe (voir plus loin)
-Laurier rose (<i>Nerium eliander</i>)	Boutures	Printemps	-Haie souple et épaisse, croit plante ornementale

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.

Parmi les espèces les plus répandues, BNEDR (1993) citera tout d'abord le *globulus*, le *radiata* (ou *camaldulensis*), le *citriodora* (*ornemental*).

Beaucoup d'espèces, comme citées plus haut, n'occupent en effet dans leur continent d'origine (Australie) qu'une aire très réduite, sur des sols profonds à climat tempéré. Cependant elles prennent une extension considérable hors d'Australie, aussi bien dans des pays tropicaux (Brésil), qu'en pays semi-arides et arides (BNEDR, 1992).

D'après Boudy P (1950), les espèces à introduire dans la zone du Souf caractérisée par un étage bioclimatique désertique, sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 5. Espèces possibles d'eucalyptus à introduire (Boudy P., 1950).

Etage bioclimatique		Espèce	Utilités
Semi-aride	Aride		
*	**	E. Salmonophloia	Bois de feu-piquet de mine, téléphone.....
*	**	E. Brockwayi	Bois de feu-piquet de mine, téléphone.....
	**	E. Torquata	Bois de feu-piquet de mine, téléphone.....
*	*	E. Saligna	Bois d'œuvre, huiles essentielle
**	*	E. Microthéca	Bois d'œuvre
**	*	E. Citriodora	Bois d'œuvre
*	*	E. Maculata	Bois d'œuvre
*	*	E. Crebra racemosa	Bois d'œuvre
*	*	E. Siderophloia	Bois d'œuvre
*	*	E. Paniculata	Bois d'œuvre – bois de feu
**	*	E. Cladocalyx	Bois d'œuvre – bois de feu
**	*	E. Sideroxylon	Bois d'œuvre – bois de feu
***	*	E. Wandoo	Tanin
**	*	E. Astringens	Tanin

* = bien ** = recommandé *** = très recommandé

L'introduction de ces plantations par nombre de 1000 arbres par hectare où on peu dit chaque Eucalyptus est capable d'évapotranspirer quelques 200 à 500 litres par jour soit 40 000 à 100 000 litres par jour par hectare. Si l'on procède à une éclaircie quand les arbres atteindront une taille normale, on laissera les 200 arbres les plus vigoureux (Boudy P., 1950).

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 dit que l'eucalyptus est une pompe magistrale, et réussit bien dans les routes d'El Oued (figure 39b) ; le tamaris absorbe moins, mais résiste bien au sel ; l'acacia cyanophyla, le laurier-rose, sauraient être associés.

A partir de moment où ces ceintures seront réalisées à proximité des zones affectées par la remontée de la nappe, il s'agira 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 dits ceinture d'évapotranspiration.

Donc on peut dire que la Solution de la ceinture verte est plus simple et moins coûteuse, mais qui pour ne pas avoir été mise en chantier dès le début de la crise, apparaît comme un peu dépassée aujourd'hui par l'ampleur de celle-ci.

A l'échelle de la vallée la ceinture verte est une bande qui enroule les communes de la région du Souf, englobant quatorze (14) communes soit un longueur de 150 km, une surface atteint 350 ha (figure 42), de Reguiba passant par Guemmar, Taghzout, Kouinine et divergent a L'Est et le Sud-Est d'El Oued vers les communes des Hassani AbdelKarime, Debila, Hassi Khalifa, Trifaoui, Bayada et Robah, et pour l'Ouest vers Oued Elanda, avec de 21 espaces ou surfaces vertes soit une surface de 630 ha (DCF. El Oued, 2007).

Le projet a démarré de Novembre 2001, le volume programmé comme nous avons déjà dit est 150 km (350 ha), le partie réalisée jusqu'au Décembre 2006 est 67 km c'est-à-dire 165 ha (165 000 arbres). Et pour les ressources hydriques (les eaux d'irrigation), la direction de conservation des forêts programmées 250 puits, (88 puits ont été vraiment réalisés) qu'ils alimentent 80 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.

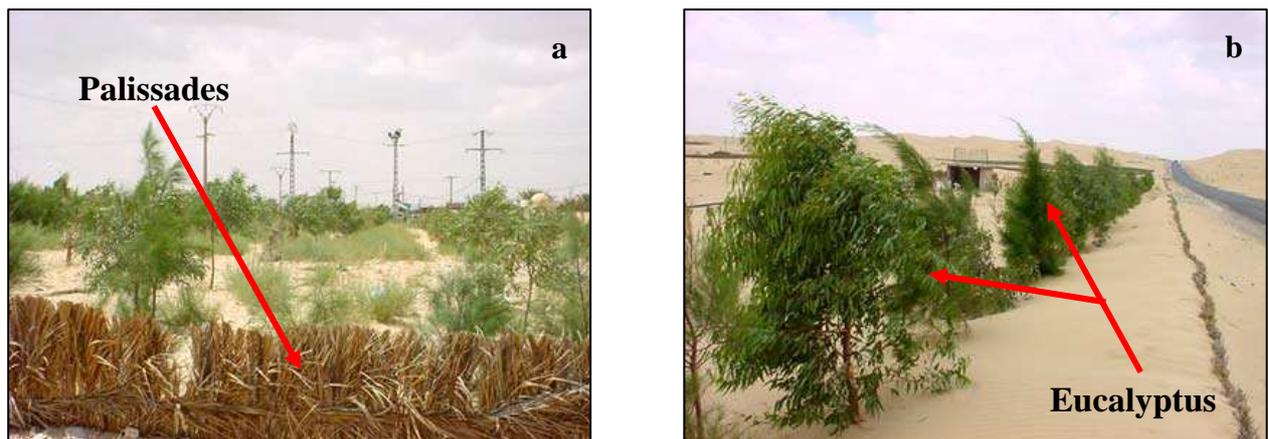


Figure 39. La ceinture verte du côté les routes a droite (b) et dans les zones inondées (Sidi Mastour) a gauche (a).

Nous avons parlé beaucoup de coté 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 Mastoure) à l'Est de la ville d'El Oued (figure 39a).

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, situe entre le chott d'El Oued et le quartier de Sidi Mastoure a 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 le figure 40 (a et b) montre la différence entre le 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 40. Présente la différence entre deux périodes.

Pour être expansifs, le pouvoir publique ne prend pas en considération que l'ouvrage de pompe biologique est très important dans notre vie, mais on n'oublie pas le rôle négatif de citoyen de sabordement le ceinture verte par de transformé les zones verte au zones des poubelles publique (figure 41).



Figure 41. L'état actuel de pompe biologique.

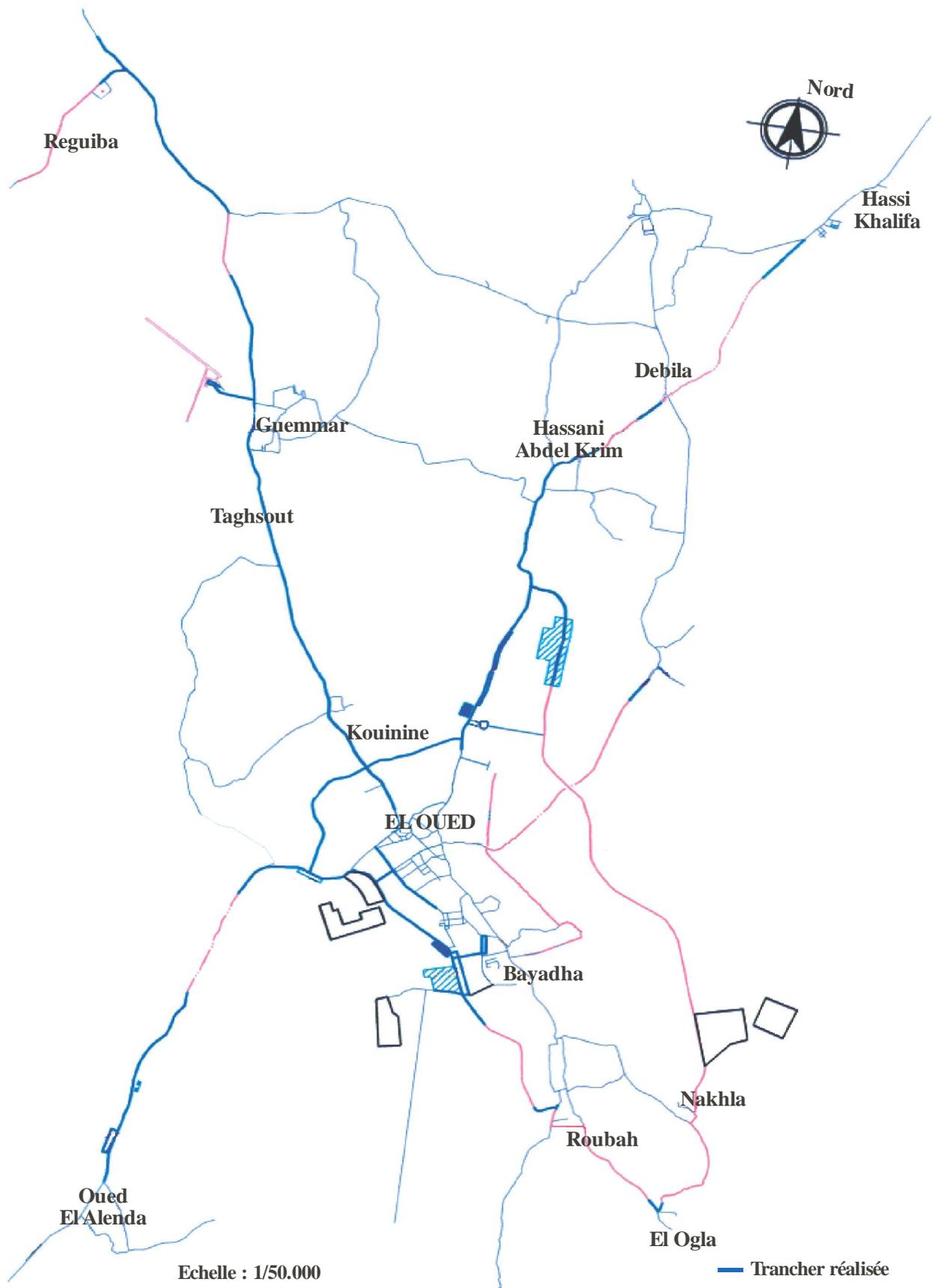


Figure 42. La ceinture verte de la région du Souf (DCF., El oued 2006).

III.4.2- Plantation d'un réseau d'assainissement et de drainage:

Un mégaprojet est lancé par les pouvoirs publics pour endiguer ce phénomène, après l'étude réalisé 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) et drainer les eaux excédentaires, en évacuant vers le chott limitrophe de Halloufa (figure 43). Il constitue un espoir pour les populations locales et la survie de l'oasis.

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 43 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 rouges, et ceux des collecteurs de transport des eaux traitées en bleu (figure 43).

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.

III.4.2.1- Le réseau d'assainissement:

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...).

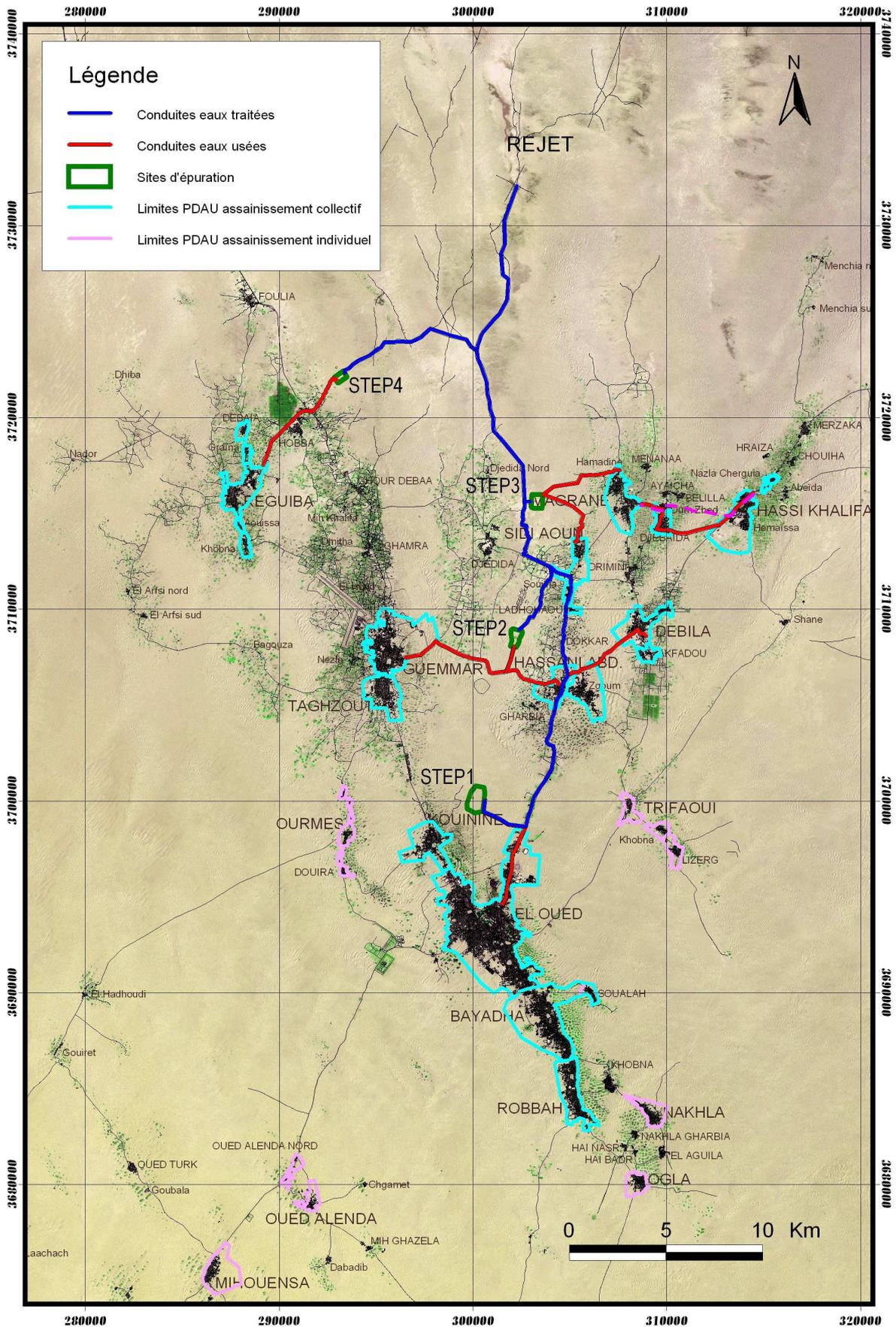


Figure 43. Schéma directeur d'assainissement de la vallée du Souf (Bonnard & Gardel, 2003b-2004c).

Concevoir et réaliser un réseau de collecte des eaux usées de la grande partie des localités importantes du Souf et un collecteur principale longent 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 43).

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 habitant 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 613 km avec d'environ 50 stations de pompage, 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 ne sont pas augmentés 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 éparses où la densité de l'habitat est réduite. Les caractéristiques des sols devront toutefois permettre la mise en place de tels dispositifs (figure 44).

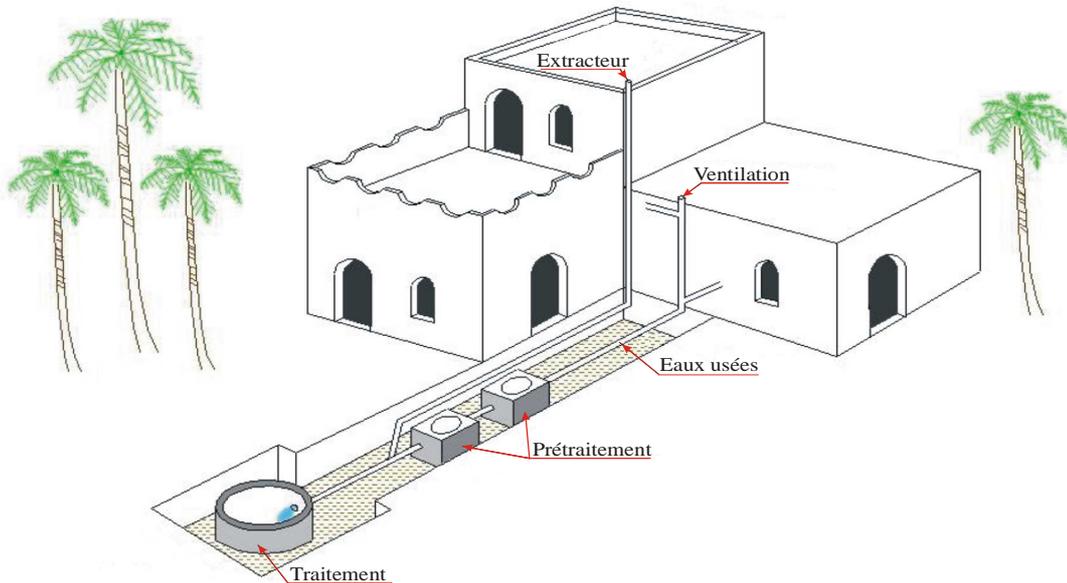


Figure 44. Schéma d'une installation type d'assainissement individuel (Bonnard & Gardel, 2003a).

III 4.2.2- Le réseau de drainage des eaux de la nappe phréatique:

Il est bien entendu qu'il est impossible d'assurer une couverture en assainissement très importante et efficace pour assainir ou plutôt drainer les eaux stagnantes de la nappe phréatique. Donc les eaux restantes non assainies par réseaux doivent être récupérées en zones basses (inondées) par un système ou le réseau de drainage qui est efficace et durable.

Le principe de drainage est de récupérer l'ensemble des eaux d'infiltration sous l'agglomération d'El Oued par pompage dans 58 puits forés, d'utiliser une part aussi grande que possible de ces eaux sur place pour l'irrigation d'espaces verts, de collecter le solde des eaux au niveau de la station de pompage ST 10, puis de les refouler sur environ 4200 m jusque dans le collecteur des eaux usées traitées (CET), au point ET1 où ce dernier collecteur, en provenance de la station d'épuration STEP 1, entame son tracé sur la route principale.

D'après Bonnard & Gardel (2002a, 2002b, 2002c, 2004a) La quantité d'eau à drainer serait de 22 185 m³/jour. Et pour le réseau de drainage est constitué des drains verticaux équipés de pompes immergées. Où le Nombre de puits verticaux 58 dont 12 implantés en ceinture autour du Chott et des zones basses de Sidi Mestour. Les réseaux de collecte des eaux drainées présente 33 500 m de conduites (figure 45).

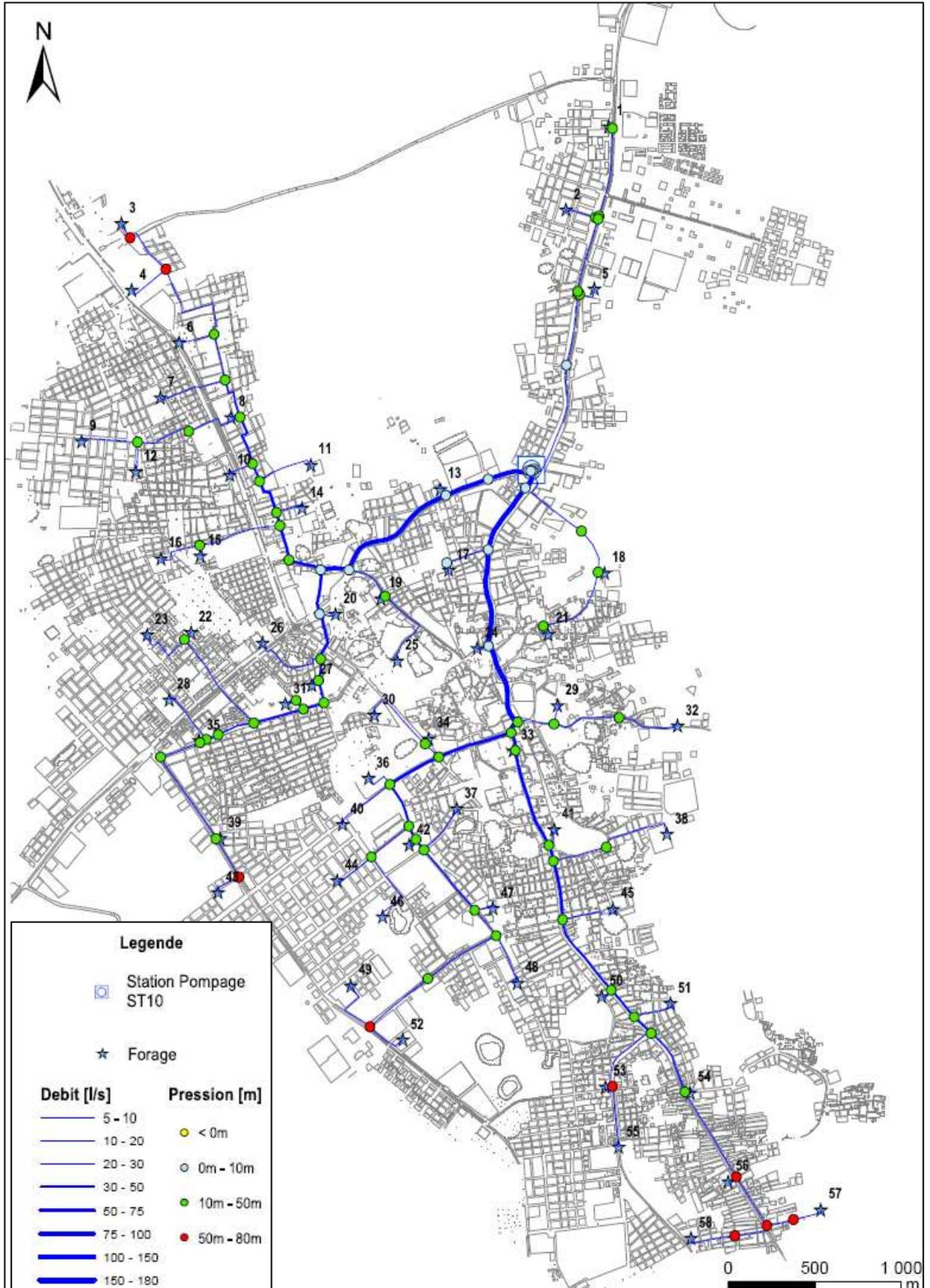


Figure 45. Le réseau de drainage planter dans le commun d'El Oued (Bonnard & Gardel, 2004a).

❖ Dans le contexte du projet où la ressource en eau renouvelable est limitée et où l'activité agricole connaît un essor important, il est important que ces eaux résiduaires et de drainages puissent être réutilisés après un traitement répondant aux objectifs de qualité requis.

III 4.3- Volet d'épuration des eaux usées:

Le schéma proposé dont 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. Et pour 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, offre des possibilités de regroupement pour un traitement commun.

Tableau 6. Les débits estimés d'eaux usées collectés par chaque commune (Bonnard & Gardel, 2003a-2004c-2004d)

COMMUNE	Horizon 2010			Horizon 2030		
	Pop. totale	Pop. Racc	Débit d'eaux Vers réseau (m ³ /j)	Pop. totale	Pop. Racc	Débit d'eaux Vers réseau (m ³ /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 ALENDA	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
TRIFAOUI	8 860	6 638	1 194	13 165	9 862	1 775

Le tableau 6 présente l'évolution des débits d'eaux usées collectée 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 46):

- 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.

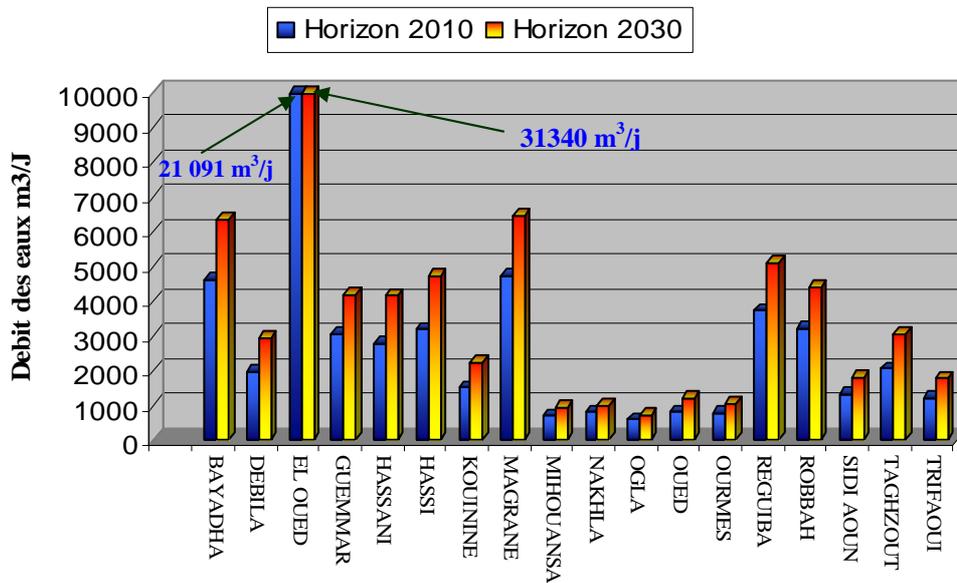


Figure 46. Débits d'eaux usées vers le réseau d'assainissement dans la vallée du Souf.

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 puit 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 nuisances;

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

III 4.3.1- 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 47a). Une cloison siphonide assurera la rétention des matières flottantes (graisses).

L'ensemble des eaux usées (eaux vannes et eaux ménagères) seront dirigées 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 44);
- 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 microorganismes 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 47b). 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.

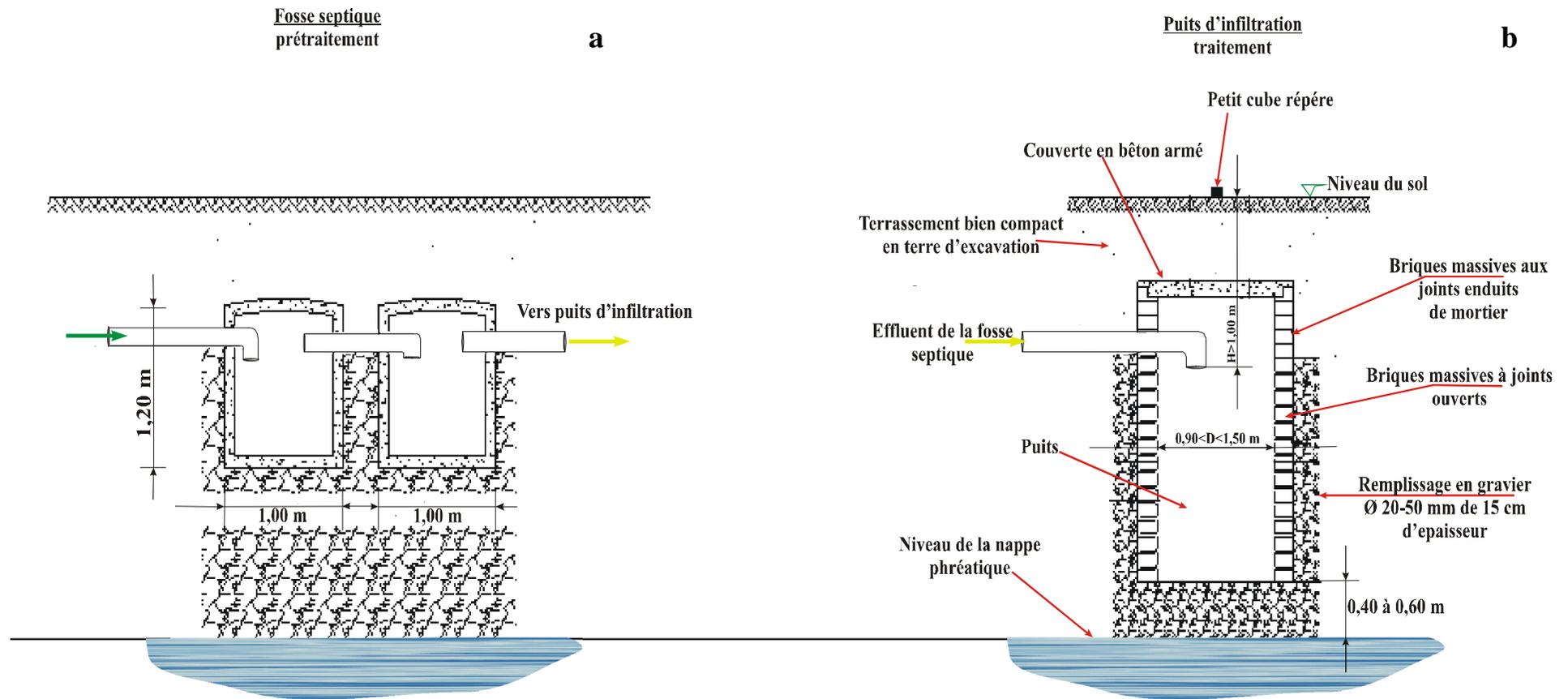


Figure 47. Les dispositifs d'épuration pour l'assainissement individuel (Bonnard & Gardel, 2003b).

c- Les filtres plantés de roseaux :

Ce procédé biologique à cultures fixées est basé sur la percolation des eaux usées au travers d'un massif filtrant colonisé par des bactéries qui assurent l'épuration (figure 48). La plantation de roseaux comporte un important système racinaire se développant dans le massif filtrant ; les tiges souterraines (rhizomes) perforent les dépôts superficiels et créent des passages pour l'eau en évitant le colmatage. Les roseaux créent également des conditions favorables à la minéralisation des matières organiques.

Ce procédé peut donc être alimenté par des eaux ayant subi un simple prétraitement.

Ce procédé est adapté aux petites collectivités et peut être une alternative à l'assainissement individuel dans le cas où la création d'un réseau d'assainissement collectif serait prévue. Au-delà de 2000 m³/j, il n'existe pas de référence dans le monde.

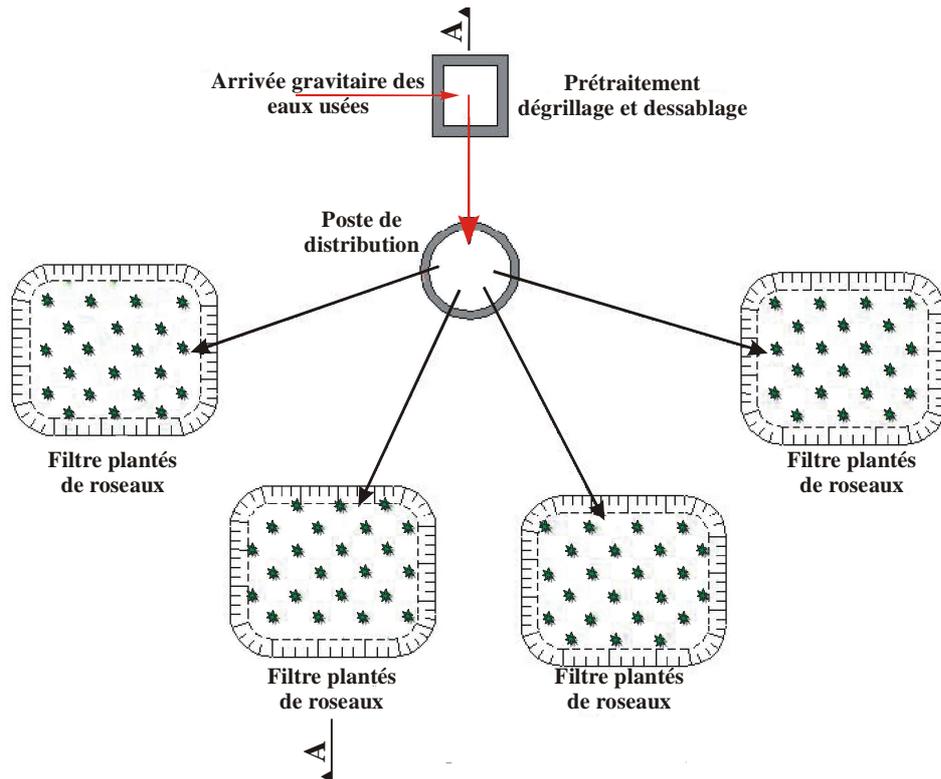
En tête d'installation, un simple dispositif de prétraitement consistant en un dégrillage (entrefer 40 mm) et un dessablage est suffisant.

Les filtres plantés de roseaux sont constitués de bassins creusés dans le sol qui sont ensuite remplis de graviers servant de support aux plantes aquatiques. Le sol en place peut constituer le massif filtrant. Les qualités hydrogéologiques de ce sol doivent toutefois avoir été préalablement contrôlées. La perméabilité du sous-sol et l'absence de couche imperméable seront notamment vérifiés. Le cas échéant, le sol pourra être remanié pour répondre aux exigences imposées.

Le système doit être alimenté en alternance et par bâchées pour obtenir une bonne répartition des eaux. La vitesse d'alimentation des filtres doit être supérieure à la vitesse d'infiltration dans le sol pour que l'effluent puisse être réparti sur la majeure partie du filtre. L'alimentation sera réalisée soit grâce à des pompes, soit grâce à un système de siphon auto-amorçant. Le débit d'alimentation des filtres doit être proche de 0,5 m³ par m² de surface filtrante par heure. Le volume d'une bâchée est un compromis entre un temps de stockage limité pour éviter une fermentation et la possibilité de répartir les effluents sur l'ensemble du filtre. Une bâchée doit permettre d'apporter 1 à 3 cm d'effluent sur la surface du filtre.

Ce procédé présente les avantages suivants :

- Exploitation simple et peu contraignante (faucardage annuel)
- Risques de colmatage réduit (maintien de la perméabilité par les roseaux)
- Bonne qualité de l'eau traitée
- Bonne intégration paysagère
- Traitement des eaux brutes
- Procédé acceptant une part d'eaux parasites
- Possibilité de rejet dans le sol si la nappe est suffisamment profonde



Coupe A-A

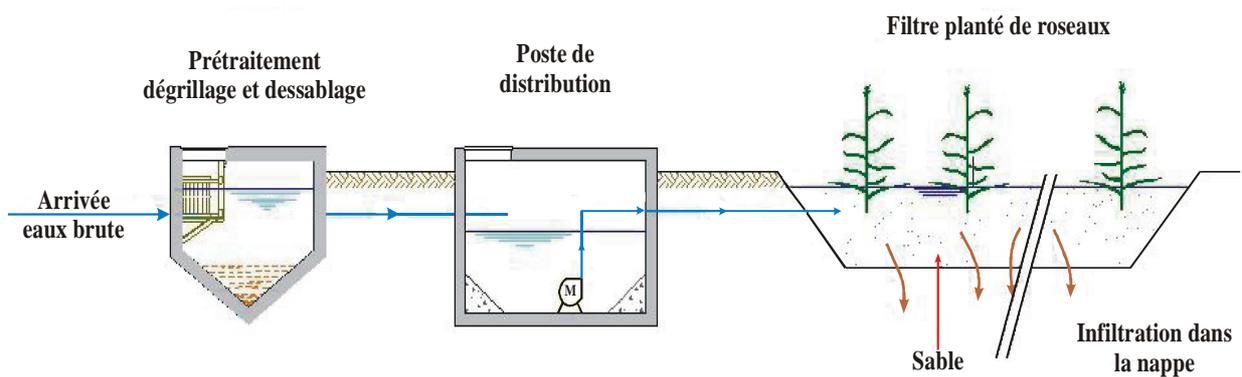


Figure 48. Schéma type d'un système filtres plantés de roseaux (Bonnard & Gardel, 2003b).

III 4.3.2- 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 voir 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) raccordée par Un réseau de 4 stations d'épuration (STEP) est prévu.

- STEP 1: El Oued, Bayada, Kounine, Robbah; (Annexe 1)
- STEP 2: Guemmar, Taghzout, Hassani Abdelkrim, Debila; (Annexe 1)
- STEP 3: Sidi Aoun, Magrane, Hassi Khalifa; (Annexe 1)
- STEP 4: Réguiba; (Annexe 1)

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 49). 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).

Les effluents épurés et non utilisés par l'agriculture seront évacués vers Chott Melghir (l'exutoire naturelle), qui est une zone humide classée. Et le tableau 7 donné les caractéristiques techniques pour les quatre stations de lagunage.

Tableau 7. 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 DBO5 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 (dimensionnés 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 microorganismes. 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 réutilisé 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 bassin 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 débarrassé des microorganismes 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 microorganismes. 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 est atteindre le 80 %.

III 4.3.3- Traitement et aménagement des ghouts et Houds:

L'apparence de problème de remontée des eaux de la nappe phréatique a causé des quantités des eaux consommés toujours et l'utilisation de cette eau de manière irrationnelle, cela a une influence et un impact directe sur les ghouts. Mais il donne le courage et d'accélérer le Défrichement sur les surfaces qui entoure les ghouts après avoir nivelé et aménagé par des engins lourds; pour devenir enfin un autre espace "deux étages" ou plutôt un autre terrain agricole de niveau plus haut que l'ancien (ghout). Ils Conservent le ghout et se palmiers enfoncés, mais créent en surface, 5 ou 15 m au dessus, sur un côté du ghout, une parcelle de maraîchage irrigué et des fruits et les légumes, qui assainit le fond du ghout et double la superficie de l'exploitation. Et malgré que les coûts sont très élevées pour faire l'aménagement de ce système, mais il est considéré comme une solution efficace et qui stabilise et équilibre le niveau des eaux de la nappe phréatique du ghout.

L'on a cru le ghout mort. Cette technique serait devenue obsolète dans le contexte actuel. Ce n'est pas sûr.

D'une part, le ghouts connaît un second souffle en tant que moyen de lutte contre la remontée de la nappe elle-même.

D'autre part, dans les régions hors remontée, l'on continue à créer des ghouts. Le recours aux engins puissants, bulldozer, chargeurs, pelleteuses, permet de suppléer aux problèmes de main-d'œuvre.

Cette solution avait plusieurs avantages, d'un coté on peut conserver le système traditionnel, qu'il présente la durabilité de patrimonial qui utilise l'irrigation traditionnel (la balance), et a cause d'excellent qualité des dattes (Diglet Nour), et d'autre part pour le deuxième niveau le plus haut qu'on irrigue après accumuler des eaux dans des bassins, et on utilise plusieurs méthodes pour l'irrigation différentes du système précédents.

Les opérations des aménagements non diriger seulement vers ce système mais il y'a de durabilités pour réaliser des espaces et des parcelles qu'utilise la même technique des ghouts c'est-à-dire planter les palmeraies où on irrigue ou plutôt alimenter les racines par l'humidité du sol (nappe phréatique) et on peut l'appeler des nouveaux ghouts, et ils sont concentrés dans quelques zones où le niveau des eaux de la nappe phréatiques approche la surface du sol. Cet aménagement est réalisé par des engins modernes comme on a dit avant; la méthode s'appelle BDOURE (Innovation).

Conclusion :

Avec tous ces ouvrages est que on peut sortir de ce problème, pour cela on a choisir la région de Ouargla pour faire une comparaissant avec notre région d'étude.

La cause principale de cette approche comparative entre les deux régions est pour donner une petite idée sur l'avenir de nos structures (le réseau d'assainissement et de drainage, les stations d'épurations et des pompages), mais d'abord il faut savoir la situation générale de la région ou plutôt la cuvette de Ouargla.

IV.1- La situation générale de la cuvette d'Ouargla:

La ville de Ouargla est située dans une dépression appelée « cuvette de Ouargla ». La superficie étudiée est de 163 238 hectares. La cuvette d'Ouargla est située dans le prolongement de l'exutoire naturel du grand bassin versant du Sahara septentrional, l'une des principales oasis du Sahara algérien. Elle est située au Sud-est de l'algérien. Elle se situe, approximativement 800 km de la capitale, et limitée au Nord-est par la wilaya d'El Oued, Nord-ouest par la wilaya de Djelfa, au Sud-est par la wilaya d'Ilizi et à l'Ouest par la wilaya de Ghardaïa. Ses coordonnées géographiques sont : les longitudes 5°15' et 5°25' Est et les latitudes 31°55' et 32°00' Nord (figure 50) (Rouvillois-Brigol, 1975; ANAT, 1995).

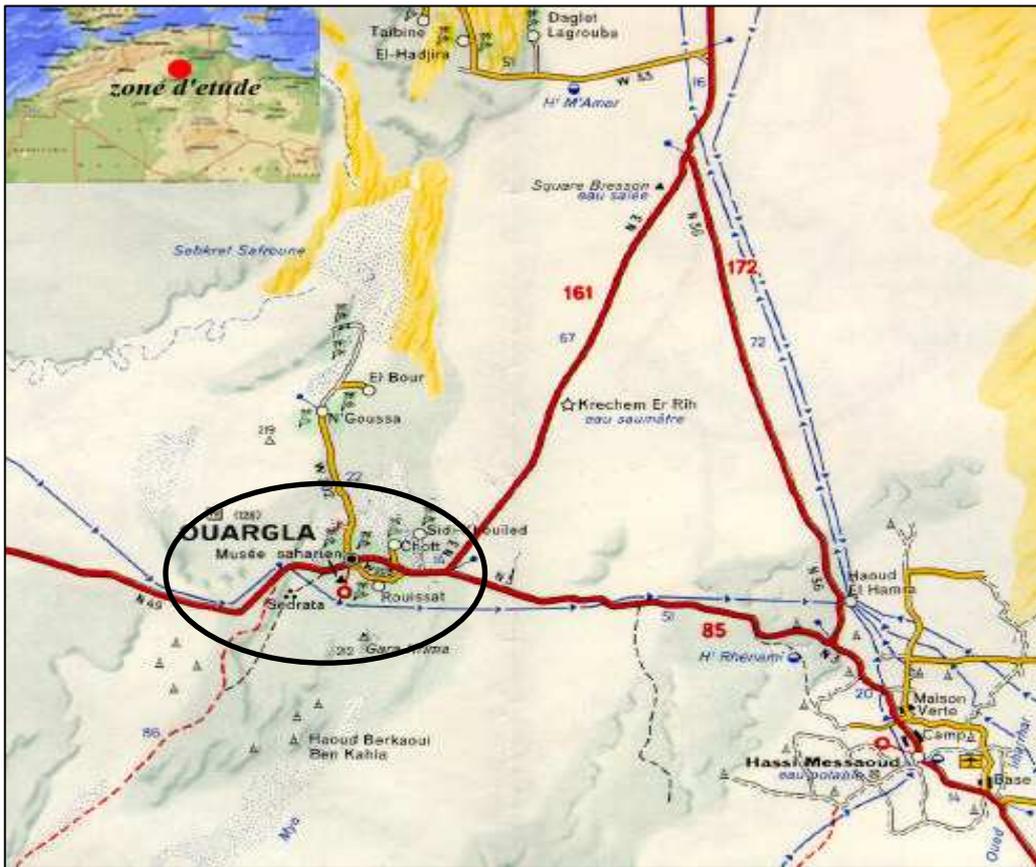


Figure 50. Localisation de la cuvette d'Ouargla.

IV.2-Géologie de la région:

La géologie de la région (figure 51) se caractérise par des formations sédimentaires qui, avec les temps, se sont accumulées dans la cuvette, notamment le continental

intercalaire qui est constitué d'une série gréseuse dont l'épaisseur atteint 2000 m. Cette série détritique forme un important aquifère de 400 m d'épaisseur, reposant sur un substratum correspondant à la série imperméable du cénonanien anhydrique et argileux (Dutil, 1971).

Les crétaqués moyen et supérieur se caractérisent par la mise en place des marnes-calcaires au cénonanien et des calcaires fissurés au turonien. Ce dernier constitue un aquifère (Dutil, 1971). Ces deux couches jouent un rôle fondamental dans le paysage morphologique de la région.

La superposition de la couche résistante, calcaire du turonien, sur les assises tendres du cénonanien donne des formes plus rigoureuses aux extrémités du plateau (Aumassip et al., 1972).

Au tertiaire, la mer se retirant définitivement a laissé des bras de mer, lagune et lacs (Dutil, 1971).

La mio-pliocène repose, quant à lui, en discordance sur le sénonien. Il est constitué d'une alternance d'argiles et de sables où l'on constate deux niveaux perméables séparés par une couche d'argiles.

Le quaternaire se caractérise par des affleurements d'alluvions récents et des dépôts sableux (Aumassip et al., 1972).

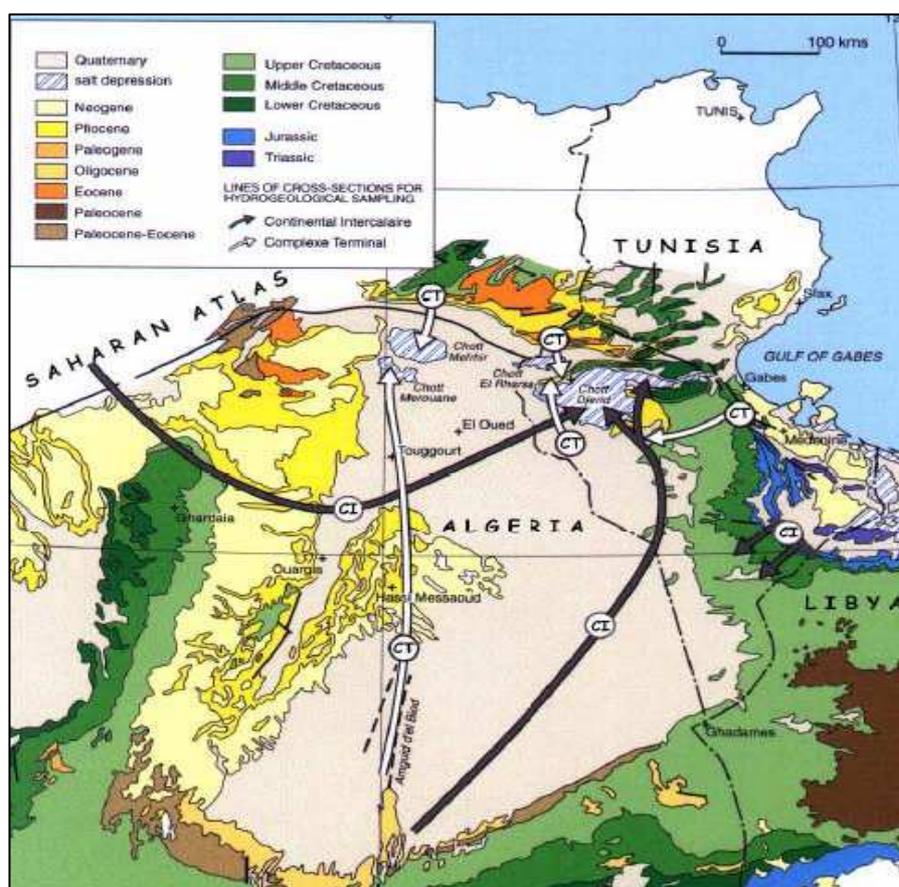


Figure 51. Carte géologique du grand erg oriental (Guendouz et al., 2003).

IV.3- Hydrographie et géomorphologie de la région d'Ouargla:

L'aire de la région de Ouargla est une zone endoréique alimentée au nord par les crues de l'oued N'sa, au sud par l'oued Mya et à l'ouest par infiltration des eaux des oueds

Metlili et M'zab. Elle présente une superficie s'étale sur une longueur d'environ 55 km. La vallée est orientée sud-ouest vers le nord-est. L'agglomération d'Ouargla (altitude moyenne 135 msm) est distante d'environ 90 km de celle de Hassi Messaoud (figure 52).

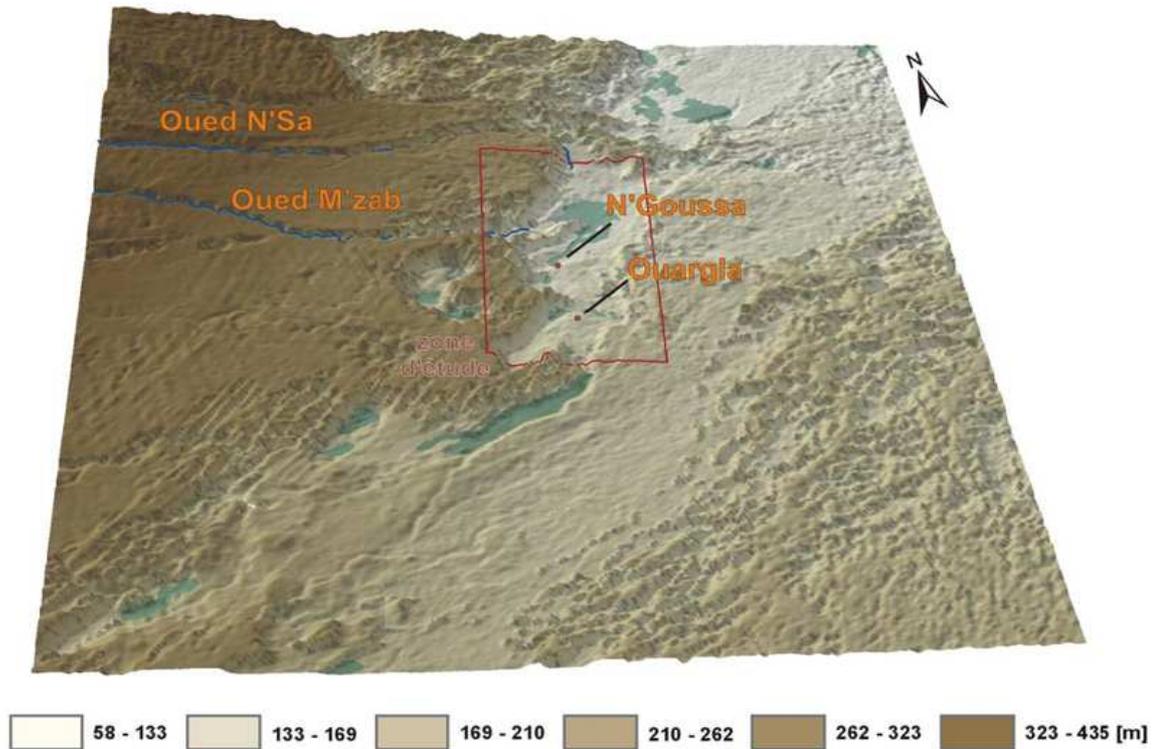


Figure 52. Reliefs de la région de Ouargla (Bonnard & Gardel, 2003c).

Dans la région de Ouargla, le lit de l'Oued Mya d'une largeur variables mais toujours assez modeste (figure 52). A 11 km au sud de l'agglomération, cette largeur est d'environ 4 km, elle atteint ensuite 2 km environ, au niveau de l'Oasis, et à 7 km au nord, elle se rétrécit et devient égale à 6-7 km (Idder T, 1998).

L'oued Mya n'a pu qu'épisodiquement couler de sebkha en sebkha sans beaucoup de vigueur, son cours étant complètement coupé par les reliefs situés à l'aval de la Sebkha Safioune où un lac se formait à nouveau à chaque période un peu pluvieuse.

Et pour la géomorphologie de la région d'Ouargla est constituée des éléments suivants:

- La hamada (plateau où affleurent de grandes dalles rocheuses) Mio-Pliocène et Plio-Quaternaire : formation continentale détritique qui forme des plateaux dont l'altitude est de 200 m en moyenne;
- Les formations sableuses : composées de dunes et de cordons d'erg;
- Les étendues alluviales correspondant au lit de l'oued Mya selon un axe SW-NE;
- Les sebkhas : marécages salés, le plus souvent asséchés, occupant le fond d'une dépression. La plus grande est la Sebkhet Safioune à l'extrémité Nord, c'est aussi le point le plus bas de la région;

IV.4- Présentation climatique:

Ouargla est caractérisée par un climat de type saharien marqué par un été chaud et sec, un hiver plutôt doux, une faible pluviométrie et une forte évaporation. Les précipitations suivent un schéma de type saharien, avec un total moyen des pluies d'hiver de 62 mm (1994-2006). A côté de cela, l'évapotranspiration potentielle s'élève à d'environ 2050 mm/an.

Cette insuffisance de pluies est accompagnée d'une irrégularité très marquée du régime pluviométrique et d'une variabilité interannuelle considérable, ce qui accentue la sécheresse (Ozenda, 1983).

IV.5- Hydrogéologie de la région d'Ouargla:

A Ouargla, comme dans la plupart des oasis du Sahara, les seules ressources hydriques disponibles sont d'origine souterraine. Les formations géologiques de la région de Ouargla contiennent deux grands ensembles de formations aquifères séparés par d'épaisses séries évaporitiques ou argileuses (figure I-8): de la base du crétacé supérieur l'ensemble inférieur appelé le Continental Intercalaire (CI) ou "Albien", et l'ensemble supérieur appelée le Complexe Terminal (CT). Une troisième formation, d'importance plus modeste, s'ajoute aux deux précédentes: la nappe phréatique (Cornet, 1961).

IV.5.1- La nappe profonde de Continental Intercalaire (Albién):

Le premier forage à l'Albien exécuté à Ouargla remonte à l'année 1957 creusé à El Hadeb à l'Est de la région, à une profondeur de 1343 m, la température est de 51 °C, avec un débit aux essais de $330 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, mais il est aujourd'hui inexploitable (Guerre, 1975). Mais par rapport la région du Souf il connaît les eaux artésiennes de complexe terminal (CT) en 1956; c'est-à-dire que les quantités de consommation pour l'irrigation et l'alimentation en eaux potable dans les deux régions sont totalement différentes dans cette période.

Aujourd'hui il existe, dans l'ensemble de la wilaya de Ouargla, 87 forages du Continental Intercalaire, dont 53 forages sont en production (DPAT, 2006).et pour la cuvette de Ouargla on à recensés 9 forages de CI. Ils sont totalement utilisés pour l'irrigation, mais aussi pour couvrir les besoins domestiques et industriels, et pour la demande en eau industrielle est cependant faible, étant donné qu'il n'existe pas d'unités industrielles importantes, donc par rapport Oued Souf le débit d'exploitation de CI est plus moins d'environs trois fois.

Pour les besoins de la modélisation, un historique de l'exploitation de la nappe a été établi. Cet historique qui couvre la période 1957-1998 est basé sur les données UNESCO, l'étude du BRL-BNEDER et les fichiers de l'ANRH (1999) (figure 53).

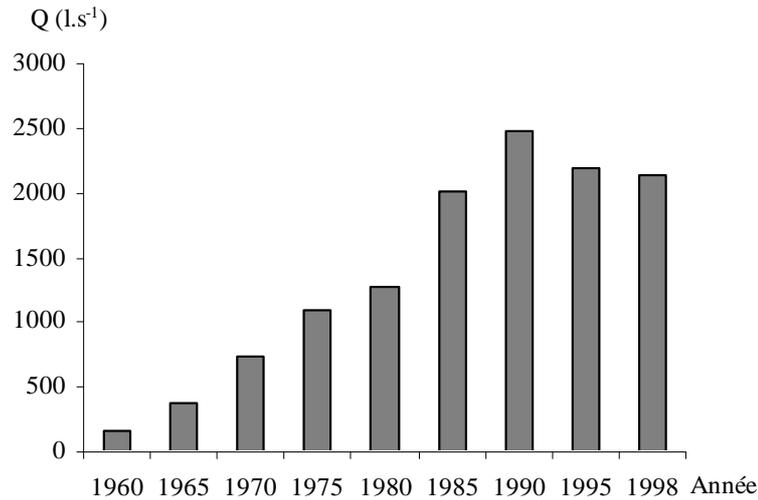


Figure 53. Historique des prélèvements de Continental Intercalaire à Ouargla (BRL-BNEDER, 1999).

D'après la figure précédent, Il est cependant important de constater, que dans les prochaines décennies, la diminution de la réserve de l'aquifère sera d'une conséquence plus importante (Slimani R, 2006).

IV.5.2- La nappe de Complexe Terminal:

Et pour la nappe de complexe terminal, sur le territoire algérien il existe en effet deux formations aquifères. La première est contenue dans les sables du Mio-Pliocène, tandis que la seconde se trouve dans le Sénonien supérieur et l'Eocène inférieur (Sénonien pour Ouargla principalement).

L'exploitation de la nappe du Mio-Pliocène à Ouargla, remonte à un passé déjà lointain (Moulias, 1927). Cette nappe a acquis une réputation légendaire, puisqu'elle a été à l'origine de la création de l'oasis et a permis sa prospérité.

Le premier forage réaliser à Ouargla date de 1883, il a été réalisé par l'administration française (Rolland, 1890).

Au dixième siècle, période où l'oasis a connu l'apogée de sa splendeur, toutes les eaux étaient jaillissantes (Planchet, 1900). Au XIX^é, En 1888, le débit total dont disposait la région d'Ouargla (débit artésien et débit pompé) était d'environ 460 m³.s⁻¹. A cette période, la plupart des puits étaient encore jaillissantes et leur niveau hydrostatique se situait à plus de 5 m au dessus du niveau du sol (Bel, 1969).

L'exploitation de la nappe du Sénonien est en revanche beaucoup plus récente, puisqu'elle remonte seulement à 1953.

La multiplication importante des forages a permis une augmentation très sensible des débits disponibles qui ont atteint 685 m³.s⁻¹ en 1967 pour la nappe du Mio-Pliocène, les débits des forages Sénonien étant négligeables. Cet accroissement a, en revanche, provoqué l'abaissement des niveaux piézométriques: la nappe du Mio-Pliocène est devenue seulement ascendante (Nesson, 1978).

Actuellement, il existe à Ouargla 274 forages du Complexe Terminal sur un ensemble de 657 forages pour l'ensemble de la wilaya (DHW.Ouargla, 2007). Comme pour la nappe du Continental Intercalaire, ces forages sont essentiellement utilisés pour couvrir les besoins domestiques et agricoles. Les débits exploités et exploitables à partir des nappes du CT dans la wilaya de Ouargla sont présentés dans le tableau 8.

Tableau 8. Débits exploités et exploitables à partir des nappes du Complexe Terminal dans la wilaya de Ouargla ($l.s^{-1}$) (Nesson, 1978; Dubost, 1992; Idder T, 1998; Hamdi-Aïssa, 2001).

Année	Débit exploité en ($l.s^{-1}$)
1888	467
1967	702
1991	3450
1994	14 244.5
2004	535680

En 2004, les débits exploités, dans la wilaya d'Ouargla, à partir des deux aquifères du Complexe Terminal ($53,6 m^3.s^{-1}$) seront plus de 4 fois plus importants que ceux qui étaient exploités, en 1970, dans toutes les régions du bas Sahara ($12,6 m^3.s^{-1}$) (UNESCO, 1972b).

IV.5.3- La nappe phréatique:

Et si on parle sur la nappe phréatique (ou traditionnel a cause de l'ancien a relation avec El-Ouarglu) est contenue dans les alluvions de la vallée de l'oued Mya. Elle couvre pratiquement toute la cuvette d'Ouargla.

La morphologie de la surface piézométrique d'une nappe permet d'étudier les caractéristiques de l'écoulement des eaux souterraines. Ainsi, il permet de déterminer à l'échelle de la cuvette, les zones d'alimentations et de drainages, les fluctuations de la surface piézométrique dans le temps permettent aussi de déterminer la variation des réserves en eaux.

Dans le cadre du projet intitulé "Evacuation et drainage des eaux de la cuvette de Ouargla", 160 piézomètres ont été réalisés par l'E.N.A.G.E.O entre 09-1990 et 03-1991.

Plus tard, un programme complémentaire a été lancé durant l'année 1992, ce programme comprend plus de 50 piézomètres réparties sur l'axe Hassi Miloud Bour El Haïcha et au tour de Sebkhet Sefioune.

Les piézomètres installés sont constitués par des tubes métalliques crépinés en profondeur avec un massif filtrant. Les trous sont exécutés par une petite foreuse. Chaque piézomètre de 80 à 100 mm de diamètre et de 5 à 20 m de profondeur. Ils sont protégés en surface par une dalle de béton et une tête métallique.

Les mesures réalisées d'après (Guendouz et *al.*, 1992, ANRH, 1994; Hamdi-Aïssa & Fedoroff, 1997; Hamdi-Aïssa et *al.*, 2000), indiquent que le niveau piézométrique de la nappe est situé entre 0,5 à 1 m dans les palmeraies limitrophes de la sebkha et inférieur à 0,5 m dans la sebkha jusqu'à l'affleurement au centre. Dans l'agglomération et dans les palmeraies, sa profondeur varie, en moyenne, entre 0,5 m et 1,5 m par rapport au niveau du sol, mais dans les zones les plus basses, elle se trouve pratiquement à fleur de sol. En

bordure de la cuvette, on peut en revanche la rencontrer à des profondeurs plus importantes.

Cette nappe est essentiellement alimentée, par les eaux de drainage de la palmeraie et par les eaux résiduaires urbaines.

La nécessité de donner un apport supplémentaire (lessivage) à l'irrigation a contribué davantage à la suralimentation de la nappe, ce qui conduit à la remontée des eaux en surface dans les zones centre (à l'intérieur des palmeraies) ainsi qu'aux périphéries de la région (dépression : chott, sebkhet), causant ainsi, sous l'influence des conditions climatiques la salinisation de ces sols. De plus, le système d'irrigation adopté dans la région contribue aussi à l'alimentation non négligeable de la nappe phréatique, provenant des fuites à partir des ouvrages de distribution et d'irrigation (Touil, 2003).

Le problème est souvent observé dans de nombreuses oasis du Bas Sahara et le cas limite est atteint à El Oued (Marc Cote, 1998), et l'oasis de Ouargla considérer l'une des principales oasis du Sahara algérien souffrir aussi de phénomène de remonter de la nappe traditionnel.

IV.6. L'analyse de phénomène de remontée de la nappe phréatique dans la cuvette d'Ouargla:

Lorsqu'on parle sur le phénomène de remontée des eaux dans la cuvette d'Ouargla c'est-à-dire il faut parler sur la vie et le développement d'oasis des palmeraies dont la cuvette.

IV.6.1- Avant 1957 (date de premier forage Albien):

Comme on a dit avant que les fluctuations du niveau de la nappe phréatique soient étroitement liées à l'histoire des palmeraies, à l'exploitation des ressources en eau artésienne et aux efforts d'assainissement consentis pour lutter contre les nuisances qui en ont résulté.

Voilà plus d'un millénaire que les palmeraies de la « Cuvette » existent grâce d'abord au fameux puits artésien d'Aïn Sfa de l'ancienne cité de Sédrata. Au cours de cette longue histoire ces palmeraies ont disparu "ici" et se sont déplacée "là". Ruinées en un temps et agrandies dans d'autres au gré des vicissitudes de l'histoire (Slimani. R, 2006). La figure n° 54 indique la situation de la palmeraie aux X^e et XII^e siècles.

Les chroniques rapportent qu'en 1881, les fossés entourant le Ksar sont comblés pour lutter contre le paludisme, ce qui indique qu'à cette époque ils étaient remplis d'eau stagnante et que la nappe phréatique était proche de la surface du sol.

Ce n'est qu'en 1949 qu'un effort systématique d'assainissement fut entrepris pour lutter contre le paludisme, il a été construit un véritable réseau de drains aboutissant dans le chott vers la zone déprimée du pied du baten (Dubost, 2002). En suite, en 1950 un premier réseau de drainage important fut réalisé à Beni Brahim, long de 2100 m et profond de 1,5 m drainant 200 ha (Rouvillois-Brigole, 1975).

Mais depuis 1958, le niveau de la nappe phréatique ne cesse d'augmenter à cause des débits d'irrigation qui augmentent brusquement ainsi que le développement de la ville et de l'évacuation d'eau urbaine (Rouvillois-Brigole, 1975).



Figure 54. Les oasis de la cuvette d'Ouargla aux X^e et XI^e siècles (Chatellier, 1883 cité par Lethielleux, 1984).

IV.6.2- Après 1957:

En 1957, le forage Albien I au sud-est du Ksar a servi à la revivification des palmeraies anciennes et à la création de nouvelles plantations. Parallèlement, l'exploitation de la nappe du Mio-Pliocène est développée, le réseau de drainage étendu et rénové. Les eaux de drainage qui se déversent dans le Chott provoquent une élévation sensible du niveau de l'eau en saison froide. En même temps, le développement de la ville et l'évacuation des eaux urbaines provoquent une augmentation du niveau de la nappe phréatique.

La palmeraie d'Ouargla a connu une extension maximum vers 1958 (année de la réalisation du premier forage Albien). Ce développement s'est poursuivi avec le début du pompage de la nappe Mio-pléocène en 1962. A cette date la surface moyenne de la palmeraie était estimée à 2321,04 ha environ. Toutefois les premiers travaux de drainage se situent entre 1949 et 1952. A partir de 1971 et suite à l'exode rurale et une démographie galopante urbaine (de la ville de Ouargla), les premiers signes de destruction de la palmeraie au profit de l'urbanisation ont fait leur apparition. L'un des faits marquant, est la réalisation de certains grands projets dans la palmeraie, à savoir le projet de l'hôpital Boudiaf, la construction du stade 24 février et l'apparition de quartiers résidentiels. Les cités de Gharbouz, de Gara Nord et les lotissements Saïd Otba occupent une superficie dépassant 180 ha. Ajoutons à ce phénomène, la saturation du chott; lieu de rejet de toutes les eaux de l'agglomération qui a provoqué la destruction d'une partie de la palmeraie vers le début des années quatre-vingt (Touil, 2003).

Le problème est d'abaisser le niveau du Chott et celui de la nappe phréatique de façon à mieux drainer les palmeraies tout en permettant la mise en place d'un réseau d'assainissement efficace (Rouvillois-Brigol, M. 1975).

En 1956, l'année de démarrage des travaux d'installer une éolienne d'exhaure qui permettait d'évacuer l'eau dans la sebkha d'Oum Raneb. Le débit de 120 m³/h s'est révélé insuffisant et deux groupes motopompes ont été adjoints à l'éolienne portant le débit total à 255 m³/h. Ce débit étant toujours insuffisant, d'autres solutions sont envisagées : bassin évaporatoire dans le Chott et les sebkhas, pompage et évacuation vers la sebkha d'Oum Raneb et déjà vers la Sebkhet Safioune.

D'après la carte piézométrique en avril-mai 1968 on trouve que La surface de la nappe forme un dôme culminant à la cote de 134,5 m sous le quartier Duprez avec une pente régulière en direction des chotts où elle n'atteint plus que la cote 128 m et même 127 m tout au nord (figure 55).

Les lignes de courant, perpendiculaires aux isopièzes, indiquent nettement un écoulement radial depuis ce point haut en direction des canaux de drainage ceinturant la ville au nord, et aussi de zones sableuses situées au sud. On ne peut expliquer cette situation singulière que par une alimentation de la nappe phréatique à partir de son point haut sous les immeubles du quartier Duprez et un drainage par le chott.

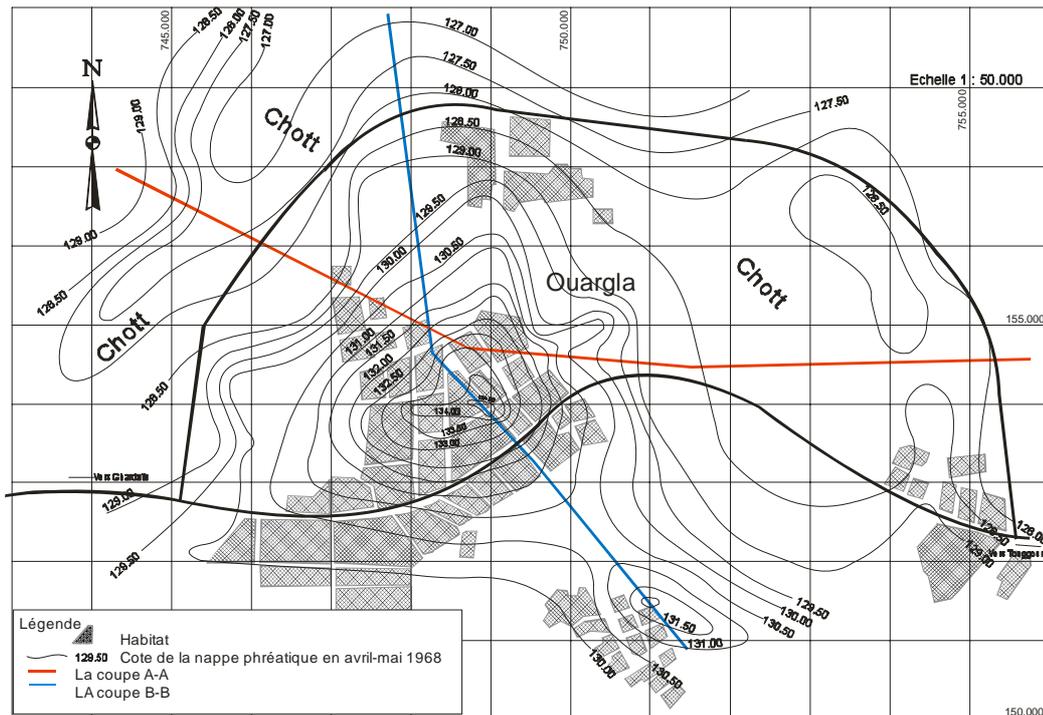


Figure 55. Carte piézométrique de la nappe phréatique en avril-mai 1968 (Bonnard & Gardel, 2001c).

La nappe phréatique est à une profondeur de 0,75 m à 2 m sous la ville (Figure 56b), avec une variation très faible (quelques centimètres) entre août 1968 et Avril – Mai de la même année et inférieure à 0,5 m sous la palmeraie de Beni-Sissin et d’une partie de celle de Beni-Brahim (Figure 56a), ce qui est nettement insuffisant pour les cultures dont le rendement optimum dépend essentiellement d’un bon drainage, d’un bon lessivage et d’un volume d’irrigation suffisant.

L'alimentation de la nappe phréatique ne peut pas se faire naturellement à partir des nappes plus profondes. La nappe du Mio-Pliocène présente un niveau piézométrique inférieur à celui de la nappe phréatique dans toute cette zone haute. On pourrait envisager la nappe du C.I (Continental intercalaire ou Albien) qui présente un niveau piézométrique nettement plus élevé d’environ 200 mètres, mais pour alimenter la nappe phréatique, les eaux devraient traverser les nappes du CT (Complexe terminal), dont le Mio-Pliocène, qu’elles mettraient en charge et aux eaux desquelles elles se mélangeraient, ce qui n’est pas le cas. L’alimentation de la nappe phréatique ne peut provenir que d’une cause anthropique : les eaux d’irrigation des palmeraies et eaux urbaines.

La carte piézométrique établie d'après E.N.A.G.O en 1992 (figure 57), montre que le sens d'écoulement des eaux de la nappe phréatique suivre la direction d'écoulement d'Oued Mya c'est-à-dire s'effectue du Sud au Nord, suivent la pente générale de la vallée, le premier, un écoulement vers le Nord (Sebkat Safioune), et le second écoulement vers le Sud-Ouest vers la sebkha de Ouargla.

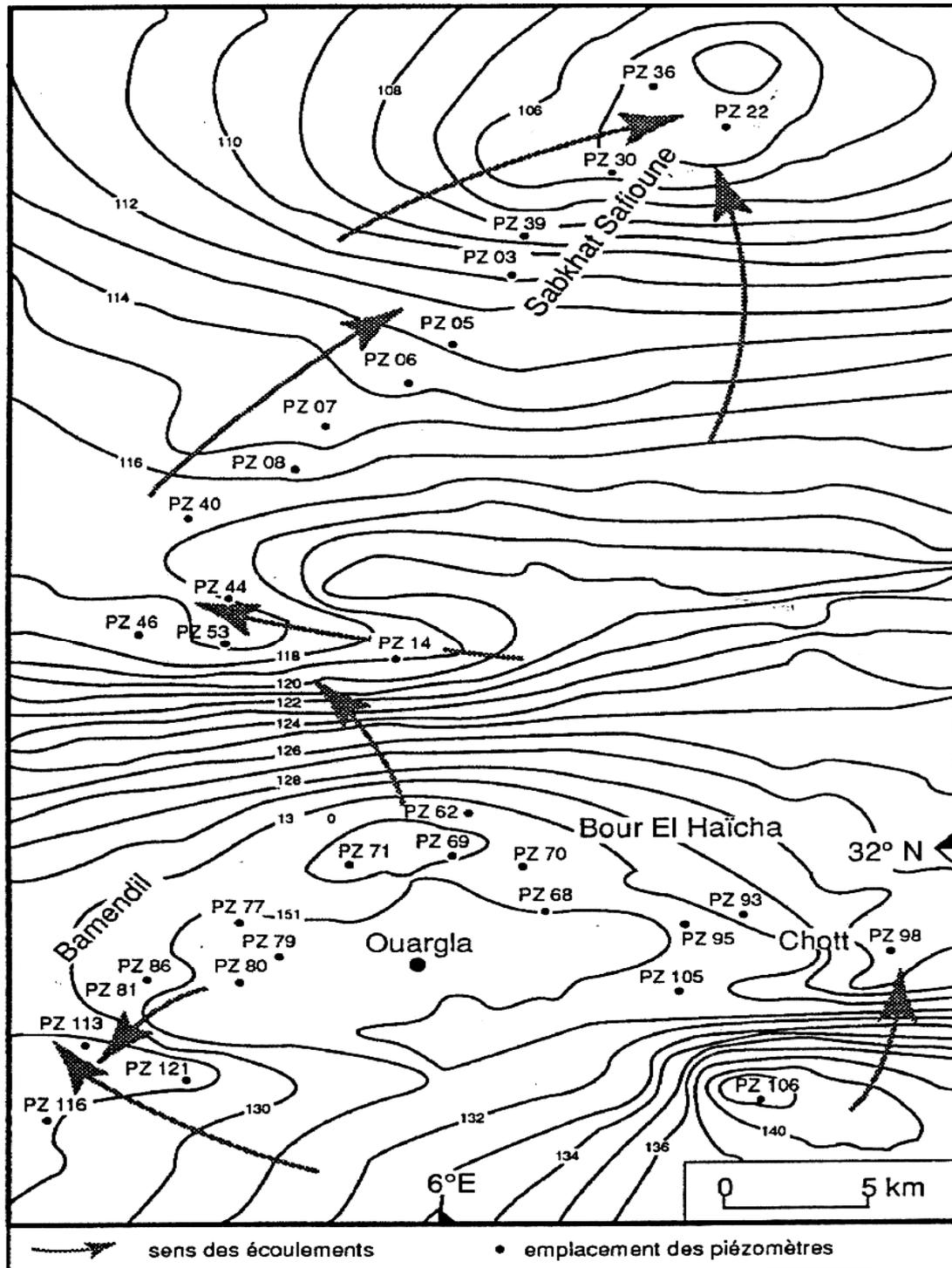


Figure 57. Carte piézométrique de la nappe phréatique de la cuvette d'Ouargla, (l'ENAGEO in Guendouz et al., 1992).

Et le tableau 9 nous donne une vue générale sur la profondeur des eaux de la nappe phréatique d'après plusieurs études des auteurs et compagnies.

Tableau 9. Niveau de profondeur des eaux de la nappe phréatique par rapport à la surface du sol dans la cuvette de Ouargla (m).

N° Piézomètre	Hiver 1968 Lelièvre (1969)	Mai-92 Gandouz et <i>al.</i> , (1992)	1994 ANRH	1995 ANRH	20/11/1996 ANRH	26/02/1996 Hamdi- Aïssa
PZ1	1,8	-	-	-	-	2
PZ13	3,2	-	-	-	-	1,35
PZ15	-	-	-	-	-	4,9
PZ25	-	-	-	-	-	5
PZ3	0,6	-	-	-	-	0,4
PZ33	2	-	-	1,93	-	1,5
PZ35	1	-	-	-	-	2
PZ6	1	-	-	-	-	0
PZ9	1,1	-	-	-	-	0,63
PZ100	7,7	-	4,19	4,29	-	-
PZ103	-	-	8,35	8,35	-	-
PZ104	0,7	0,36	0,59	-	-	0,67
PZ110	9,8	-	7,03	-	-	7,7
PZ113	-	-	3,33	3,28	-	-
PZ168	-	-	-	4,9	4,76	4,5
PZ63	-	2,29	1,93	1,8	-	1,85
PZ67	1,2	0,88	0,92	0,92	0,99	-
PZ84	1	2,3	1,96	1,75	2,11	-
PZ86	-	1,03	0,87	1,11	-	1
PZ88	0,9	-	0,81	0,84	0,96	0,95
PZ59	-	10,24	10,35	10,55	8,3	0,85

Et selon l'étude la plus récente de Bonnard & Gardel où on trouve que la nappe phréatique a été étudiée lors des quatre campagnes de mesures, en octobre 2001, avril 2002, octobre 2002 et novembre 2003. Le niveau piézométrique est ainsi connu avec précision depuis le piézomètre P 413 dans une plantation de Kréma, 8 km au sud de Ouargla, jusqu'à la Sebkheth Safioune, 40 km au nord.

En octobre 2002, la surface libre de la nappe se situait à la cote 135,08 m au PL 31 en ville d'Ouargla, dans l'enceinte du Centre Culturel et 134,65 m au P 413, tout au sud, pour les points les plus élevés. La cote était de 127,95 m au P 068 entre le Chott et la sebkheth d'Ouargla, 7 m plus bas que ces points. Les points les plus bas sont situés dans la Sebkheth Safioune, tout au nord, avec des cotes comprises entre 102,19 m et 102,95 m, inférieures de 32 m à celles des points les plus hauts et 25 m plus bas qu'au Chott.

D'après la carte de niveau piézométrique de novembre 2003 (Figure 58) la nappe s'écoule librement des points hauts vers les points bas, perpendiculairement aux isopièzes et n'a aucune possibilité de remonter de la Sebkheth Safioune vers le Chott de Ouargla ou la sebkheth d'Oum Raneb.

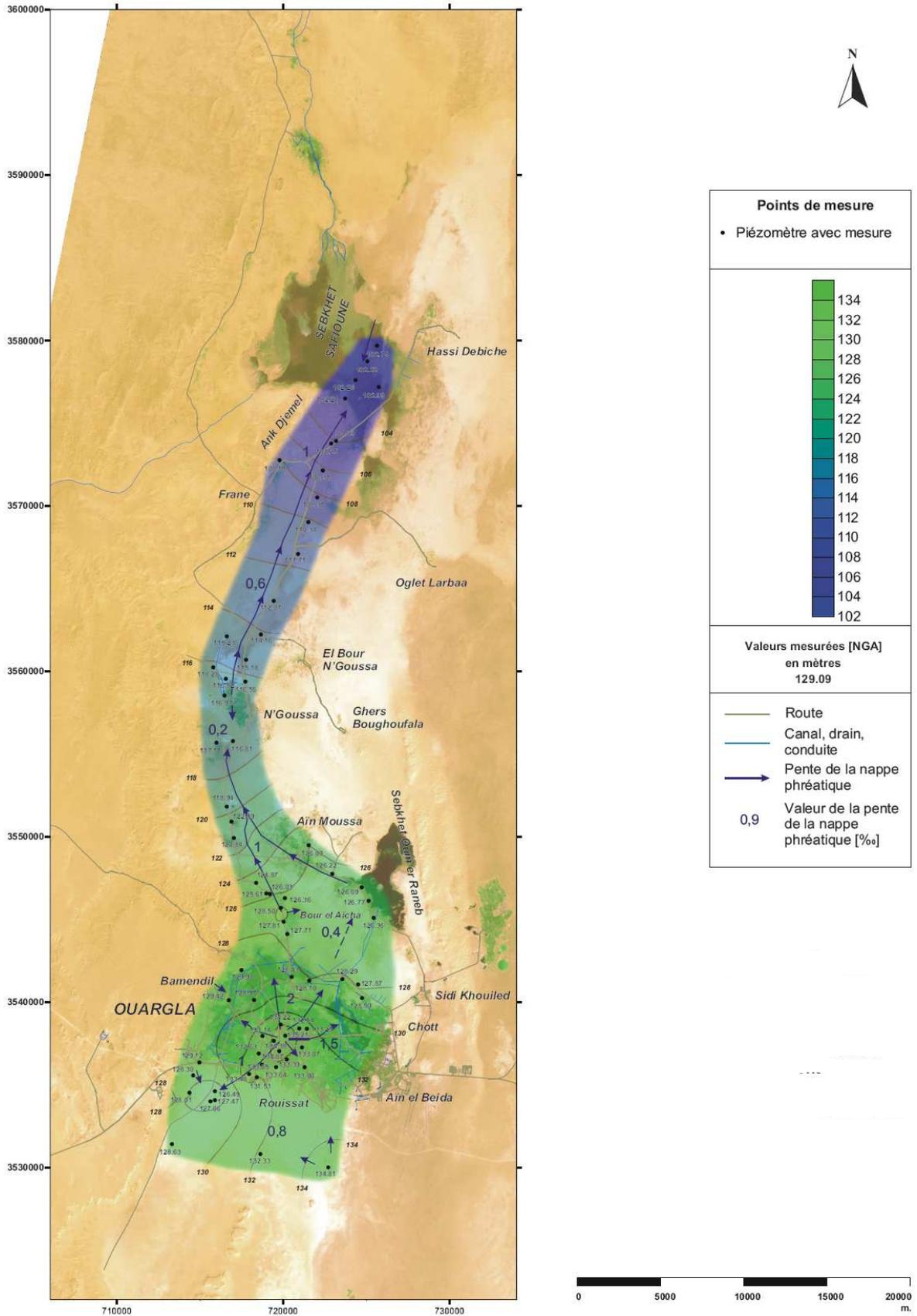


Figure 58. Carte piézométrique de la nappe phréatique en novembre 2003 (Bonnard & Gardel, 2003c).

Les parties hautes de la nappe phréatique sont situées au sud et sous la ville d'Ouargla. Elles sont représentées en vert sur la carte. Les parties basses de la nappe phréatique sont représentées en bleu. Elles sont situées au nord dans la Sebkhet Safioune pour les plus basses.

Les cotes principales sont : 134 m au sud ; 135 m en ville de Ouargla ; 128 m au Chott et à la sebkha ; 127 m à la sebkha d'Oum Raneb ; 117 m à N'Goussa et 102 m à la Sebkhet Safioune

Le niveau de la nappe phréatique est réglé par un équilibre entre les entrées et les sorties. Les entrées sont principalement constituées par les eaux pour l'irrigation et l'AEP (provenant des nappes artésiennes profondes), des rares crues des oueds M'Zab et Oued N'Sa et des arrivées d'eau provenant des flancs de la vallée. Les sorties sont essentiellement dues à l'évapotranspiration de la végétation, à l'évaporation des eaux de la nappe remontant par capillarité (lorsque la nappe phréatique est peu profonde) et par l'écoulement vers les points bas constitués par le Chott et les sebkhas.

Lorsque les entrées sont supérieures aux sorties, la nappe monte et remplit dans un premier temps les pores des terrains sus-jacents. L'ascension capillaire est ainsi facilitée et l'évaporation augmente, ce qui tend à stabiliser son niveau.

Et d'après l'étude de Centre de développement des Techniques nucléaires (CDTN) en 1992, on trouve que les eaux de la nappe phréatique montrent de grandes variations. Dans le Chott et les sebkhas, elles présentent des caractéristiques évaporées. Dans les autres points, elles présentent un mélange d'eaux profondes, d'une fraction d'eaux évaporées et d'eaux récentes provenant des précipitations.

Dans un deuxième temps, principalement lorsque l'évaporation est faible en hiver, la nappe peut affleurer dans les endroits bas et former des étendues d'eau libre, dans les chotts et les sebkhas où elle s'accumule. Lorsque la température augmente, l'eau s'évapore, laissant des évaporites (gypse, sel, etc...) sur place.

D'après les analyses des profils de sondages électriques effectués d'après l'E.N.A.G.O on trouve que la nappe phréatique est épaisse de 1 à 8 m. Elle repose sur un épais niveau imperméable, étanche, qui occupe tout le fond de la vallée de Ouargla et l'isole des nappes artésiennes sous-jacentes.

Mais toujours on reste liée avec les Oasis des palmeraies qui donnent une vue générale sur les zones irriguées, où la figure n° 59 est une analyse de la palmeraie telle qu'elle apparaît aujourd'hui. On remarquera que la palmeraie a pratiquement disparu au Sud de Ouargla et s'est développé ou concentrée au Nord de la ville.

La surface totale de la palmeraie de la ville est de 232 104 ha. On signale une perte en surface d'environ 180 ha durant ces dernières décennies (Touil, 2003).

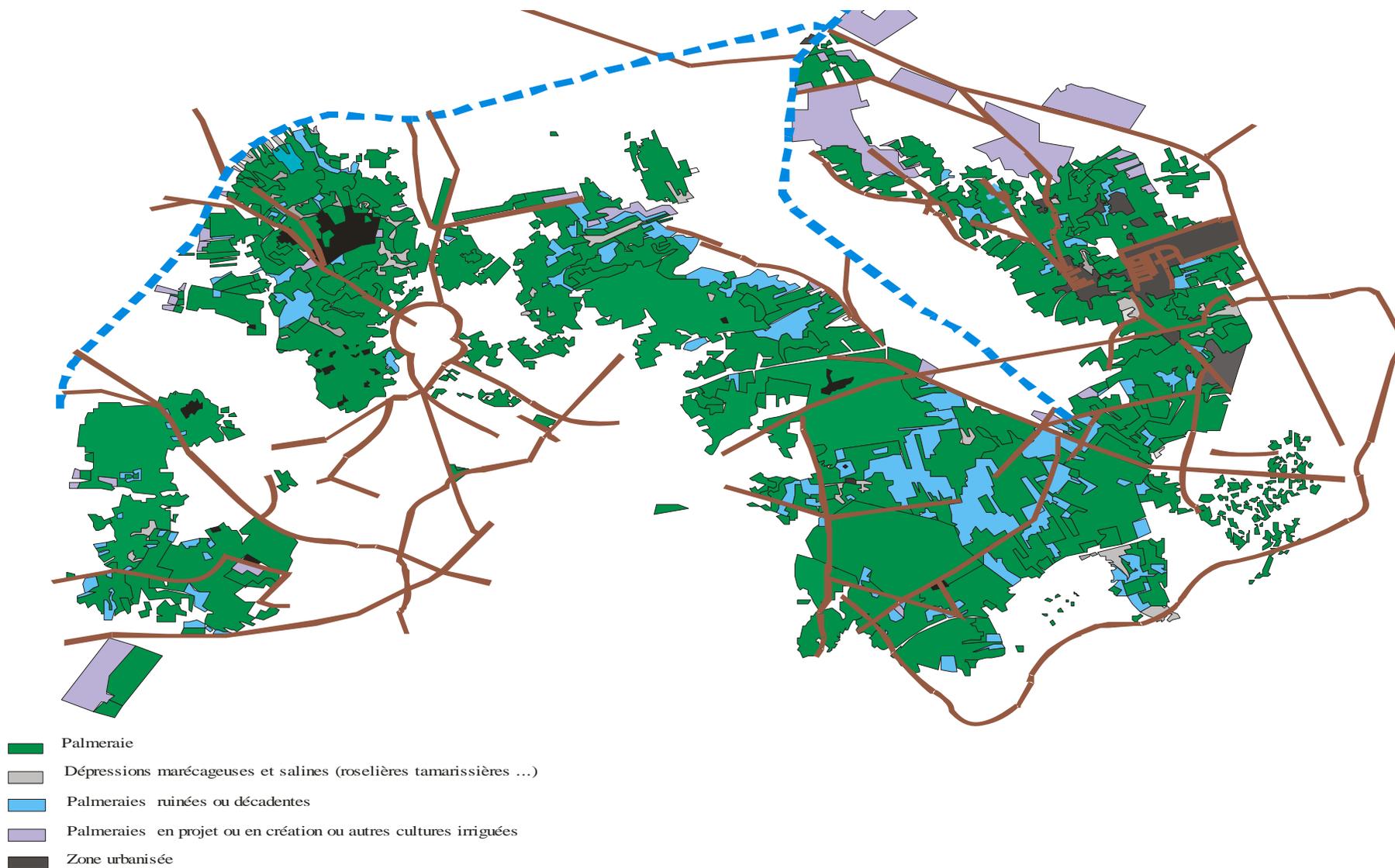


Figure 59. La répartition actuelle des palmeraies de la cuvette de Ouargla, (Bonnard & Gardel, 2003f).

* La ville d'Ouargla, comme certaines villes du Sahara algérien (Oued Souf) est affectée par le phénomène de la remontée de la nappe superficielle. Dans les points bas de la ville, des flaques d'eaux usées ont tendance à s'accumuler. Dans cette partie du travail nous mettrons en évidence l'origine de ces eaux rejetées; c'est-à-dire l'état des réseaux d'assainissement urbaine et de l'assainissement agricole.

IV.7- Système du drainage de palmeraie de la cuvette:

Le réseau de drainage est composé essentiellement des eaux d'assainissement et d'irrigation. Il a évolué énormément depuis 1968, sa longueur est, en 1949 atteindre 16 km de collecteurs; ce chiffre a été porté à 57,5 km en 1952. Et pour les années 90 passée de 49 150 m à 66 650 m, avec une répartition plus développée au sud de la cuvette (Abdel-Rahman, 1998). Par rapport un réseau de drainage réaliser en 2001 avec d'environ de 4 km de longueur dans la région du Souf, on peut dire que la cuvette de Ouargla avancée par d'environ quarante d'années.

Actuellement, le réseau de drainage s'étend sur une longueur totale d'environ 80 km (Bonnard & Gardel, 2001c). Un canal collecteur à ciel ouvert, d'une longueur égale à 10,5 km traverse la sebkha de Bamendil ainsi que toute la partie Nord de Ouargla. Créant une ceinture de clôture à l'ancienne palmeraie de Ouargla, ce drain n'a pas été réalisé suivant les normes requises puisque l'étude propose une largeur de drain a 12 m et non pas à 6 m, comme c'est le cas actuellement. Le drainage à l'intérieur des palmeraies est assuré par des drains à ciel ouvert d'une profondeur de 0.5 à 1 m, ces drains menant les eaux d'assainissements urbains et agricoles jusqu'aux zones de rejet formé par les chotts (figure 60). A l'aval du réseau de drainage des communes d'Ouargla-Ain El-Baida et Rouissat, une station de pompage assure l'évacuation des eaux drainées vers chott Oum Raneb située à 8 km vers le Nord Ouest de la ville d'Ouargla, le débit évacué est de 45 000 m³/j.



Figure 60. Drain horizontale à ciel ouvert traverse les oasis de palmeraies (Photo Slimani. R, 2006)

Les difficultés de drainage constituent une des contraintes majeures des palmeraies de la région. L'étude menée ainsi que les observations faites sur l'état actuel des réseaux de drainage, montrent que la majeure partie des canaux sont inefficaces et à faibles capacité

d'évacuation des eaux excédentaires de l'intérieur des palmeraies. Dans les palmeraies, les drains, appelés Khandegs, quand ils existent, sont mal réalisés et leur hiérarchie est souvent aléatoire (de point de vue dimensionnement: écartements, profondeur et pente).

A cette mauvaise organisation, s'ajoute un manque flagrant d'entretien. Le réseau est totalement délaissé et livré à lui-même et les mauvaises herbes (dise, roseaux) ont proliféré, gênant ou obstruant parfois totalement, les écoulements. Dans beaucoup de parcelles, les drains secondaires n'aboutissent nulle part et se perdent au sein même des palmeraies où ils donnent naissance à des eaux stagnantes. Les difficultés de drainage sont également dues à la position topographique qu'occupent certaines palmeraies par rapport aux sols de l'oasis. Les anciens agriculteurs Ouarglis, sont obligés d'installer dans les bas-fonds pour garder l'artésianisme. Ces jardins en bas-fond, n'ont pu être drainés convenablement et ont fini par s'engorger d'eau. La mise en place du canal collecteur a effectivement permis une amélioration de la situation: un rabattement important de la nappe phréatique avoisinant ce drain a été obtenu autour des zones traversées par le canal, et la sebkha de Bamendil a été pratiquement asséchée. Mais, c'est la partie Est et Nord-est de la cuvette, recevant la quasi-totalité des eaux drainées, qui se trouve aujourd'hui totalement engorgée.

Afin d'avoir une estimation approchée des volumes d'eau de drainage à évacuer, nous allons comparer les apports, constitués par les débits d'eau d'irrigation (I) utilisés dans chaque secteur (Annexe 2), les précipitations (P) et l'évapotranspiration potentielle (ETP), puisque celle-ci correspond sensiblement aux besoins d'eau maxima des cultures, lorsque celles-ci sont bien alimentées. Etant donné que les apports dus aux précipitations sont négligeables, puisqu'ils ne représentent que 2,5 % environ des besoins (Idder, 1998).

Il est évident qu'une partie, plus ou moins importante, du débit utilisé pour l'arrosage va servir au lessivage ou sera perdue dans les canaux d'irrigation. L'excédent qui est pris en compte englobe l'ensemble des volumes liés, à l'excédent d'arrosage, et aux pertes. (Tableau 10).

Tableaux 10. Débits de drainage, estimé, par secteur dans la palmeraie d'Ouargla.

Zones	Débit mobilisable par forage (m ³ .j ⁻¹)	Débit mobilisable par pompage (m ³ .j ⁻¹)	Débit consommé (m ³ .j ⁻¹)		Débit de drainage (m ³ .j ⁻¹)	
			Hiver	Eté	Hiver	Eté
ITAS	4752	4320	1080	1852	324	555,6
Bamendil	11232	6480	3312	3456	993,6	1036,8
Mekhadma	26784	18144	11664	12312	3499,2	3693,6
Beni Brahim	34301	23674	8010	10214	2403	3064,2
Said Otba	6480	5184	2376	2700	712,8	810
Beni Ouaguine	7085	5184	2036	2696	610,8	808,8
Beni Sessine	19526	13738	5856	6954	1756,8	2086,2
Beni Thour	14170	11146	4283	4777	1284,9	1433,1
Rouissat	45187	30240	13978	14102	4193,4	4230,6
Ain Bieda	20909	13824	6902	6902	2070,6	2070,6
Adjadja	17712	12874	8197	8197	2459,1	2459,1
Chott	40262	28512	13417	13914	4025,1	4174,2
Total	248400	173320	81111	88076	24333,3	26422,8

IV.8- Assainissement urbain:

IV.8.1- Réseau d'assainissement:

Le réseau d'assainissement urbain de la ville d'Ouargla est de type unitaire. Il couvre actuellement les trois communes : Ouargla, Rouissat et Ain Beida. Il dispose de deux systèmes de raccordement d'égout d'une part et des dispositifs d'assainissement autonomes pour le reste des habitants d'autre part.

La proportion de raccordement au réseau public pour les trois communes concernées est répartie comme suite :

- 70 % pour Ouargla;
- 50 % pour Rouissat;
- 80 % pour Ain Beida (Bonnard & Gardel, 2003c);

Le réseau d'assainissement de la ville s'étend sur une longueur de 135 km (par rapport un réseau de 23 km dans le Souf), dont les diamètres varient de 200 mm pour les canalisations secondaires à 1800 mm pour les collecteurs principaux (Tableau 11).

Tableau 11. La répartition des longueurs des collecteurs par diamètre et matériau (Bonnard & Gardel, 2001c).

Types Diamètre (mm)	CAO	PES	PVC	AC	Inconnu	Total
200	0	0	2 619	493	619	3 730
250	80	0	13 649	737	4 085	18 551
300	2 387	62	847	0	475	3 771
400	6 155	9 868	297	2 119	760	19 198
500	9 962	4 486	0	1 749	243	16 441
600	2 306	2 689	0	0	355	5 350
700	9 743	203	0	0	222	10 169
800	2 077	0	0	0	134	2 211
1100	1 341	0	0	0	0	1 341
1800	65	0	0	0	0	65
Total	34 116	17 309	17 412	5 098	6 894	80 828

Où

- CAO : Conduite en béton armé;
- PES : Conduite fibre de verre;
- PVC : Conduite polyéthylène;
- AC : Conduite en amiante ciment.

Les contraintes topographiques rendent impossible la réalisation d'un réseau à écoulement gravitaire, puisque Ouargla se trouve dans une cuvette. Pour cela il existe 20 stations de pompage opérationnelles sur l'ensemble du réseau, dont 9 fonctionnent comme station de refoulement (figure 66).

Il apparaît que seulement 67 % des habitations de l'agglomération sont raccordés au réseau. Les autres habitations disposent de systèmes d'assainissement autonome (Bonnard & Gardel, 2003e).

Toutes situations confondues et tous diamètres pris en compte, on estime que le tonnage de matières actuellement piégées dans les réseaux est évalué à 8000 m³ (figure 62). Sur le réseau principal, 29 % du linéaire est colmaté à plus de 50 %. La statistique incluant la totalité des collecteurs (c'est-à-dire incluant tous les réseaux tertiaires et les branchements) porte cette proportion à plus de 40 % (figure 61).

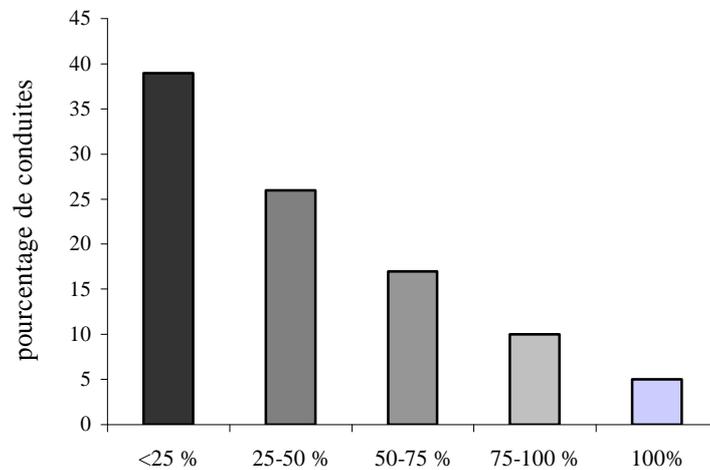


Figure 61. Taux de colmatage du réseau (Bonnard & Gardel, 2001c).

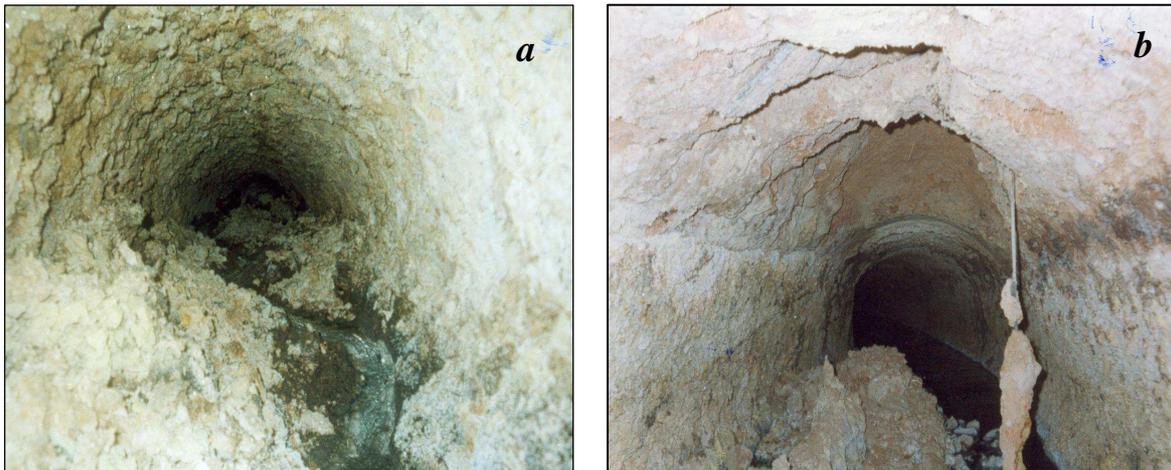


Figure 62. Conduite obturée (a) et dépôts importants et attaque des parois du conduit (b) (Bonnard & Gardel, 2001c).

La dénivelée totale entre le point haut du Ksar et le niveau du chott est de 9 m seulement; pour un site qui s'étend dans ses grandes dimensions de 5 km d'Est en Ouest et de 8 km du Nord au Sud. Cette contrainte naturelle a obligé que la réalisation des collecteurs, qui pour couler gravitairement, doivent avoir de la pente et donc progresser en profondeur. Deux chiffres résument l'ampleur des anomalies sur le réseau principal: 15 % des tronçons coulent à contre pente et 55 % ont une pente inférieure à 5 ‰, les figures n° 61 et 62 résument cette situation.

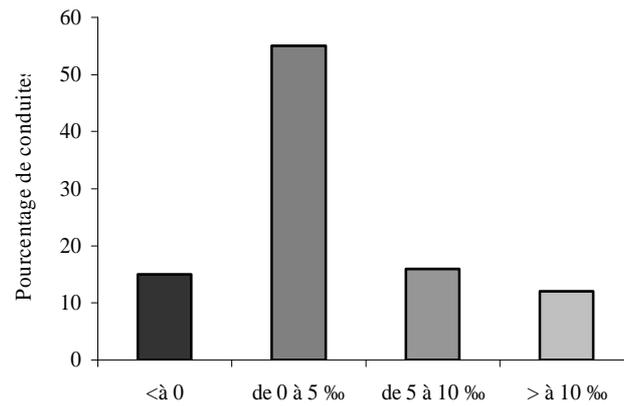


Figure 63. Pente des collecteurs (Bonnard & Gardel, 2001c).

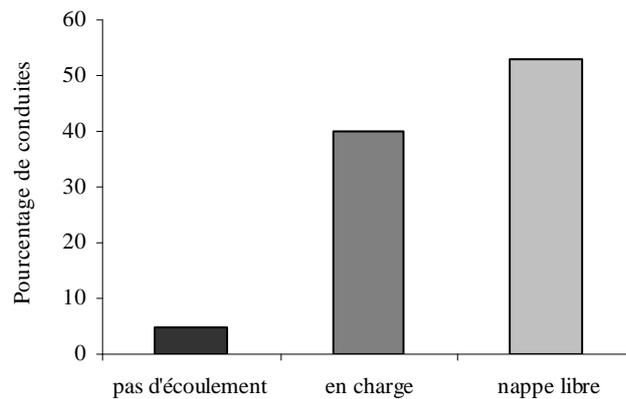


Figure 64. Etat de l'écoulement dans les collecteurs (Bonnard & Gardel, 2001c).

A noter que des intrusions d'ordures ménagères dans les regards n'ont été observés que rarement et que les matières de bouchage sont plus souvent des reliquats de travaux de chantier et bien sûr du sable ; accessoirement des tiges en bois introduites par les enfants dans les regards (figure 65)

Débordements de surface : même la presse souligne la chose tant cet état de fait est courant et visuellement évident (sans parler évidemment des impacts sanitaires). De grandes étendues des eaux usées (plusieurs dizaines de m²) s'étalent sur chaussée suite au débordement d'un regard (figure 65), les véhicules contournent plus ou moins l'obstacle mais des aérosols sont libérés dans l'atmosphère et il n'est pas rare de voir des animaux s'abreuver à ces eaux.



Figure 65. Regard sans tampons obturés par les eaux usées et le sable et le Débordement près de la SR Mekhadma.

IV.8.2- Stations de pompage:

La situation générale des stations de pompage (figure 66), est dans un état critique, que ce soit le génie civil, les équipements ou la nature très sableuse du milieu naturel (action des vents de sable sur les pompes qui sont mal protégées). Et pour les pompes, les colonnes montantes, les accessoires, les conduites de refoulement aussi sont obstrués et/ou encrassés. Cela a entraîné des fuites entre la pompe et la colonne montante. D'une manière générale aucune station n'est convenablement entretenue, l'absence systématique de grillage ainsi que la présence de dépôts importants dans les bâches.

Tableaux 12. Le débit d'eau journalière rejetée de quelques stations (m³).

Stations de pompage	Surface (m ²)	Hauteur utile (m)	Débit pompé (m ³ .h ⁻¹)	Débit journalier total m ³ .j ⁻¹
Ouargla	-	-	648	15552
Rouissat	30	4,5	61,92	1486,08
Chott	14	2,5	52,5	1260
Ain Beida (figure 66)	27	3	121,5	2916
Saïd Otba	18	3,5	108,79	2611
Station principale du chott (figure 66)	-	15	3240	77760

Tableau 13. Différents débits de chaque ensemble.

Ensemble	Débit estimé (m ³ .j ⁻¹)	Débit réel (m ³ .j ⁻¹)	Remarque
Ouargla	17250,1	15552	Le débit réel est celui du fonctionnement de la pompe.
Rouissat	8645,98	1486,08	Le débit réel est celui du fonctionnement de la pompe.
Bamendil	1519,28	1769,8	Le débit réel est obtenu par la méthode de déversoir plus celui du fonctionnement de la pompe de Bouameur.
Chott	886,76	1260	Le débit réel est obtenu par la méthode du volume pompé.
Ain Beida	2903,18	2916	Le débit réel est obtenu par la méthode du volume pompé.
Haï El Nasr	976,36	-	Non mesuré vu sa situation (débordement de bassin dit de décantation).
Route de Ghardaïa	790,72	-	Non mesuré vu la stagnation des eaux (pas d'écoulement).
Saïd Otba	2611	1451,52	Le débit réel est celui du fonctionnement de la pompe.
Oum Raneb	-	77760	Le débit réel est obtenu par la méthode du volume pompé.

Les volumes d'eau excédentaires, provenant des eaux de drainage et des eaux urbaines non traitées, apparaissent à des quantités très importantes. Le volume d'eau de drainage s'élève à environ 18,52 millions de m³ par an, il est essentiellement dû à la surexploitation des eaux pour irrigation pendant la période hivernale (Tableaux XIII). Ce volume serait suffisant pour combler les déficits d'irrigation observés pendant la période estivale.

Le volume des eaux urbaines, beaucoup moins important que celui des eaux agricoles, est évalué à environ 2,83 millions de m³ par an (Touil, 2003).

Par conséquent, on enregistre au total, chaque année, plus de 12 millions de m³ d'eaux usées qui rejoignent la nappe superficielle.

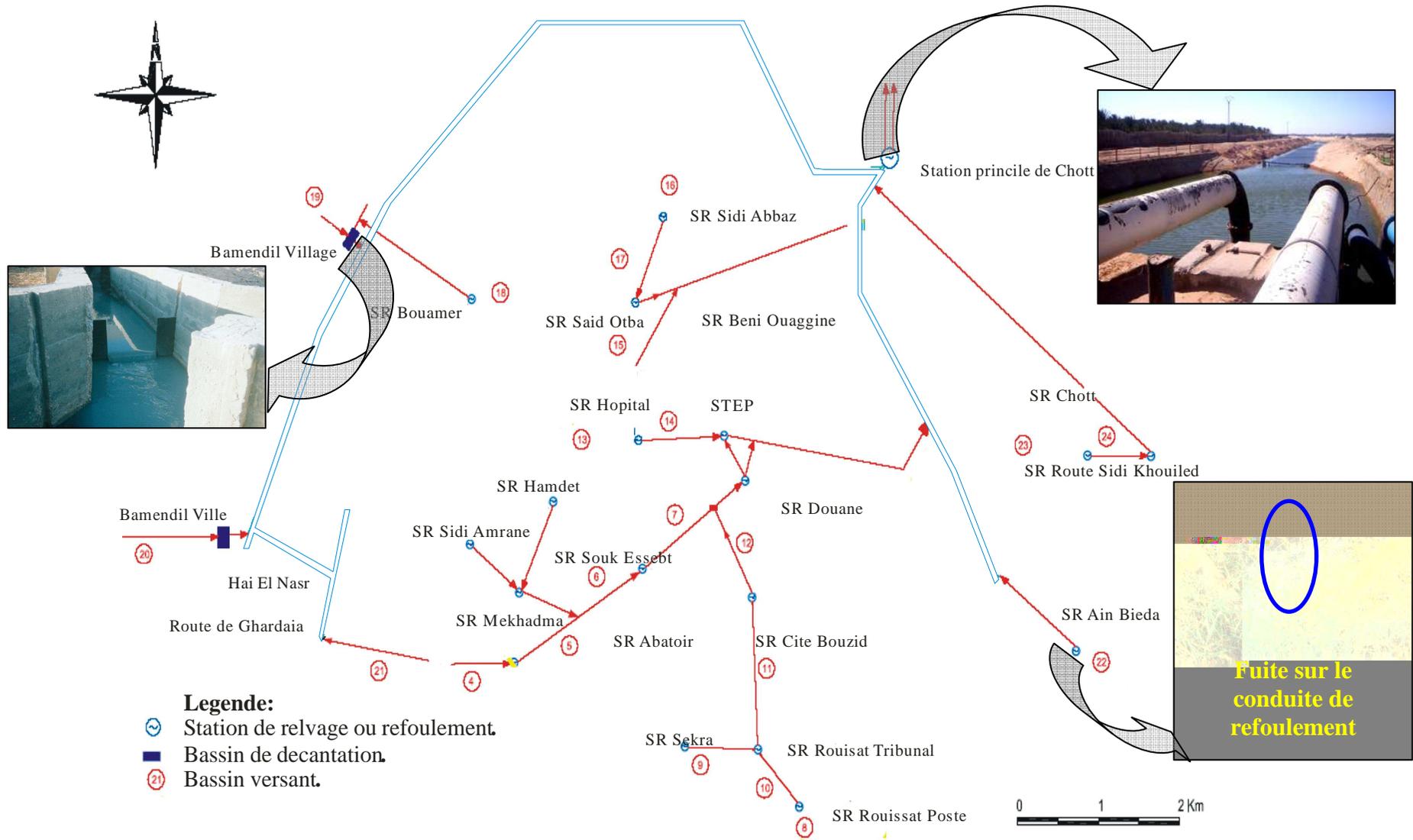


Figure 66. L'ensemble des points de rejets des eaux usées de la cuvette d'Ouargla (Bonnard & Gardel, 2003e).

IV.8.3- Dispositifs de traitement:

Les eaux usées provenant des différentes stations pompages (relevage et refoulement), convergent vers un réseau principal, qui aboutit à une station d'épuration qui ne fonctionne toujours pas, et ce pratiquement depuis la date de sa construite en 1974, pour un coût de 25 Millions DA par l'entreprise italienne Panelli, cette station n'a jamais vraiment fonctionné depuis sa mise en service.

Elle était destinée à épurer les effluents d'Ouargla. Elle se situe en limite urbaine à la sortie de l'ancien exutoire dans le quartier de Gara Nord.

La station d'épuration n'est pas opérationnelle (et ne l'a jamais été). Le constat a mis en évidence que la réhabilitation de cette station, pour traiter même une partie des effluents urbains, n'est pas une solution envisageable d'un point de vue technique et financier (fissuration des bassins, colmatage et corrosion des conduites, détérioration des pompes, transformation des lits de séchage en "pelouses", ...etc).

IV.8.4- Assainissement autonome:

Le mauvais état de fonctionnement du réseau, et son absence d'efficacité, ont fini par encourager les utilisateurs à laisser le réseau et à réutiliser les systèmes d'épuration individuels. Ceux-ci se composent généralement d'une fosse septique de décantation et d'un puits perdu aménagé au sein de l'habitation, dans les jardins ou les cours intérieures.

Cependant dans un certain nombre de cas, les usagers ont eu recours à ces systèmes d'épuration individuels avant la réalisation du réseau d'assainissement. Il n'empêche que, même après la mise en place du réseau public, ces mêmes usagers ont préféré continuer à utiliser leurs propres installations.

Il est utile de noter par ailleurs, qu'à l'exception des habitations collectives (immeubles), qui représentent au plus 30 à 40 % de l'ensemble des habitations de la ville, une grande partie des maisons individuelles est équipée de latrines traditionnelles, utilisées comme moyen accessoire d'élimination des excréta. Cette pratique connue dans la région depuis les temps les plus anciens (maisons du Ksar et celles des nomades), a été largement sauvegardée dans les nouvelles constructions. Ce mode d'élimination constitue donc, avec celui de l'assainissement autonome, un moyen d'évacuation de déchets humains. Ceci peut expliquer, d'une certaine façon, les difficultés d'adaptation de la population aux exigences de l'assainissement collectif (Idder T, 1998).

Les usagers qui possèdent, conjointement, un système d'assainissement individuel et un branchement au réseau public, n'utilisent ce dernier que pour l'évacuation des eaux ménagères, tandis que les eaux-vannes sont traitées séparément dans les fosses individuelles.

En périodes de curage, les eaux-vannes sont également dirigées vers le réseau collectif. Mai on n'oublie pas que l'assainissement autonome provoque de nombreuses nuisances :

- dégradation de l'hygiène du milieu ;
- contribution à l'alimentation de la nappe phréatique dont le niveau est déjà très élevé en milieu urbain.

IV.9- Insuffisances organisationnelles:

Pour la seule commune de Ouargla, l'organisation du service de l'assainissement est gérée entre trois opérateurs : l'APC détentrice des ouvrages, est censée concevoir, réaliser et entretenir; la DHW intervient comme conseil et initie des opérations de grande importance; enfin l'EDMIAO au titre de l'entretien spécifique des stations de pompage fournit une assistance surtout au suivi des organes électriques et électromécaniques.

Sur l'ensemble des trois communes d'Ouargla, Rouissat et Ain Beida les communes prennent en charge les installations établies sur leur propre territoire. Ce désordre administratif ne peut faire fonctionner efficacement un réseau d'assainissement de cette importance.

En définitive, nous pouvons conclure que la défaillance du système de collecte est un fait incontestable dont les conséquences se font de plus en plus ressentir.

Les causes réelles d'une telle situation peuvent être imputées à la carence en moyens et aux difficultés pratiques.

❖ Face aux nuisances provoquées par les rejets de la ville, un projet est en cours d'exécution après l'étude de afin de mener à bien les objectifs suivants :

- Contrôler les eaux qui participent à la recharge de la nappe phréatique (limiter les fuites d'AEP, supprimer l'assainissement autonome);
- Supprimer les rejets directs d'eaux usées dans les canaux à ciel ouvert sans traitement;
- Les eaux de drainage agricole doivent progressivement être collectées et évacuées d'une manière indépendante;

Pour réaliser ces objectifs, il faut :

- Réhabiliter le réseau d'assainissement qui n'est pas étanche et la figure 67 présente et synthétise tous les travaux;
- Augmenter le taux de raccordement de la population au réseau d'assainissement;
- Le projet d'assainissement prévoit que la totalité de la population de l'agglomération de Ouargla soit raccordée à l'égout à l'horizon 2015;
- Supprimer les rejets directs dans le milieu par la mise en place d'un traitement (Bonnard & Gardel, 2004b).

Les travaux de réhabilitation du réseau d'assainissement vont permettre de réduire la part d'eaux parasites qui passe de 40% du débit total en 2005 à 15% en 2030. La salinité des eaux usées étant liée à la présence d'eaux parasites, celle-ci diminuera donc en conséquence.

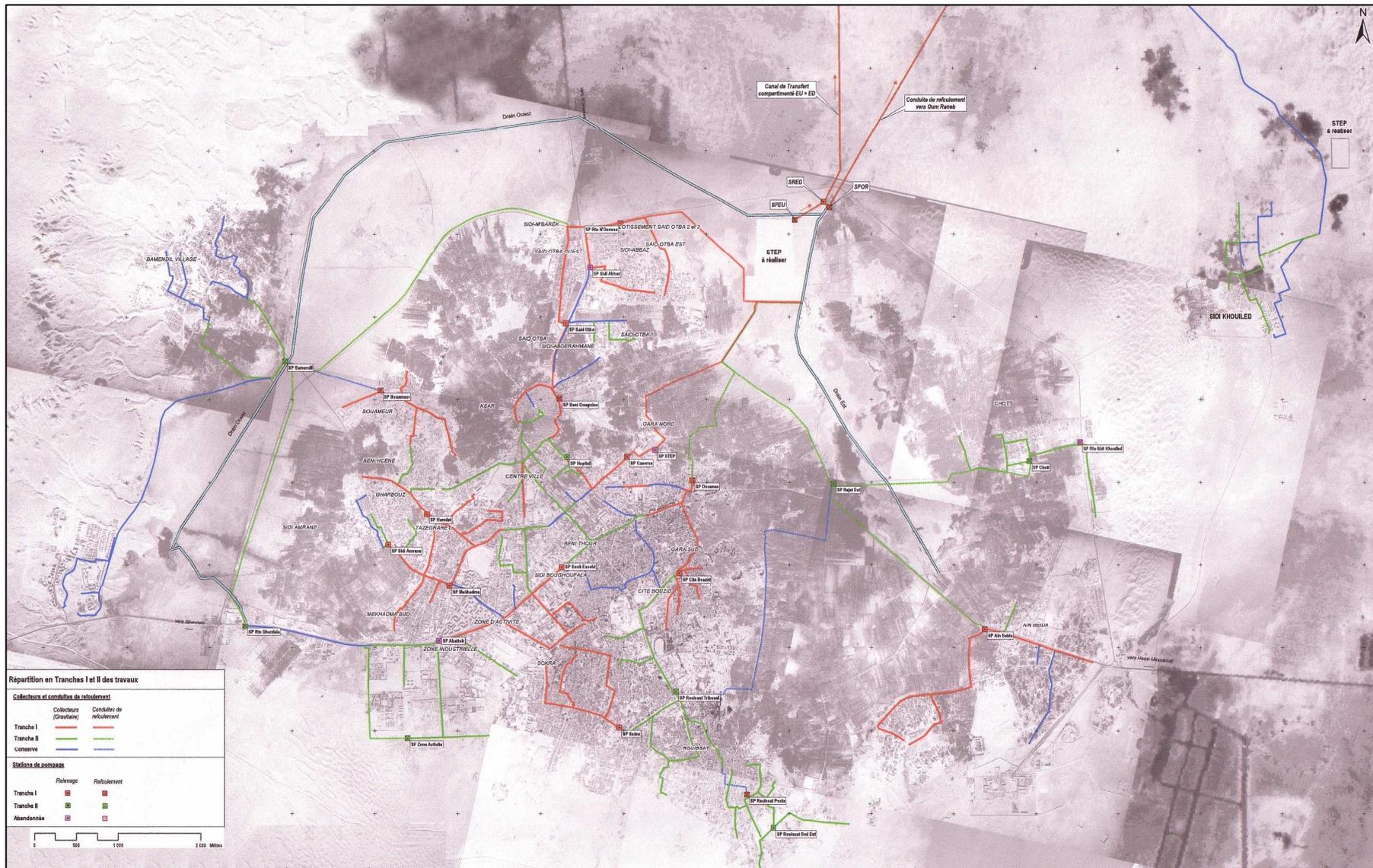


Figure 67. Situation générale des travaux au niveau de la cuvette d'Ouargla (Bonnard & Gardel, 2004b).

Le projet d'assainissement de la ville de Ouargla prévoit le raccordement au réseau d'égout au taux de 100% à l'horizon 2015. Pour atteindre cet objectif le projet prévoit des travaux sur :

- 150 kilomètres de collecteurs gravitaires dont 92 Km réhabilités, 41 Km remplacés et 17 Km neufs;
- 30 kilomètres de conduites de refoulement dont 8 Km remplacés et 22 Km neufs;

La réalisation de 24 stations de pompage parmi lesquelles 11 fonctionnera en station de relevage et 13 en refoulement. 12 des stations actuelles seront maintenues après une opération de réhabilitation, 5 seront modifiées dans leur fonctionnement actuel et 7 seront nouvelles.

Et pour les ouvrages d'épuration, le site d'implantation de la station d'épuration a été retenu au cours de l'établissement du Schéma Directeur et de l'Avant Projet Sommaire. Il se situe au Nord-Est de Ouargla à l'amont de la station de refoulement principale (Chott), entre les deux branches du drain principal. Ce site permet de répondre aux besoins fonciers et aux objectifs d'assainissement (proximité du drain et de zones potentielles de développement agricole). Le site d'implantation est limité :

- Au nord, par le drain existant;
- Au sud, par un terrain vague se prolongeant jusqu'aux constructions traditionnelles;
- Au sud-est, par des palmeraies;
- A l'ouest, par le drain existant;

La surface aménageable, qui représente la superficie sur laquelle peuvent réellement être implanté l'ensemble des ouvrages d'épuration, est déterminée en prenant en considération les dispositions suivantes :

- Distance à respecter par rapport aux drains (nord et ouest) : 10 m;
- Distance à respecter par rapport à la palmeraie (est) : environ 200 m;

D'après Bonnard & Gardel la superficie disponible, de l'ordre de 80 ha, est suffisante pour l'implantation de la station d'épuration, et la forme géométrique du site s'apparente à un trapèze dont les dimensions sont :

- Grande base (au nord) : 1 200 m;
- Petite base (au sud) : 650 m;
- Longueur au centre : environ 1 100 m;

La station de lagunage aéré est conçue pour traiter les effluents urbains de l'agglomération de la cuvette de Ouargla jusqu'à l'horizon 2030. La station est constituée des éléments suivants :

- Relevage et prétraitement des effluents bruts : poste de relevage, dégrillage et dessablage;
- Etage 1 de la lagune aérée;
- Etage 2 de la lagune aérée;
- Lagune de finition;
- Traitement des boues par lits de séchage;

L'horizon du projet est l'année 2030, mais pour étaler les investissements et répondre aux besoins d'assainissement de la ville de Ouargla, une échéance intermédiaire a été

définie pour 2015 afin d'assurer une période de fonctionnement suffisante pour la première tranche. Ainsi, deux tranches de travaux ont été définies :

- L'une avant 2005 correspondant à un dimensionnement pour la période 2005-2015;
- L'autre avant 2015 correspondant à un dimensionnement pour la période 2015-2030;

Ces deux tranches correspondent à l'augmentation des capacités totales de traitement, la seconde tranche prend en compte la croissance démographique et l'augmentation du taux de raccordement de la population au réseau d'assainissement qui passera de 70% en 2005 à 95% en 2015 et 100% en 2030.

• *Horizon 2005-2015 :*

- 2 lagunes de 5,7 hectares de surface à mi-hauteur d'eau pour le premier étage du lagunage aéré;
- 2 lagunes de 3,8 hectares de surface à mi-hauteur d'eau pour le second étage du lagunage aéré;
- 2 lagunes de 6,2 hectares de surface à mi-hauteur d'eau pour la lagune de finition;
- 10,7 hectares de lit de séchage de boues;

• *Horizon 2015-2030 :*

Un bassin supplémentaire est construit pour chacune des étapes de traitement et le lit de séchage garde les mêmes dimensions. La station sera alors composée de:

- 3 lagunes de 5,7 hectares de surface à mi-hauteur d'eau pour le premier étage du lagunage aéré;
- 3 lagunes de 3,8 hectares de surface à mi-hauteur d'eau pour le second étage du lagunage aéré;
- 3 lagunes de 6,2 hectares de surface à mi-hauteur d'eau pour la lagune de finition;
- 10,7 hectares de lit de séchage de boues;

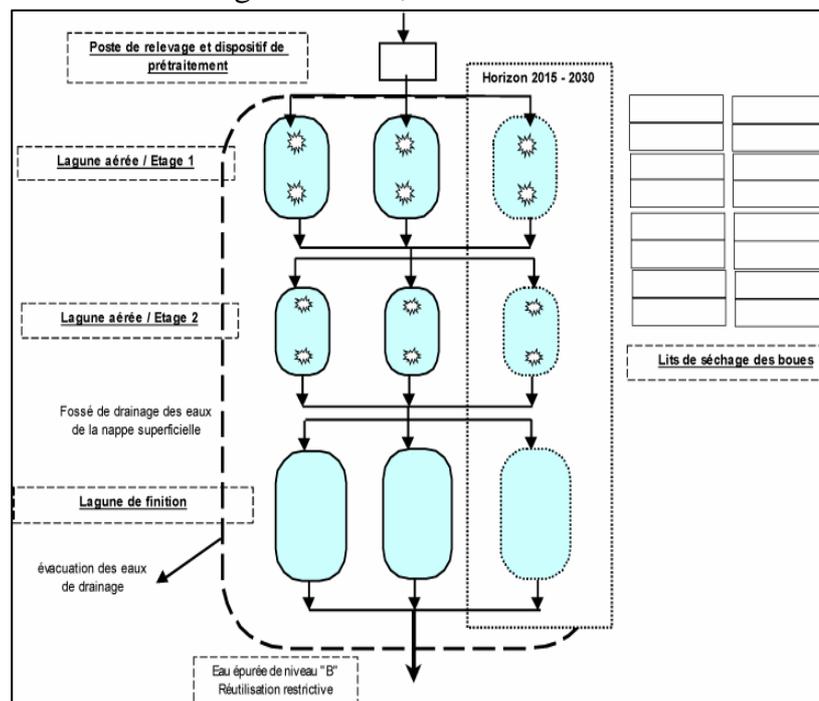


Figure 68. Schéma de principe de la station de lagunage d'Ouargla (Bonnard & Gardel, 2003e).

La station est située au Nord-est de l'agglomération de Ouargla sur la rive droite du canal de drainage allant jusqu'à la station de pompage (figure 69). La superficie occupée par les lagunes sera d'une soixantaine d'hectares et celle des lits de séchage de boues d'environ 10 hectares.

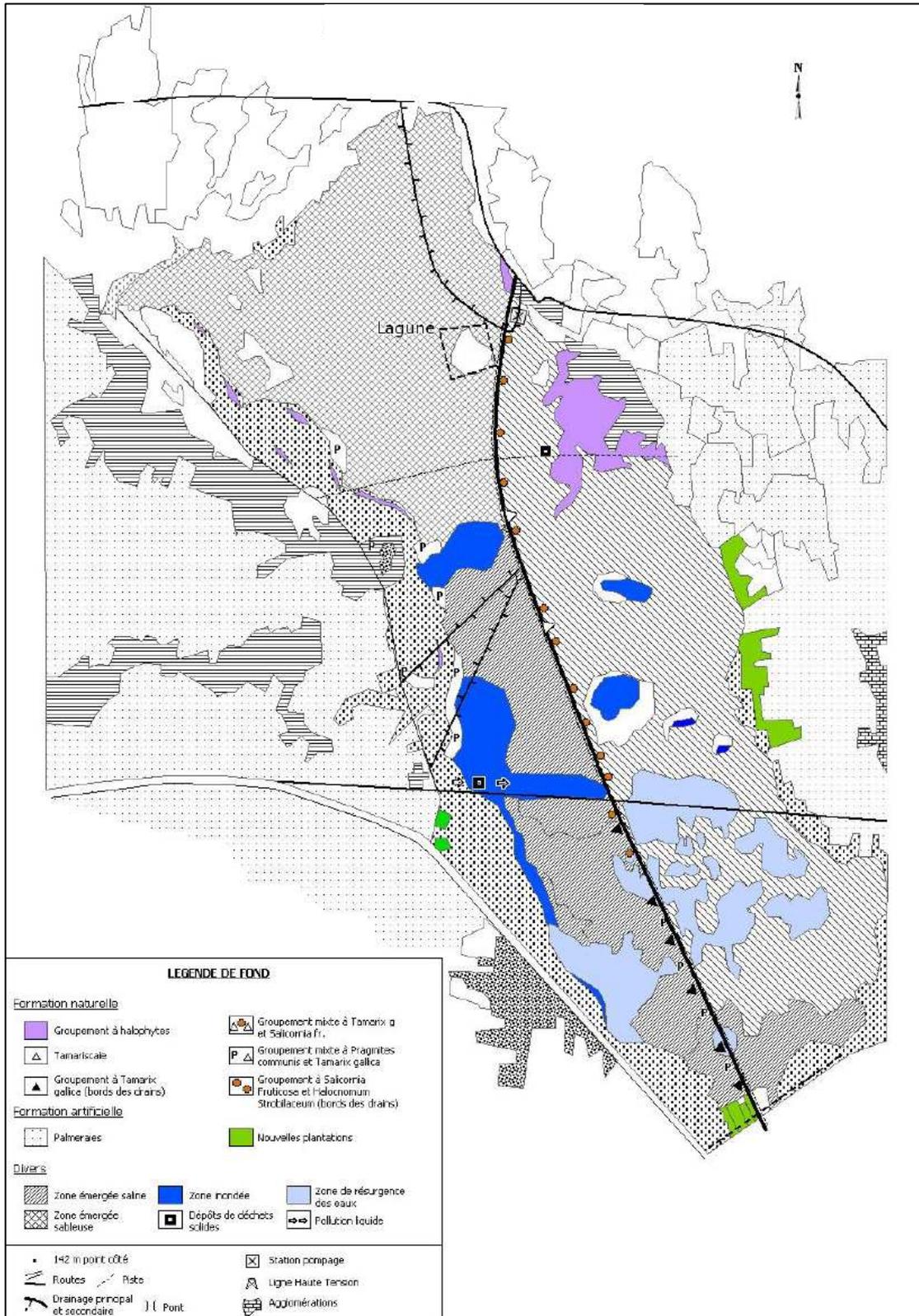


Figure 69. Localisation de la station de traitement des eaux usées sur le chott d'Ouargla (Bonnard & Gardel, 2003d).

La problématique de la conservation de la ressource en eau qui est un souci national et même de plus en plus international passe par la réflexion autour de la valorisation des effluents traités. Cette valorisation peut se faire à travers :

- La réutilisation agricole pour l'irrigation de palmeraies (ancienne ou nouvelle);
- La réutilisation en aquaculture;
- La valorisation du chott Ain Beida qui risque d'être mis à sec s'il n'y a pas de suppression des rejets directs d'eaux usées (Bonnard & Gardel, 2004f)
- La conservation d'un plan d'eau à Oum Raneb dont la superficie est à définir.

Conclusion :

La région de Ouargla connaît le forage profond (Continental Intercalaire) depuis l'année 1957, il avait aussi des réseaux d'assainissement et de drainage avec une station d'épuration de l'année 1974 ; malgré ça la cuvette de Ouargla inondée dans les eaux salées de la nappe phréatique, donc pour résoudre le problème ou de trouver des remèdes pour le phénomène de la remontée des eaux de la nappe phréatique, ce ne pas par les grandes ouvrages ou les nombreuses stations, mais l'entretien des ouvrages et la gestion de ressource hydriques est la solution.

Comme nous l'avons signalé au début de cette étude, le phénomène de la remontée des eaux de la nappe phréatique de la région du Souf effectivement a posé de sérieux problèmes environnementaux, tels que les dégâts qui touchent tous les secteurs dans la région du Souf.

Nous avons tenté à travers un cas concret, celui de la région d'Oued Souf, d'analyser l'un des problèmes les plus préoccupants dans les zones urbaines des milieux désertiques. Ce problème est celui de la gestion des excédents hydriques provenant des rejets d'eaux de drainage et des eaux résiduaires urbaines.

L'accroissement des besoins en eau dans l'oasis, dû à l'accroissement de l'agglomération et intensification agronomique, a conduit à un recours de plus en plus important à l'exploitation des nappes d'eau souterraines. L'exploitation intensive et irrationnelle de ces nappes est apparue, en quelque sorte, comme inévitable pour le développement des régions sahariennes.

Cependant, l'accroissement important des débits exploités, autant au niveau des périmètres de mise en valeur que dans les palmeraies traditionnelles, associé à une utilisation souvent mal raisonnée des ressources hydriques, a conduit à des gaspillages tragiques, faisant apparaître des quantités non négligeables d'eaux excédentaires.

Ces excès ont fortement perturbé les équilibres naturels dans les milieux urbains sahariens, milieux déjà très difficiles, caractérisés essentiellement par une aridité excessive, par des nappes superficielles salées et souvent de faible profondeur, et enfin par une situation topographique défavorable.

Ainsi, en dépit des difficultés d'aménagement en milieu saharien, dues à l'agressivité du milieu, de multiples projets de mise en valeur très ambitieux, s'appuyant sur des moyens technologiques et financiers très importants, se sont développés à grande échelle dans la plupart des oasis sahariennes.

Dans notre étude on a présenté de panorama sur la vie de la nappe traditionnelle dans la région d'Oued Souf, où on a trouvé qu'il y a des solutions proposées pour sortir de cette situation critique, ou par un autre mot il y a de possibilité de façonner aujourd'hui un nouveau paysage Soufi dans ces toutes contraintes, par les réseaux d'assainissement (collective-individuelle) et drainages, avec les quatre stations d'épuration, et on n'oublie pas la solution biologique (le ceinture verte).

Il faut l'amélioration du fonctionnement et de la gestion du réseau de production de stockage et l'installation des compteurs adéquats sur les branchements particuliers par la mise en place d'une méthodologie rigoureuse de gestion des ressources en eau, mais d'abord il faut installer un nouveau réseau d'alimentation en eau potable (AEP) et en préférence par des conduites de PHD ou de fonte. Et pour le refroidisseur de l'albien CHAUHADA et route Touggourt il faut les réhabiliter, la sensibilisation des citoyens et révision des tarifs de l'eau à la hausse est très importante. Mener des campagnes de sensibilisation sur les conséquences que peut entraîner le gaspillage de l'eau (création d'une Association écologique locale par exemple).

Mais on peut constater des remarques sur l'étude de réseaux d'assainissement où le collecteur de transfert des eaux traitées vers le point de rejet traverse les zones d'agglomérations. Donc il présente de grands risques pour les habitats, on a recommandé de changer la traverse de collecteur de transfert des eaux traitées de station d'épuration (1) passe directement vers le point de rejet (Chott Halloufa), où on réduit la longueur de collecteur de transfert (coté économique), et pour éviter les obstacles c'est-à-dire réduire la perte de charge. Aussi on peut créer des zones (parcelles) agricoles dans les deux cotés de collecteur (coté technique). Et pour le système de drainage vertical est incompatible avec la région du Souf surtout dans les zones inondées à cause de type de sol (sableux), qui pose des problèmes pour les motopompes (Côte Technique), et l'énergie des fonctionnements ces ouvrages (les motopompes) est très grande avec les pièces des secours et l'entretien périodique par des mains d'œuvres qualifiées sa coûte chère (Côte Economique). On trouve ici devant cette situation que le drainage horizontal est la solution la plus compatible dans la région du Souf.

Et pour la solution biologique (ceinture verte) on peut dire qu'il est compatible avec la région du Souf, mais il y a des points noirs ce n'est pas dans la réalisation de ceinture, c'est le problème de la décharge publique (Les matériaux de construction, poubelles (rogaton) des agglomérations...), donc il faut l'entretien de cette pompe biologique et assurer ça par les pouvoirs publics par la sensibilisation des citoyens pour conserver cet ouvrage.

Mais ces solutions et les remèdes pour le problème de la remontée des eaux de la nappe phréatique sont insuffisants, c'est-à-dire que les grands ouvrages (réseaux d'assainissement -réseaux de drainage-les stations d'épurations.....) sans gestion raisonnable on ne va pas réussir de sortir de cette situation. Pour cela on a pris la cuvette de Ouargla comme un exemple de comparaison avec notre région d'étude.

Et si on se rappelle des solutions ou des remèdes de phénomène de la remontée des eaux dans la région du Souf on trouve qu'il n'y a pas de différences avec la cuvette de Ouargla, surtout la phase de traitement où le lagunage aéré est la technique considérée pour sauver la cuvette de Ouargla de la contamination de ces eaux et protéger la nappe phréatique d'Oued Souf de la contamination. Mais toujours on dit et répète que la gestion de ces grands ouvrages est la grande difficulté fondamentale maintenant. Donc il faut des mains d'œuvres qualifiées pour faire les travaux des entretiens pour les réseaux d'assainissement, de drainage et surtout pour les stations des pompes (refoulement-relevage) et les stations d'épurations ; ou on va tomber dans le piège de réhabilitation après cinq ou dix ans.