

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie civil et Hydraulique

Année : 2018/2019



N° d'enregistrement :

/...../...../...../...../

THESE

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat Sciences

en Construction hydraulique et Aménagement

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

-impact sur l'environnement de la région-

Présenté Par :

MILOUDI Abdelmonem

KRIKER ABDELOUAHED	Professeur	U.K.M. Ouargla	Président
REMINI BOUALEM	Professeur	U.S.D. Blida	Directeur de Thèse
BOUTOUTAOU DJAMAL	Professeur	U.K.M. Ouargla	Examineur
HAMOUDI SAAD	Professeur	U.H.B. Chlef	Examineur
GHOMRI ALI	Professeur	U.H.L. El Oued	Examineur

Dédicace

À ma grande famille.

Remerciements

En préambule à ce mémoire nous remerciant **ALLAH** qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

Mon Directeur de Thèse, Monsieur le Professeur **Boualem REMINI**, s'est investi dans le suivi mon travail avec un intérêt et une grande confiance qui ont été pour moi de très forts encouragements. Ses conseils bienveillants et ses recommandations précieuses ont largement contribué à la réalisation de ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude pour toute l'attention, la patience et le temps qu'il m'a consacré malgré ses lourdes responsabilités et ses nombreuses préoccupations.

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude à Monsieur **KRIKER ABDELOUAHED**, Professeur et Doyen à la Faculté des Sciences Appliquées d'avoir bien voulu s'intéresser à ce travail et qui a bien accepté de me faire l'honneur de présider le Jury de ma soutenance.

Mes sincères remerciements s'adressent aux membres du jury qui ont accepté de lire et juger ce travail. Les Pr **BOUTOUTAOU DJAMAL**, **HAMOUDI SAAD**, et Monsieur **GHOMRI ALI** Maître de Conférences à la Faculté des Technologie d'El Oued, qui ont bien voulu juger ce travail.

Je tiens à exprimer mes très vifs remerciements à tous mes enseignants du département de Génie civil et Hydraulique de la des Sciences Appliquées de Ouargla auxquels je dois beaucoup pour ma formation en hydraulique.

Je ne passerais sans présenter mes sincères remerciements à mes très chers camarades **Nabil MEGA** et **Brahim ZINE** pour leur aide dans la maîtrise des techniques de digitalisation de base de données et de SIG. C'est grâce à eux que j'ai maîtrisé les ABC de ces techniques d'informatique.

Je ne voulais pas briser le suspense mais je dois m'y résoudre et annoncer ici qu'il y a dans ce travail une quantité notable de résultats expérimentaux. Car si je peux montrer ces résultats, et la qualité qui va avec, c'est grâce à un appui paradoxalement non mesurable, tant sur le terrain qu'au laboratoire. Ainsi, je remercie : Mr **MHIDA Hicham**, Mr **BENMOUSSA Bachir**, et Mr **BENNAJI Brahim** des ingénieurs chez la direction d'Office National d'Assainissement de Wilaya d'El Oued, et les membres de l'équipe ayant collaboré à les Echantillonnage, les analyses dans les labos de la direction. Je remercie également Mr **MHAOUAT Mohammed** et Mr **ATTALAH Taoufik** de la Direction Algérienne des Eaux de Wilaya d'El Oued. Merci aussi à Madame **Aicha**, Monsieur **SAHRAOUI Bachir** de la Direction de Ressources Hydrique de Wilaya d'El Oued.

Un merci spécial est adressé à Messieurs **DJEDIDI El-Aroussi** et **NECIBE Djilani**, pour leur aide.

Je remercie tous les stagiaires qui ont travaillé avec moi, avec la difficile mission de pousser les questions toujours un peu plus loin, mais sans faire reculer les réponses...: **Khairedine Madani**, **Abdesselam Sahraoui**, **SALHI Hala**, **CHERRAD Mohamed EL Hadi**, **BADI Ahmed Ikkal**.

Je tiens à remercier spécialement le groupe de BG pour son aide dans la collecte des données.

Un grand merci à tous les responsables de la **ANRH** de Touggourt, et particulièrement: Messieurs ; **SAYEH LEMBAREK Yousef**, **ELELMI Foudhel**, pour leur collaboration, leur aide et leurs conseils très utiles.

J'ai l'agréable tâche de témoigner ma grande reconnaissance aux différents services techniques auprès desquels j'ai bénéficié d'un aimable appui, notamment ceux qui m'ont facilité l'accès aux données de mesures et à la documentation la **Direction des Services Agricoles** de la Wilaya d'El Oued.

J'aimerais remercier tout autant mes amis ***Khaled AYADI, Abdel-karim HAZLAOUI, Adlane HAMROUNI, Imad GHANADRA, Hamza GHANADRA, Mohammed Lakhder DHAB, Azedine BENKHALIFA*** et ***Laid DJABER***, qui ont contribué à leur manière à l'aboutissement de cette thèse.

On n'oublie pas nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience.

Et avant de poursuivre sur cette bonne vieille voie justement, mes remerciements vont par-dessus tout à mes proches et à ma grande famille, avec qui heureusement le monde n'a pas des limites aussi froides et sournoises que ces capricieux volumes fluides en mouvement...

Que tous ceux que j'ai pu oublier, ils sont certainement nombreux, me le pardonnent et se sentent associés à ces remerciements.

ملخص

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

إن منطقة الوادي تواجه ظاهرة صعود المياه منذ حوالي الأربعين سنة والتي 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 بألية 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. حيث أن ربحية شبكة الصرف الصحي واضحة من خلال تغير نوعية المياه الجوفية لمنطقة، والضخ المستمر خلال هذه السنوات جعل منسوب المياه السطحية ينخفض في المناطق المتأثرة.

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

Summary:

The water is a cosmic element, the same 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 phréatic layer has taken very big dimensions these twenty years ago. The use of the water of the profound layer considerably increased the volume of water were the principal causes of their ecological unbalance.

Facing this problematic, several solutions were proposed at the same 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 piezometric 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. Where the profitability of the sewerage system is clear and clear presented in the change of water quality of the water table and the successive pumping by the vertical drains, gives a remarkable result.

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

Résumé :

L'eau est un élément cosmique, au même titre que le soleil et la terre. L'eau souterraine est comme le sang de la terre. Mais lorsque on parle d'excédent d'eau en milieu désertique, il 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 mortelles 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 proposées et en cour de projeter pour mettre fin à cette inondation particulière.

Dans notre étude, nous nous sommes intéressés au mécanisme de la remontée des eaux de la nappe phréatique par suivre son niveau piézométrie de la nappe avant et après l'apparition de phénomène et aussi pour montrer l'influence de ces solutions sur la région en question. Où la rentabilité du réseau d'assainissement est claire et nette présentée dans le changement de la qualité des eaux de la nappe phréatique, et le pompage successif par les drains verticaux, donne des résultats remarquables pour le rabattement de niveau des eaux de la nappe.

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

Table de matières

Introduction générale	Page 1
-----------------------------	-----------

Chapitre I : Présentation de la région du Souf

I.1- Situation géographique de la région d'Oued Souf	5
I.2- Les peuplement du Souf	7
I.3- Le cadre architectural et socioéconomique du Souf	9
I.4- Relief et topographie de la région du Souf	10
I.5- Contexte climatique du Souf	13
I.5.1- Climatologie	12
I.5.1.1- Températures	14
I.5.1.2- Précipitations	15
I.5.1.3- Evaporation potentielle	16
I.5.1.4- Vitesse du vent	17
I.5.1.5- Humidité de l'air	18
I.5.1.6- Insolation	19
I.5.2- Synthèse climatique	20
I.5.2.1-Diagramme Ombrothermique de Gaussen	20
I.5.2.2-Quotient pluviothermique	21
I.5.2.3- Indice d'aridité de DE MARTONNE	22
Conclusion	24

Chapitre II : Géologie & Hydrogéologie de la région du Souf

II.1- Géologie de la région du Souf	26
II.2- Hydrogéologie du Souf	29
II.2.1- Nappe du Continental Intercalaire	30
II.2.1.1- Les zones d'alimentation du CI	31
II.2.1.2- L'exutoire du CI	33
II.2.2- Complexe Terminal	36
II.2.2.1- Les zones d'alimentation du CT	37
II.2.2.2- L'exutoire du CT	38
II.2.3- L'exploitation de CT dans la région du Souf	39
II.2.3.1- Qualité des eaux du CT dans la région du Souf	47
a) La Conductivité CE et le PH	48
b) Le résidu Sec	50
c) Le nitrate	51
II.2.3- La Nappe traditionnelle (nappe phréatique)	53
Conclusion	54

Chapitre III Diagnostic sur Les eaux de la nappe traditionnelle du Souf

III.1- L'agro-système soufi et ses implications	56
III.2- Formes des Ghouts et leur protection	58
III.2.1- Les formes des Ghouts	58
III.2.1.1- Les Ghouts en zone éolienne	58
III.2.1.2-Ghouts profonds en terrain sablonneux	59
III.2.1.3-Ghouts en terrain compact	60
III.2.2- Protection des Ghouts	62
III.2.3- Technique d'arrosage dans les Ghouts	63
III.2.3.1-Construction des puits	64
III.4- Nouvel intrus agraire dans la région du Souf (Le mini pivot)	68
III.5- Historique de la remontée de la nappe phréatique	71
III.5.1- Prévision sur la variation piézométrique de la nappe phréatique du Souf	72
III.5.1.1- Période de rabattement de la nappe traditionnel du Souf	72
III.5.1.2-- Période de l'équilibre critique de la région	75
III.5.1.3- Période de la rupture d'un système fermé et l'ampleur du phénomène	78
III.5.1.4- la rupture totale d'un système fermé et éveil des pouvoirs publics	83

III.5.1.5- Période du lancement des grands projets de la vallée du Souf	91
Conclusion	100

Chapitre IV Remèdes de la remontée des eaux et son impact sur la région du Souf

IV.1- Situation de l'assainissement du Souf avant 2012	105
IV.1.1- Assainissement collectif	105
IV.1.2- Assainissement individuel	108
IV.2- Le réseau de drainage d'El Oued avant 2012	110
IV.3- La zone de rejet d'El Oued avant 2012	111
IV.4- Les remèdes pour le phénomène de la remontée de la nappe phréatique	113
IV.4.1- Création de ceinture d'évapotranspiration (la solution biologique)	113
IV.4.2- Plantation d'un réseau d'assainissement	121
IV.4.2.1- Assainissement collectif	123
a) Les problématiques générales avant la réalisation du réseau	124
b) Les contraintes pendant la réalisation du réseau	125
IV.4.2.2- Epuration des eaux usées dans l'assainissement collectif	126
a) Relevage et prétraitement des effluents bruts	131
b) Etage 1 et 2 de la lagune aérée	131
c) Etage de finition	132
d) Traitement des boues par lits de séchage	132
IV.4.2.3- Assainissement individuel	135
a) La fosse septique	136
b) Le puits d'infiltration	137
IV.4.3- Les réseaux de drainage des eaux de la nappe phréatique	139
IV.5- Rentabilité des réseaux de drainage vertical et réseaux d'assainissement	142
IV.5.1- La variation piézométrique de la nappe phréatique de la commune El-Oued	142
IV.5.1.1- piézométrie de la nappe phréatique de la commune El-Oued en 2008	143
IV.5.1.2- piézométrie de la nappe phréatique de la commune El-Oued en Mars 2011	146
IV.5.1.3- piézométrie des eaux de la nappe phréatique de la commune d'El-Oued en Mars 2014	148
IV.5.1.4- Piézométrie de la nappe phréatique de la commune El-Oued en Mars 2016	152
IV.5.2- La variation qualitative de la nappe phréatique de la commune d'El-Oued	156
IV.5.2.1- La température de la nappe phréatique de la commune d'El-Oued	156
IV.5.2.2- Variation de conductivité des eaux de la nappe libre de la ville d'El-Oued	157
IV.5.2.3- La variation du TDS des eaux de la nappe libre de la ville d'El-Oued	159
IV.5.2.4- Variation de la MES des eaux de la nappe phréatique de la ville d'El Oued	161
IV.5.2.5- La Variation spatiale des matières organiques et oxydables dans les eaux	162
a) L'Oxygène dissous (O ₂) des eaux de la nappe phréatique en Mars 2016	162
b) Demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	164
c) Demande Chimique en Oxygène (DCO) des eaux de la nappe en mars 2016	166
d) Les Matières Oxydables (MO) des eaux de la nappe en 2016	168
e) Le Carbone Organique Total (COT) des eaux de la nappe en Mars 2016	169
IV.5.2.6- Variation des matières azotées dans les eaux de la nappe de la ville	171
a) L'azote ammoniacal (NH ₄ ⁺) des eaux de la nappe phréatique en Mars 2016	171
b) La variation spatio-temporelle de Nitrite (NO ₂ ⁻) des eaux de la nappe	173
c) La variation spatio-temporelle de Nitrate (NO ₃ ⁻) des eaux de la nappe	175
Conclusion	177
Synthèse Générale Et Conclusions	180
Références bibliographiques	
ANNEXES	

Liste des figures

<i>N° figure</i>	<i>Titre</i>	<i>Page</i>
Chapitre I Présentation de la région du Souf		
Figure 1	<i>Les limites administratives de la wilaya d'El Oued.....</i>	5
Figure 2	<i>Les zones (les secteurs) dans la wilaya d'El Oued.....</i>	6
Figure 3	<i>Carte administrative de la zone d'étude.....</i>	7
Figure 4	<i>Le nombre d'habitants du Souf en 2015.....</i>	8
Figure 5	<i>La ville « d'El Oued » ville aux mille et une coupoles et coupole.....</i>	9
Figure 6	<i>L'artisanat du Souf.....</i>	9
Figure 7	<i>L'agriculteur du Souf.....</i>	10
Figure 8	<i>Topographie du Souf.....</i>	11
Figure 9	<i>Modèle numérique de terrain en 3D qui présente Les reliefs du Souf.....</i>	12
Figure 10	<i>Variation interannuelle des précipitations (1978-2017) du Souf.....</i>	15
Figure 11	<i>L'évaporation potentielle de la région du Souf (1986-2009).....</i>	16
Figure 12	<i>Les vitesses du vent dans la région du Souf (1993-2015).....</i>	17
Figure 13	<i>Humidité de la région du Souf (1978-2015).....</i>	18
Figure 14	<i>Insolation de la région du Souf (1997-2009).....</i>	19
Figure 15	<i>Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN du Souf (1978-2017).....</i>	20
Figure 16	<i>Climagramme d'Emberger pour la région du Souf.....</i>	22
Figure 17	<i>Abaque de l'indice d'Aridité de DE MARTONNE de la vallée du Souf.....</i>	23
Chapitre II Géologie & Hydrogéologie de la région du Souf		
Figure 18	<i>Carte géologique du Grand Erg Oriental.....</i>	26
Figure 19	<i>Log de forage Albien F3, Cité 19 Mars El oued.....</i>	28
Figure 20	<i>Limites du Bassin de Système Aquifère du Sahara Septentrional SASS.....</i>	29
Figure 21	<i>Limite du Continental Intercalaire.....</i>	30
Figure 22	<i>Les zones d'alimentation de CI.....</i>	31
Figure 23	<i>Carte piézométrique initiale du CI.....</i>	32
Figure 24	<i>Carte sens d'écoulement vers l'Exutoire du CI.....</i>	33
Figure 25	<i>Coupe hydrogéologique synthétique du sahara Septentrional.....</i>	34
Figure 26	<i>Les forages du Continental Intercalaire de la région du Souf en 2016.....</i>	35
Figure 27	<i>Limites de l'aquifère du Complexe Terminal.....</i>	37
Figure 28	<i>Les zones d'alimentation de CT.....</i>	38
Figure 29	<i>Limites de l'aquifère du Complexe Terminal avec les niveaux piézométriques et le sens d'écoulement.....</i>	39
Figure 30	<i>Les forages (CT) d'Alimentation en Eau Potable dans la région du Souf en 2016.....</i>	40
Figure 31	<i>Les forages CT d'irrigation dans la région du Souf en 2015.....</i>	41
Figure 32	<i>Carte piézométrique du CT du Souf en 1967.....</i>	42
Figure 33	<i>Carte d'inventaire des points des prélèvements (Forages) du CT pour la campagne piézométrique de 2012.....</i>	44
Figure 34	<i>Carte piézométrique du CT en 2012 du Souf.....</i>	45
Figure 35	<i>Les zones artésiennes du CT pour les régions du Souf.....</i>	46
Figure 36	<i>Carte d'inventaire des points d'échantillonnage (Forages) pour les analyses des eaux du CT du Souf en 2016.....</i>	47
Figure 37	<i>Carte de conductivité CE des eaux du CT du Souf en Avril 2016.....</i>	48
Figure 38	<i>Carte de PH des eaux du CT du Souf en Avril 2016.....</i>	50
Figure 39	<i>Carte de Résidu Sec des eaux du CT du Souf en Avril 2016.....</i>	51
Figure 40	<i>Carte de Nitrate des eaux du CT du Souf en Avril 2016.....</i>	52
Figure 41	<i>Zone d'alimentation de la nappe phréatique et le sens d'écoulement de la nappe.....</i>	53
Chapitre III Diagnostic sur Les eaux de la nappe traditionnelle du Souf		
Figure 42	<i>REMMAL creuse dans le sable.....</i>	56
Figure 43	<i>Modèle Numérique de terrain présentant le ghout dans la région du Souf.....</i>	57
Figure 44	<i>MNT présente les ghouts dans la zone éolienne (Ghout Oued Alenda).....</i>	58
Figure 45	<i>Coupe d'un Ghout Circulaire</i>	59
Figure 46	<i>MNT présentant les ghouts profonds (Ghout Nakhla).....</i>	59
Figure 47	<i>Coupe d'un Ghout allongé (Ghout Bayadha).....</i>	60
Figure 48	<i>MNT présentant les ghouts profonds (Ghout Hassi Khalifa).....</i>	61
Figure 49	<i>Coupe d'un Ghout rectangulaire (Ghout Hassi Khalifa).....</i>	61
Figure 50	<i>Un agriculteur construit une ceinture de Zerb (palissade) autour d'un ghout.....</i>	62
Figure 51	<i>Balancier (Ghôtara) pour l'irrigation dans le ghout.....</i>	63
Figure 52	<i>Coupe d'un Seguia.....</i>	64
Figure 53	<i>Coupe du système à dellou.....</i>	65
Figure 54	<i>Le périmètre de Hobba, Image satellitaire avec le plan au sol, crée en 1958.....</i>	67

Figure 55	<i>Forme de l'agriculture nouvelle le mini-pivot de fabrication artisanale.....</i>	68
Figure 56	<i>Développement de production de pomme de terre du Souf.....</i>	69
Figure 57	<i>Le comportement spatial de la nappe phréatique pour cette période (actuelle).....</i>	71
Figure 58	<i>La Route entre El-Oued et Ghadamès en 1883 jalonnée par les puits.....</i>	72
Figure 59	<i>Les nombres de palmiers du Souf au début de XX^e siècle.....</i>	73
Figure 60	<i>Les Oasis du Souf aux XIX^e et XX^e siècles.....</i>	74
Figure 61	<i>Développement du nombre d'habitants au XIX^e et XX^e siècles.....</i>	75
Figure 62	<i>Plan La ville d'El Oued, présentant les points humides fin des années 70.....</i>	71
Figure 63	<i>La situation des ghouts autour d'El Oued en 1980.....</i>	79
Figure 64	<i>Modèle Numérique de Terrain présentant un ghout inondé.....</i>	79
Figure 65	<i>Les nombres de palmiers au début d'années 80.....</i>	80
Figure 66	<i>La situation catastrophique des ghouts d'El Oued en 1986.....</i>	80
Figure 67	<i>Les fuites du réseau d'AEP dans la commune d'El Oued.....</i>	82
Figure 68	<i>Situation d'un ghout ennoyé complètement par les eaux polluées de l'année 90.....</i>	83
Figure 69	<i>Carte piézométrique de la nappe phréatique du Souf en Avril 1993.....</i>	85
Figure 70	<i>Carte isobathe des valeurs du substratum argileux de la nappe libre du Souf.....</i>	87
Figure 71	<i>Situation d'un ghout dans la commune d'El Oued rempli d'eau et de roseaux à la place des palmiers.....</i>	89
Figure 72	<i>La situation de la nappe libre dans les zones urbaines (Sidi Mestour).....</i>	89
Figure 73	<i>Développement les surfaces des palmeraies de l'année 1995 à 2000 du Souf.....</i>	90
Figure 74	<i>Les nombres de palmiers de l'année 1995 à 2000 du Souf.....</i>	90
Figure 75	<i>Le comportement de la nappe dans le temps pour cette période.....</i>	91
Figure 76	<i>Etat des ghouts du Souf en 2001.....</i>	92
Figure 77	<i>Situation des ghouts du Souf en 2015.....</i>	93
Figure 78	<i>Développement du nombre de palmiers de la région du Souf de l'année 2000 à 2014.....</i>	94
Figure 79	<i>Chott El Oued (remontée capillaire de l'eau de la nappe) près de la station principale (ST10).....</i>	94
Figure 80	<i>Des maisons abandonnées et inondées (Quartier Sidi Mestour) par les eaux de la nappe et pleines de roseaux depuis 2000.....</i>	95
Figure 81	<i>Réseau de surveillance de la nappe phréatique en 2001.....</i>	96
Figure 82	<i>La carte de différence piézométrique entre 1993-2002.....</i>	97
Figure 83	<i>La carte de différence piézométrique entre 2001-2002.....</i>	99
Chapitre IV Remèdes de la remontée des eaux et son impact sur la région du Souf		
Figure 84	<i>Le réseau d'assainissement ancien de la commune d'El Oued.....</i>	106
Figure 85	<i>Localisation des stations de relèvement existantes.....</i>	107
Figure 86	<i>Le système traditionnel d'assainissement (la fosse perdue).....</i>	108
Figure 87	<i>la station de pompage des eaux de drainage avant 2012.....</i>	111
Figure 88	<i>La zone de rejet ancienne d'El Oued.....</i>	112
Figure 89	<i>La ceinture verte de la région du Souf.....</i>	116
Figure 90	<i>(A) La ceinture verte du côté des routes (B) Les espaces verts dans les zones inondées (Sidi Mestour).....</i>	117
Figure 91	<i>Profondeur des eaux (Nive u Statique) de la nappe phréatique du Souf en Mars 1993(A) et Mars 2002(B).....</i>	119
Figure 92	<i>Profondeur des eaux (Niveau Statique) de la nappe phréatique du Souf en Mars 2014.....</i>	120
Figure 93	<i>Présente la différence entre deux périodes.....</i>	121
Figure 94	<i>Schéma directeur d'assainissement de la vallée du Souf.....</i>	122
Figure 95	<i>Les travaux des poses des conduites d'assainissement au niveau des zones menacées par le phénomène de remontée en 2008.....</i>	125
Figure 96	<i>L'état Actuel du collecteur principal (Φ 700) de la commune d'El Oued.....</i>	126
Figure 97	<i>Schéma de principe (plan d'implantation) la station d'épuration.....</i>	129
Figure 98	<i>Ouvrage de prétraitement de STEP I.....</i>	131
Figure 99	<i>(A) barge flottante (B) Couche des Huiles dans les bassins de lagune (C) Rejet de lavage vers le réseau d'assainissement.....</i>	133
Figure 100	<i>Nouveau point de rejet des eaux usées traitées et les eaux de drainage.....</i>	134
Figure 101	<i>Schéma d'une installation type d'assainissement individuel.....</i>	135
Figure 102	<i>Les dispositifs d'épuration pour l'assainissement individuel.....</i>	138
Figure 103	<i>Localisation des 58 forages de drainage à El Oued.....</i>	139
Figure 104	<i>Réseau de drainage vertical de la commune d'El Oued.....</i>	140
Figure 105	<i>Coupe type de la station de pompage (Drain vertical).....</i>	141
Figure 106	<i>Carte piézométrique de la commune d'El oued en Mars 2008.....</i>	144
Figure 107	<i>Carte de niveau statique et la carte des zones inondée dans la commune d'El Oued en Mars 2008.....</i>	145
Figure 108	<i>Carte piézométrique de la commune d'El oued en Mars 2011.....</i>	146

Figure 109	<i>Carte de niveau statique et la carte des zones inondées dans la commune d'El Oued en Mars 2011.....</i>	147
Figure 110	<i>La sonde électrique de 50 m de longueur et La tarière.....</i>	148
Figure 111	<i>Théodolite et un appareille GPS GARMIN.....</i>	149
Figure 112	<i>Carte piézométrique de la commune d'El oued en Mars 2014.....</i>	150
Figure 113	<i>Carte de niveau statique et la carte des zones inondées dans la commune d'El Oued en Mars 2014.....</i>	151
Figure 114	<i>Carte piézométrique de la commune d'El oued en Mars 2016.....</i>	153
Figure 115	<i>Carte de niveau statique et la carte des zones inondées dans la ville d'El Oued en Mars 2016.....</i>	154
Figure 116	<i>Carte d'inventaire des forages d'irrigation de la commune d'El oued.....</i>	155
Figure 117	<i>Variation spatiale de la température des eaux de la nappe phréatique de la commune d'El oued en Mars 2016.....</i>	157
Figure 118	<i>La Variation spatio-temporelle de la conductivité (25 C°) des eaux de la nappe phréatique de la commune d'El oued entre Mars 2011 et Mars 2016.....</i>	158
Figure 119	<i>La Variation spatio-temporelle du TDS des eaux de la nappe phréatique de la commune d'El oued entre Mars 2011 et Mars 2016.....</i>	160
Figure 120	<i>Carte de répartition de la MES en Mars 2016 des eaux de la nappe phréatique de la commune d'El Oued.....</i>	162
Figure 121	<i>Répartition d'Oxygène dissous (O₂) des eaux de la nappe phréatique de la commune d'El Oued en Mars 2016.....</i>	164
Figure 122	<i>DBO₅ des eaux de la nappe phréatique de la ville d'El Oued en Mars 2016.....</i>	165
Figure 123	<i>DCO des eaux de la nappe phréatique de la ville d'El Oued en Mars 2016.....</i>	167
Figure 124	<i>MO des eaux de la nappe phréatique de la ville d'El Oued en Mars 2016.....</i>	168
Figure 125	<i>COT des eaux de la nappe phréatique de la ville d'El Oued en Mars 2016.....</i>	171
Figure 126	<i>Azote ammoniacal (NH⁴⁺) des eaux de la nappe phréatique de la ville d'El Oued en Mars 2016.....</i>	172
Figure 127	<i>La Variation spatio-temporelle de Nitrite (NO₂⁻) des eaux de la nappe phréatique de la commune d'El oued entre Mars 2011 et Mars 2016.....</i>	174
Figure 128	<i>La Variation spatio-temporelle de Nitrate (NO₃⁻) des eaux de la nappe phréatique de la commune d'El oued entre Mars 2011 et Mars 2016.....</i>	176

Liste des tableaux

<i>N°Tableau</i>	<i>Titre</i>	<i>Page</i>
Chapitre I Présentation de la région du Souf		
Tableau 1	<i>Données climatiques de la région d'Oued Souf –Température & précipitation (1978-2017).....</i>	14
Tableau 2	<i>Précipitations interannuelles (1978 – 2017) du Souf.....</i>	15
Tableau 3	<i>Données climatiques de la région d'Oued Souf-Evaporation-(1986- 2009).....</i>	16
Tableau 4	<i>Données climatiques de la région d'Oued Souf-Vents-(1993- 2015).....</i>	17
Tableau 5	<i>Données climatiques du Souf- Humidité de l'air-(1978- 2015).....</i>	18
Tableau 6	<i>Tableau I-6. Données climatiques de la région d'Oued Souf- Insolation -(1997-2009).....</i>	19
Tableau 7	<i>Valeur Indice d'Aridité DE MARTONNE.....</i>	23
Chapitre IV Remèdes de la remontée des eaux et son impact sur la région du Souf		
Tableau 8	<i>Caractéristiques de quelques pompes des stations de relevage.....</i>	108
Tableau 9	<i>Répartition des fosses par commune.....</i>	110
Tableau 10	<i>Plants servant à fixer le sable et s'adaptant aux exigences climatiques et du sol de la zone du Souf.....</i>	114
Tableau 11	<i>Espèces possibles d'eucalyptus à introduire.....</i>	115
Tableau 12	<i>Les débits estimés d'eaux usées collectées par chaque commune.....</i>	127
Tableau 13	<i>Les caractéristiques des stations d'épuration.....</i>	130
Tableau 14	<i>Goût de l'eau avec différentes concentrations de TDS.....</i>	160

Liste des abréviations

AEP	: Alimentation en Eau Potable.
ANRH	: 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.
DBO₅	: Demande Biochimique en Oxygène en 5 jours.
DCF	: Direction de Conservation des Forêts.
DCO	: Demande Chimique en Oxygène.
DHW/DRH	: Direction d'Hydraulique de la Wilaya/ Direction des Ressources Hydrique
DSA	: Direction des Services Agricoles.
ERESS	: Etude des Ressources en Eau du Sahara Septentrionale.
ENAGEO	: Entreprise Nationale de Géophysique.
ENHPO	: Entreprise Nationale des Projets Hydrauliques de l'Ouest.
GPS	: Global Positioning System
MES	: Matières En Suspension.
MNT	: Modèle Numérique de Terrain
PHD	: Polyéthylène Haute Densité.
Q	: débit.
ONA	: Office National d'Assainissement.
ONM	: Office Nationale de Météorologie.
OSS	: Observatoire du Sahara et Sahel
STEP	: Station d'Épuration.
SPEU	: Station de Pompages des Eaux Usées
SPET	: Station de Pompages des Eaux Traitées
SASS	: Système Aquifère du Sahara Septentrional
CE	: Conductivité Electrique
TDS	: Total Dissolved Solids
MO	: Matières Oxydables
COT	: Carbone Organique Total
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé

***Introduction
générale***

INTRODUCTION GÉNÉRALE

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'arrête, le cerveau n'entend sa soif.

« *A partir de l'eau, nous avons constitué toute chose vivante* » (Coran-Sourate des Prophètes V.30). L'eau est un élément indispensable à la vie et revêt une importance capitale pour toute activité humaine. L'eau peut être rare dans certaines régions, comme les zones arides et semi-arides, où la seule source dans ces zones est constituée par les eaux souterraines. Il est certain que l'augmentation de la demande en eau pour les activités humaines posera des contraintes sur cette ressource. Il est donc essentiel de quantifier et d'analyser la quantité et la qualité des réserves en eau et de trouver le moyen de gérer cette ressource hydrique pour en assurer la durabilité.

Dans ce contexte, la présente étude vient enrichir les anciens travaux de recherche, et ce pour donner un aperçu scientifique sur l'état actuel des nappes souterraines exploitées pour l'AEP ou l'irrigation dans la région du Souf.

La région du Souf, située au Sud-Est de l'Algérie, constitue, par son extension géographique sur une superficie d'environ 11200 Km², l'un des principaux réservoirs des eaux souterraines du pays et du monde. Elle dispose de nombreux systèmes aquifères très importants. Les précipitations sont très faibles et irrégulières et les nappes souterraines sont souvent surexploitées.

Le développement agricole et l'accroissement démographique dans cette région se font aux dépens de la disponibilité de ses réserves hydriques souterraines. Cependant, l'accroissement rapide de la demande en eau pour satisfaire ces besoins, a entraîné une exploitation intensive des eaux souterraines. Face à cette situation, nous avons mené une étude hydrogéologique pour une meilleure compréhension du fonctionnement hydrodynamique actuel et futur des nappes, une caractérisation géométrique des niveaux aquifères et une réévaluation de leurs potentialités hydriques en vue d'une meilleure gestion de cette ressource naturelle. Dans un objectif d'aide à la gestion, cette étude s'appuie sur une double démarche : sur le plan pratique, la recherche des variables du

système à l'origine de la remontée et du rabattement des nappes et de la dégradation de la qualité des eaux, et sur le plan méthodologique, l'élaboration des cartes des différents éléments hydrochimiques et hydrodynamiques, facilitant la gestion et la prise de décision.

Ce travail s'est attelé à répondre aux préoccupations suivantes :

- Quel est l'état actuel de l'agro-système Soufi ?
- Quel est l'état actuel de la qualité chimique des eaux souterraines de la nappe?
- Quels sont les différents polluants existant dans l'eau ainsi que leur origine?
- Délimiter les zones contaminées si possible.

Plusieurs outils (géologique, hydrodynamique, chimique, statistique et informatique) ont été utilisés, afin de mieux interpréter les données acquises.

Ce travail vise à élaborer, sur la base des informations disponibles et des connaissances actuelles des ressources hydriques de la région du Souf et des phénomènes responsables de leur évolution, une base de données hydrogéologiques, la surveillance et la gestion intégrée dans l'avenir. Il s'attache à utiliser des systèmes d'informations structurés et tenant compte de la diversité climatique, hydrologique, géologique, hydrogéologique et économique de la région.

❖ Le présent travail est structuré en quatre chapitres comme suit :

- Le premier chapitre se base sur la Présentation de la zone d'étude ; dans laquelle les caractéristiques géographiques, climatiques et hydrologiques de la région de Souf sont discutées.

- Le deuxième Chapitre est consacré pour la géologie et l'hydrogéologie des systèmes aquifères de la région du Souf; où nous avons exploité l'outil SIG pour établir des cartes portant sur la caractérisation géométrique des réservoirs, la piézométrie et la qualité des eaux de la nappe exploitée dans la région de Souf.

- Le troisième Chapitre se fonde sur la Diagnostic sur Les eaux de la nappe traditionnelle du Souf; l'exploitation des nappes et l'agro-système (ghouts) du Souf.

- Le quatrième Chapitre contient deux parties, une première portant sur les ouvrages anciens et les nouvelles structures pour remédier la région du Souf de la remontée des eaux, tandis que la deuxième s'effectue pour l'étude de la rentabilité de ces ouvrages et son impact sur la région du Souf par l'utilisation du système cartographique.

Chapitre I

Présentation de la région du Souf

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

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

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

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

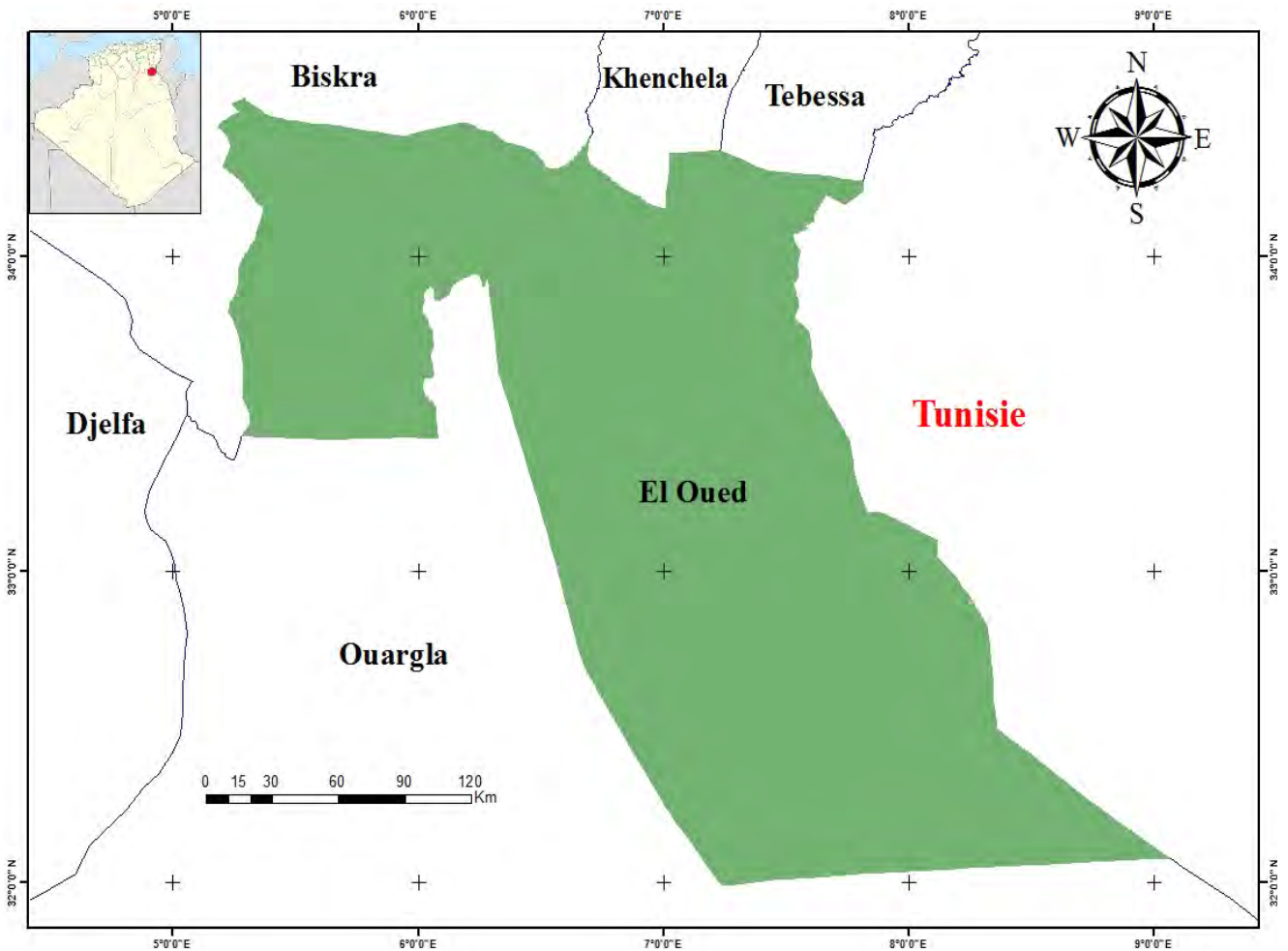


Figure 01 : Les limites administratives de la wilaya d'El Oued.

Elle occupe une superficie de 44.586 km², et est limitée par les Wilayas de Khenchela et Tebessa au Nord, au Nord-Est par la Wilaya de Biskra, au Sud et Sud-Est par la Wilaya de Ouargla et à l'Est par la frontière Tunisienne (Figure 01).

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

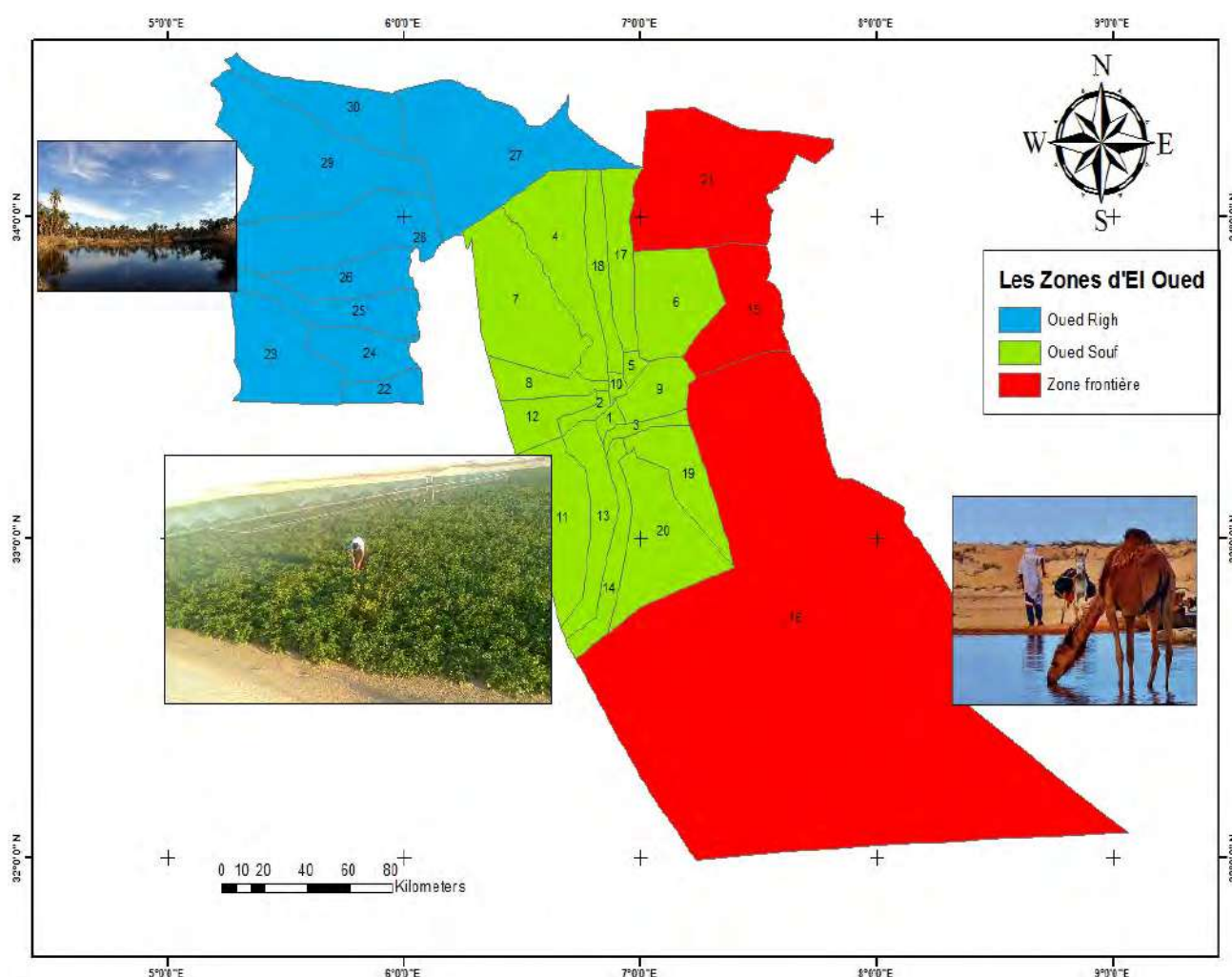


Figure 02 : Les zones (les secteurs) dans la wilaya d'El Oued.

La région d'étude s'étend sur 18 communes (El Oued, Bayadha, Robbah, Kouinine, Guemmar, Taghzout, Hassani Abdelkrim, Debila, Sidi Aoun, Magrane, Hassi Khelifa, Reguiba, Mihouensa, Oued Alenda, Oglia, Nakhla, Ourmes et Trifaoui), une superficie d'environ de 11200 Km², limitée par les coordonnées géographiques suivantes : les longitudes 06°20' et 07°50' Est et les latitudes 32°50' et 34°30' Nord (Figure 03).

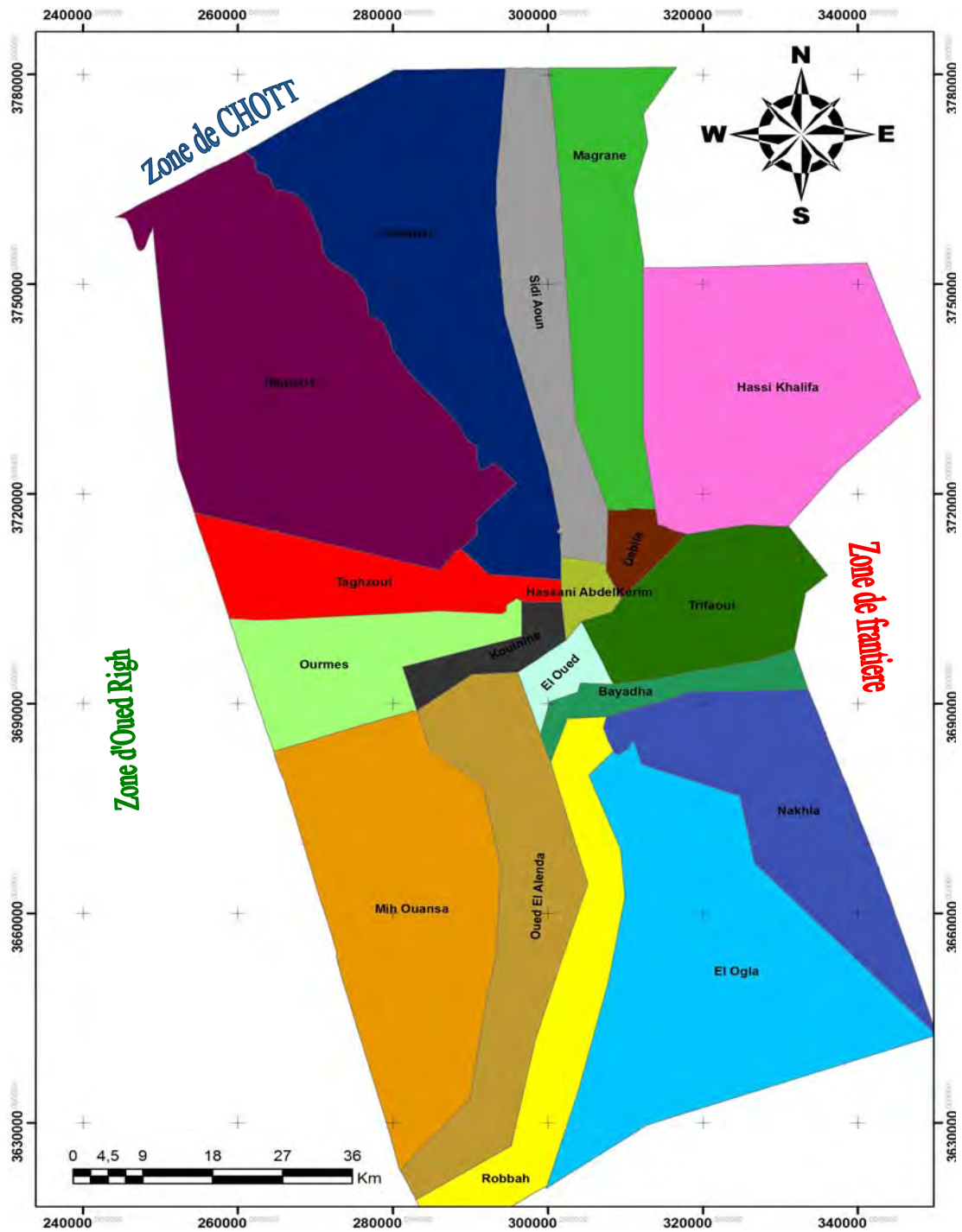


Figure 03. Carte administrative de la zone d'étude.

I-2 Les peuplements du Souf :

Comme tout le Sahara, le Souf a été habité de temps immémorial. Il est certain que les cantonnements de populations se sont déplacés d'ici et là à travers les âges ; La région du Souf comprend 18 communes qui représentent une population totale de 566.245 habitants (DPS, 2016), répartie sur une superficie de 11251,51 Km².

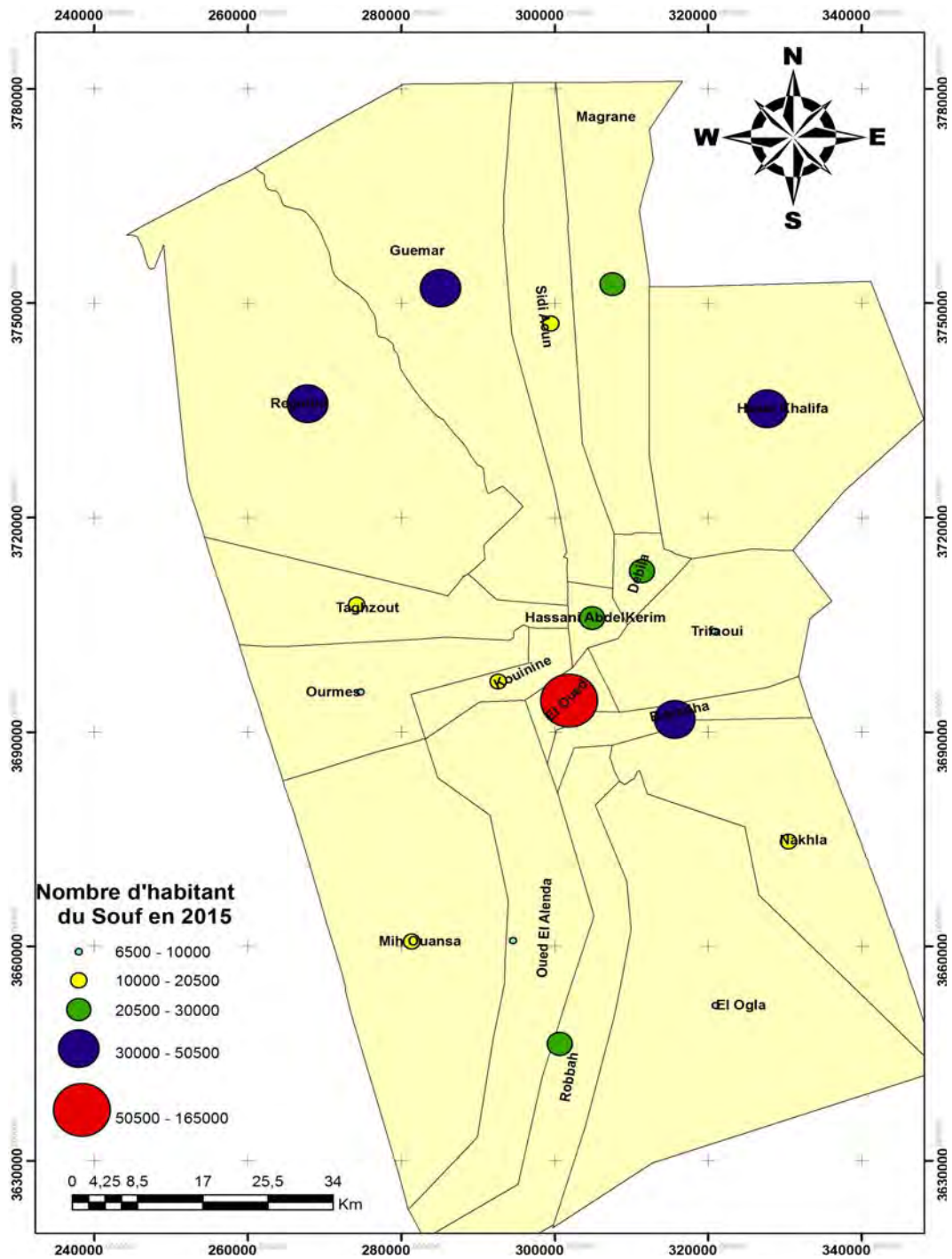


Figure 04. Le nombre d'habitants du Souf en 2015.

La figure 4 (et le tableau 1) montre la répartition des habitants de la région du Souf, où nous remarquons que la commune la plus peuplée est celle d'El-Oued (Chef-lieu) 163.555 habitant avec une densité 2076,889 hab/km², suivie par la commune de Reguiba de 50.460 habitants (485,60 hab/km²), par contre la commune d'El-Ogla (la plus faible densité de population 5,46 hab/km²).

I-3 Le cadre architectural et socioéconomique du Souf :

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

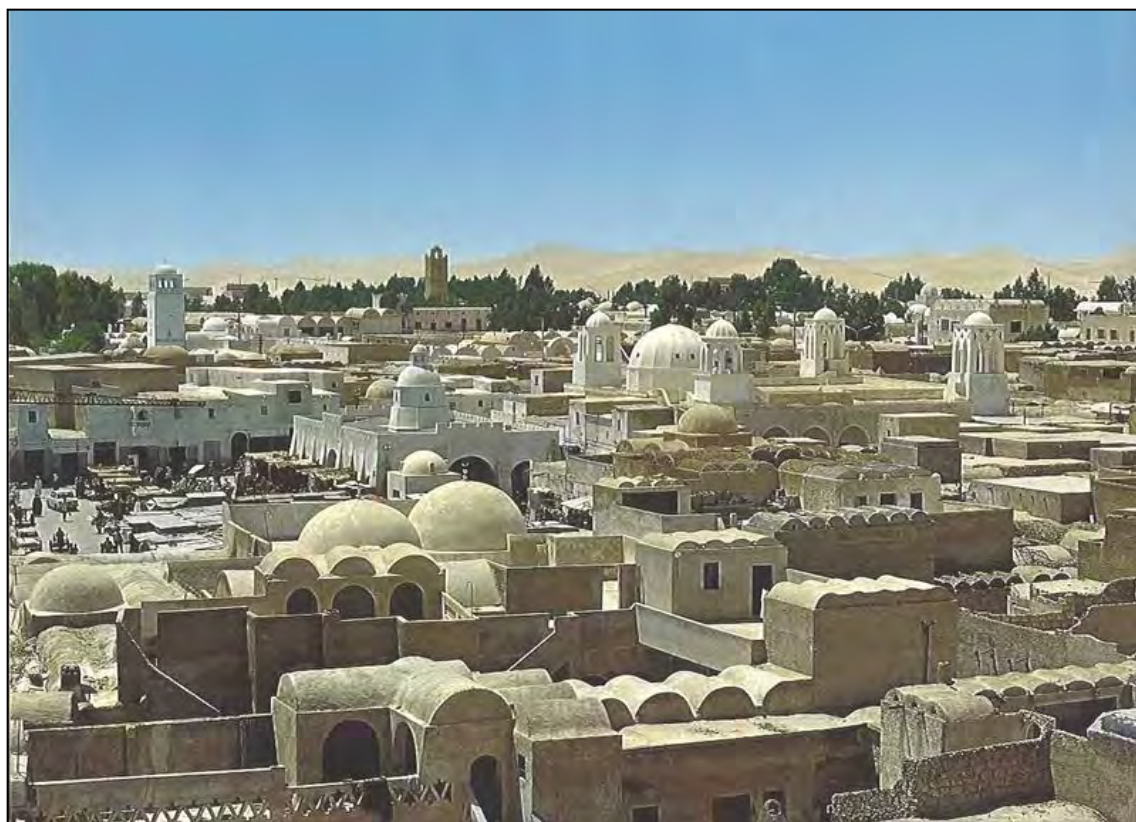


Figure 05. La ville « d'El Oued » ville aux mille et une coupoles et coupole.

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



Figure 06. L'artisanat du Souf.

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

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



Figure 07. *L'agriculteur du Souf.*

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

Dans certaines régions de l'Erg oriental, on trouve des reliefs spectaculaires et bien différenciés. Le relief du Souf est presque tout entier compris entre deux lignes orientées Est-Ouest ; la première au Nord est la courbe des 30 m, et la seconde au Sud, celle des 100 m. Une troisième ligne, relie les points de 70 m, est parallèle à ces deux lignes situées entre elles. La courbe de niveau des 50 m passe par Réguiba, Magrane et Trifaoui (Figure 08). Celle des 60 m relie Guemmar à Z'goum et la courbe de 100 m, Oued-Ziten, Amiche et El-Ogla.

Notre région est sablonneuse ; à une altitude moyenne de 80 m, possède des dunes qui dépassent parfois cent mètres (100 m) de hauteur ; le plus "haut sommet" du Souf est une dune de 127 m (*Ghourd*) située à 2 km au Sud d'Amiche, accuse une diminution notable du Sud au Nord pour être de 25 m au-dessous du niveau de la mer dans le chott Melghir qui occupe le fond de l'immense bassin du bas Sahara (Figure 08).

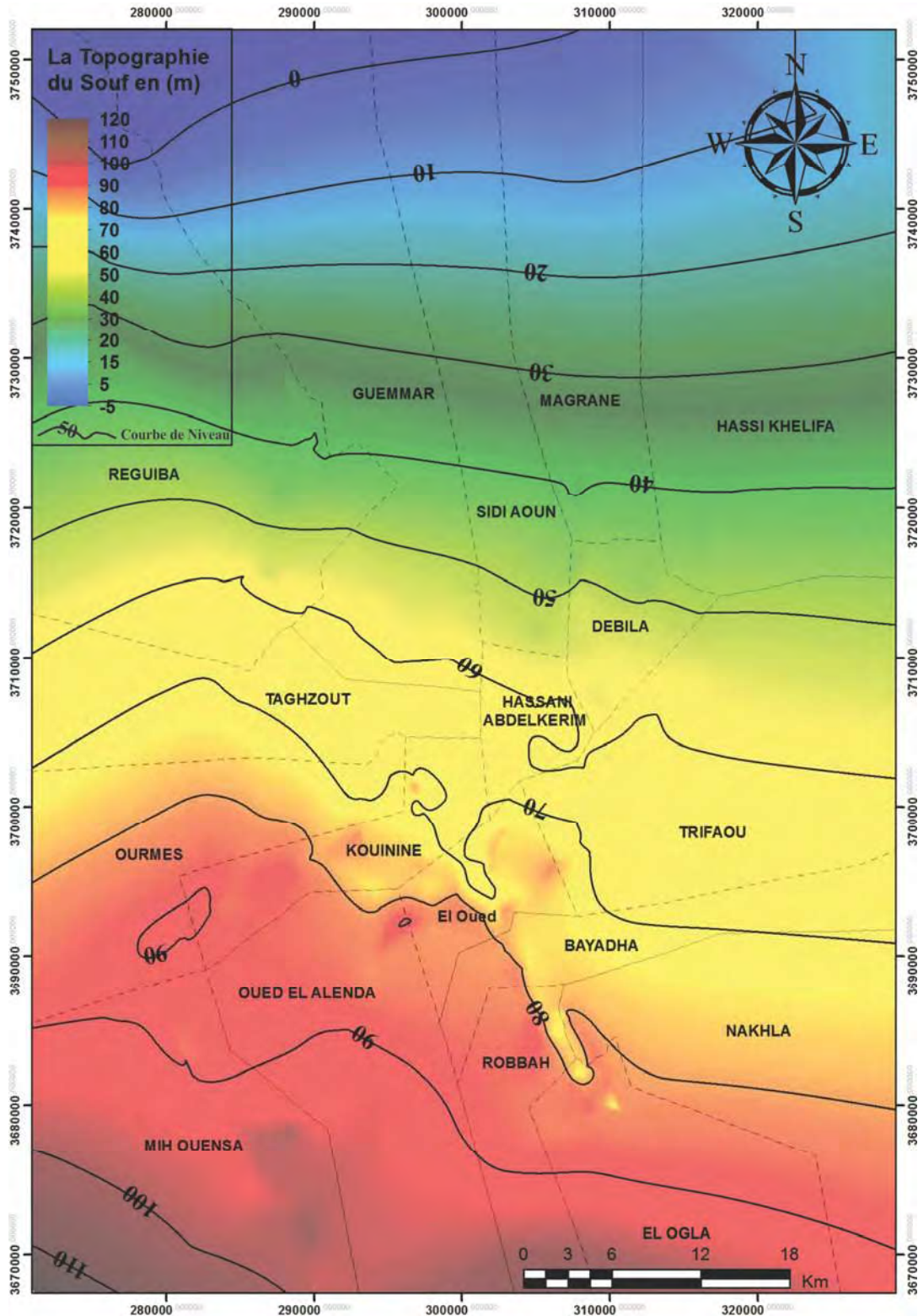


Figure 08. Topographie du Souf.

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

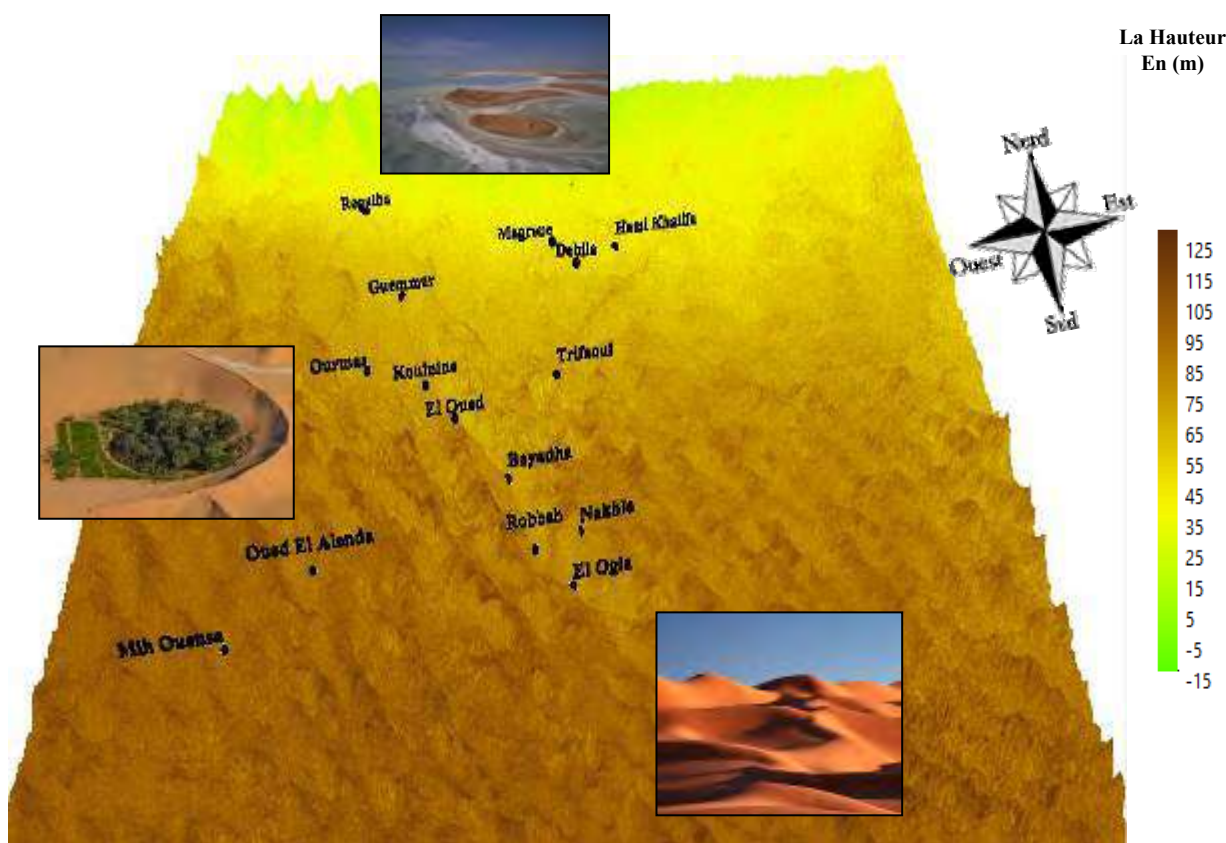


Figure 09. *Modèle numérique de terrain en 3D qui présente Les reliefs du Souf.*

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

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

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

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

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

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

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

I.5 - Contexte climatique du Souf :

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

I.5.1- Climatologie :

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

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

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

* Cumulé annuel

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

I.5.1.1- Températures :

La température moyenne annuelle est de 27,06 °C, avec un maximum en Juillet de 37,77 °C (maxima moyens 45,31 °C), et un minimum en janvier de 15,31 °C (minima moyens 9,62 °C) (Tableau I-1).

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

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

I.5.1.2- Précipitations :

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

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

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

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

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

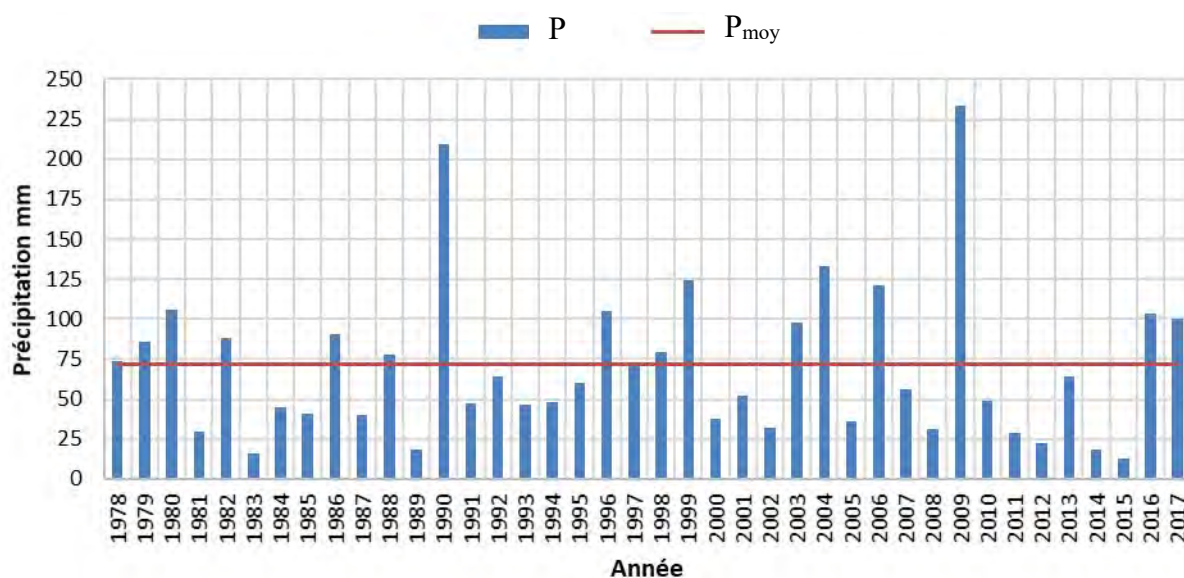


Figure 10. *Variation interannuelle des précipitations (1978-2017) du Souf.*

La station météorologique de Guemmar a enregistré 23 années de précipitations inférieures à la moyenne et 17 années au-dessus de la moyenne.

D'après Dubief (1963), les précipitations sahariennes ont une origine différente selon les saisons.

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

I.5.1.3- Evaporation potentielle :

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

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Joins	Juillet	Aout	Septembre	Novembre	Octobre	Décembre	Moyenne
Evaporation (mm)	76,47	99,55	148,93	197,68	252,37	278,76	316,13	278,88	200,08	149,64	99,68	76,00	2174,16*

* Cumulé annuel

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

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

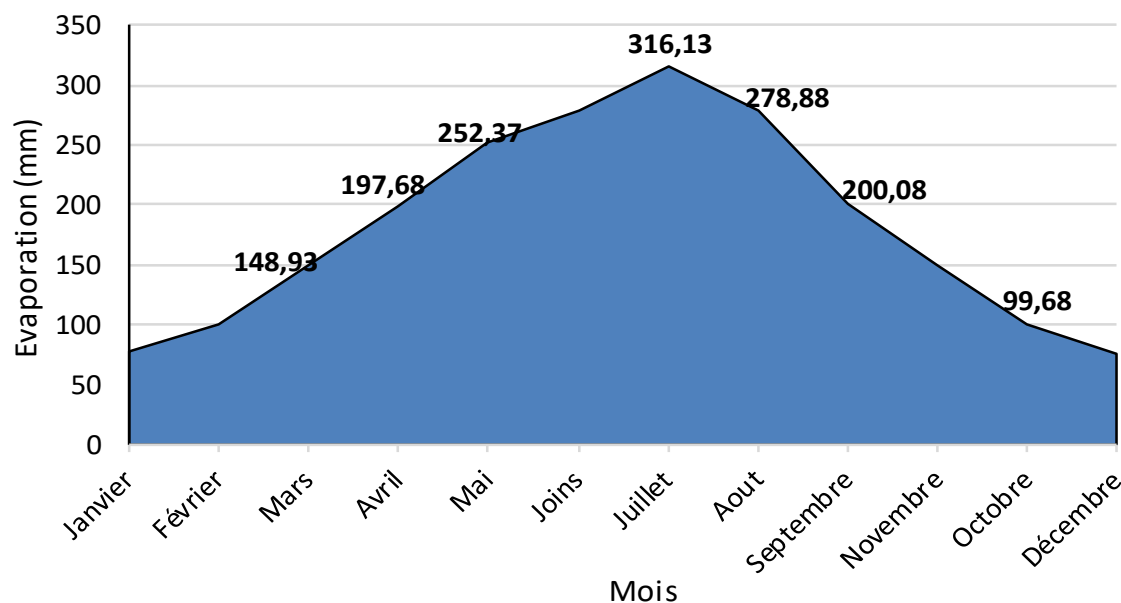


Figure 11 : L'évaporation potentielle de la région du Souf (1986-2009).

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

I.5.1.4- Vitesse du vent :

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

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Joins	Juillet	Aout	Septembre	Novembre	Octobre	Décembre	Moyenne
Vents (km/h)	21,13	27,17	31,78	37,83	38,83	38,09	33,22	29,52	29,96	21,17	19,52	19,78	29

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

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

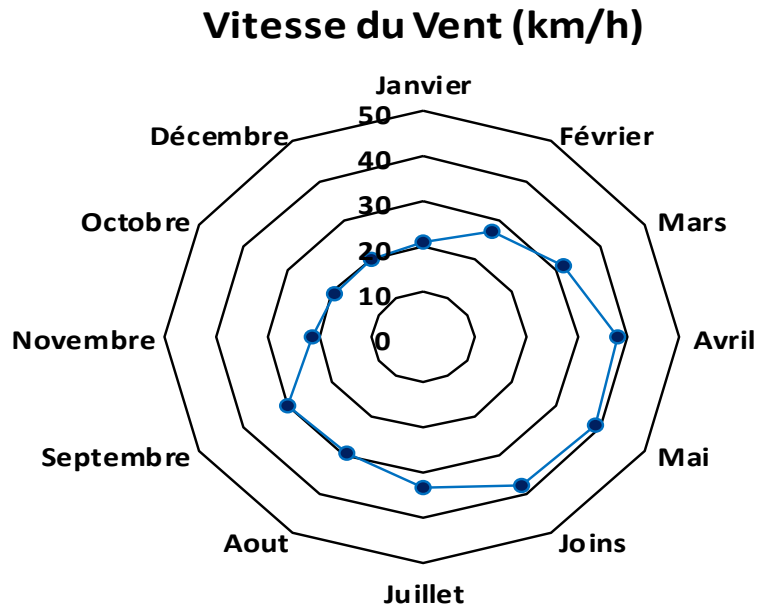


Figure 12 : *Les vitesses du vent dans la région du Souf (1993-2015).*

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

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

I.5.1.5- Humidité de l'air :

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

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

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

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

L'humidité de l'air est faible. La moyenne annuelle est de 47,59 % (Tableau I-5). Elle varie sensiblement en fonction des saisons de l'année.

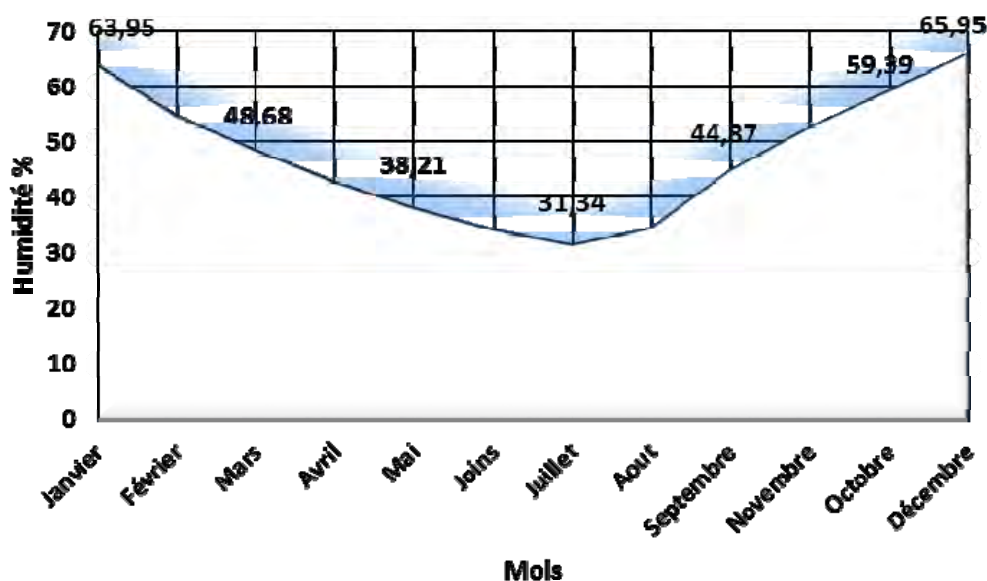


Figure 13 : Humidité de la région du Souf (1978-2015).

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

I.5.1.6- Insolation :

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

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Joins	Juillet	Aout	Septembre	Novembre	Octobre	Décembre	Moyenne
Insolation (h)	236,37	247,08	278,39	281,92	308,20	342,09	352,59	329,06	271,82	259,20	238,52	225,92	3371,15*

* Cumulé annuel

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

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

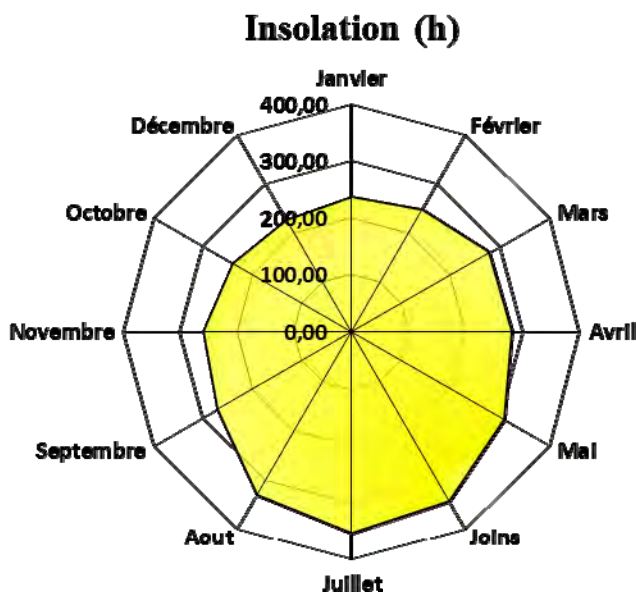


Figure 14 : *Insolation de la région du Souf (1997-2009).*

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

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

I.5.2- Synthèse climatique :

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

I.5.2.1-Diagramme Ombrothermique de Gausсен :

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

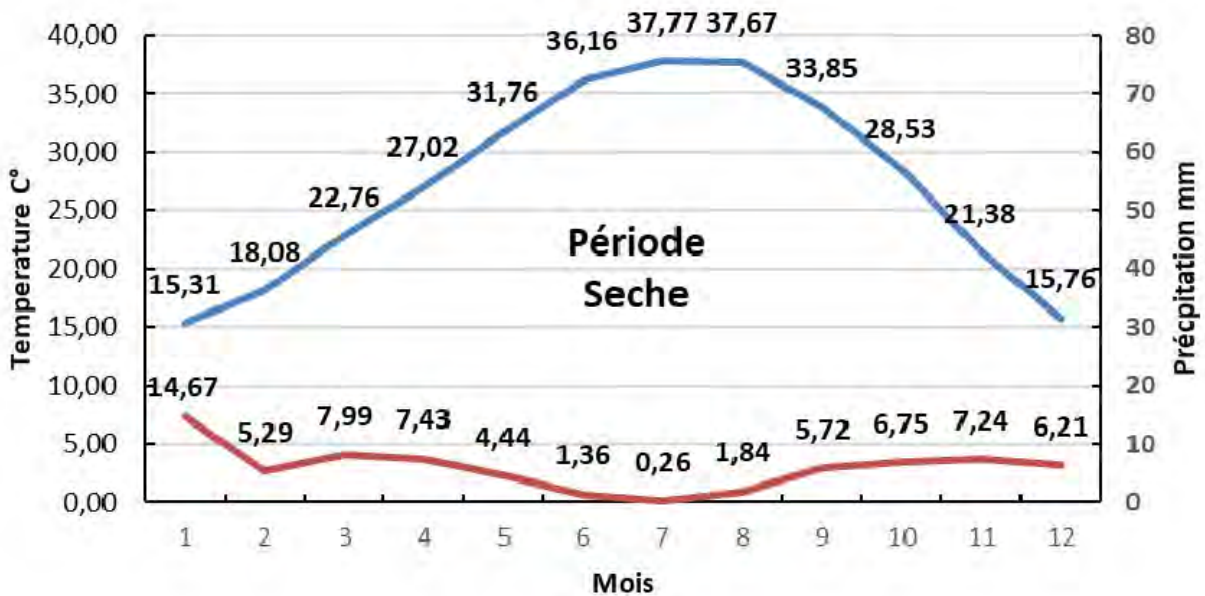


Figure 15. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN du Souf (1978-2017).

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

I.5.2.2-Quotient pluviothermique :

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

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

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

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

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

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

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

P : Pluviosité moyenne annuelle en mm.

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

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

3,43 : Coefficient de Stewart établi pour l'Algérie

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

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

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

$$m = 3 \text{ C}^{\circ} \quad m = 276,15 \text{ k}^{\circ}$$

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

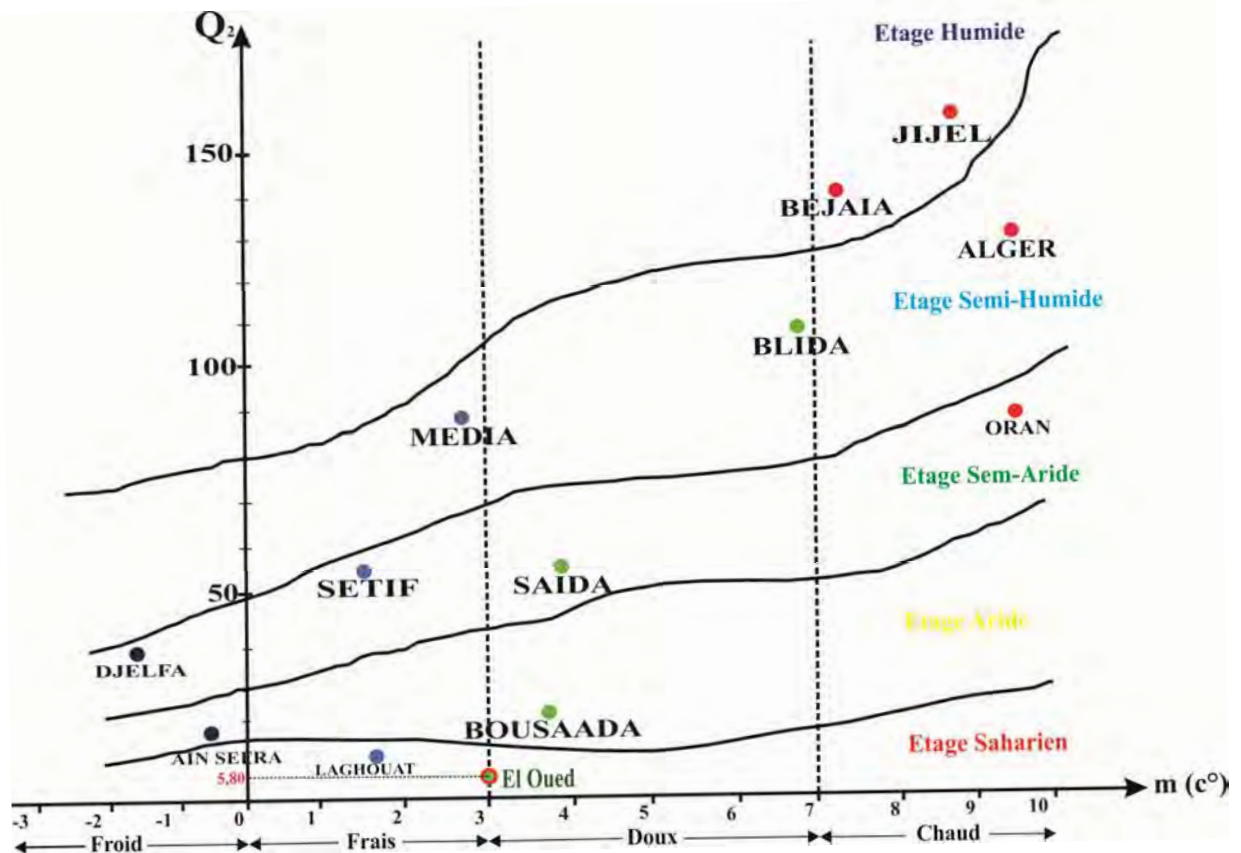


Figure 16. Climagramme d'Emberger pour la région du Souf.

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

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

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

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

Avec :

I_{DM} : Indice d'aridité.

P : Précipitation moyenne mensuelle (mm).

T : Température moyenne annuelle ($^{\circ}\text{C}$).

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

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

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

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

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

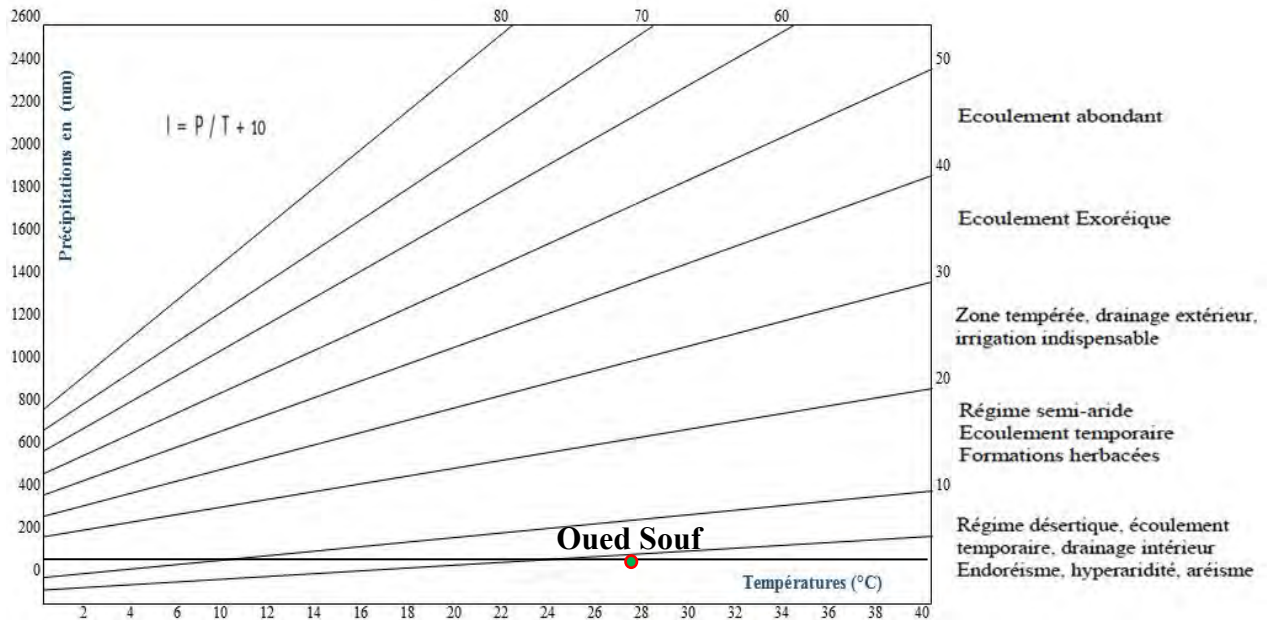


Figure 17. Abaque de l'indice d'Aridité de DE MARTONNE de la vallée du Souf.

Conclusion :

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

L'Oasis du Souf est un petit morceau de cet immense territoire géomorphologique que constitue le Grand Erg oriental ; du point de vue géographique considéré le Souf est point de milieu de grand Erg c'est-à-dire la liaison entre toutes les régions du Sud-Est. Et du point de vue économique c'est le centre commercial agricole, industriel, artisanal ...etc. Caractérisé par un climat aride de température moyenne annuelle 27,06 °C avec une altitude moyenne de 80 m, et de précipitation annuelle 71,75 mm.

Chapitre II

Géologie & Hydrogéologie de la région du Souf

II.1- Géologie de la région du Souf :

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

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

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

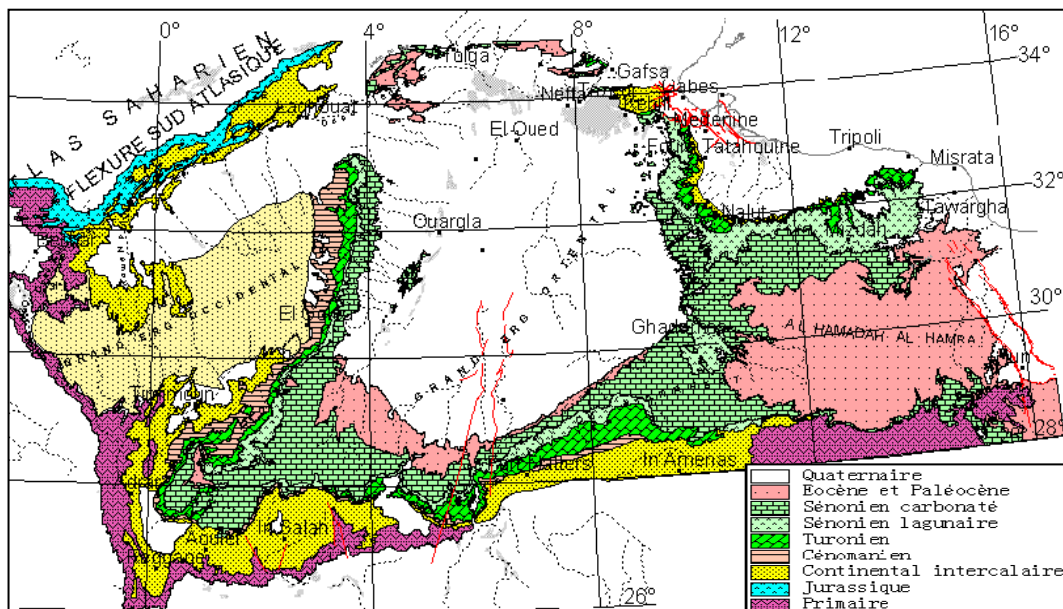


Figure 18. Carte géologique du Grand Erg Oriental, (Baba Sy.M, 2005).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

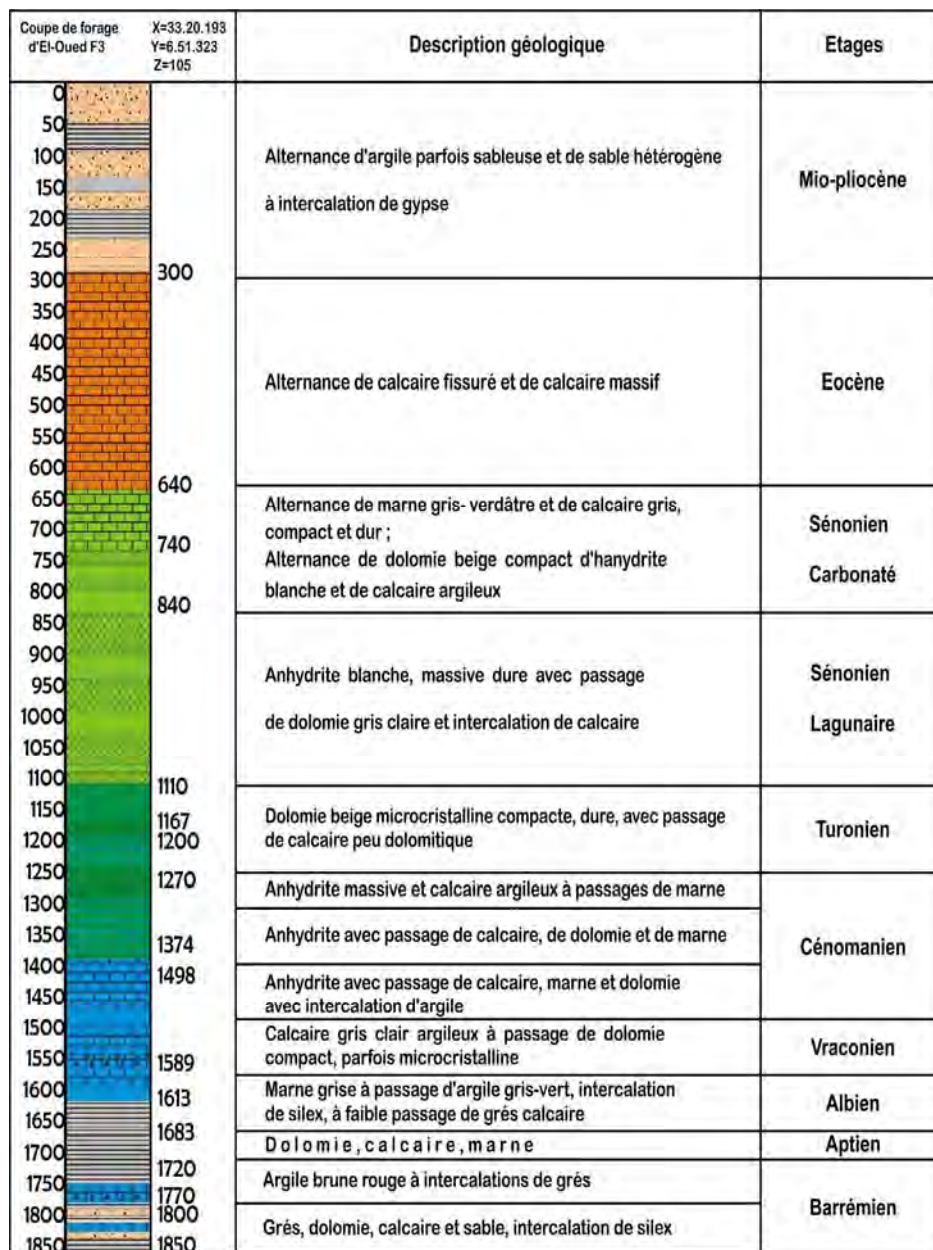


Figure 19. Log de forage Albien F3, Cité 19 Mars El Oued (D.R.E, 2017).

II.2- Hydrogéologie du Souf :

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

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

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

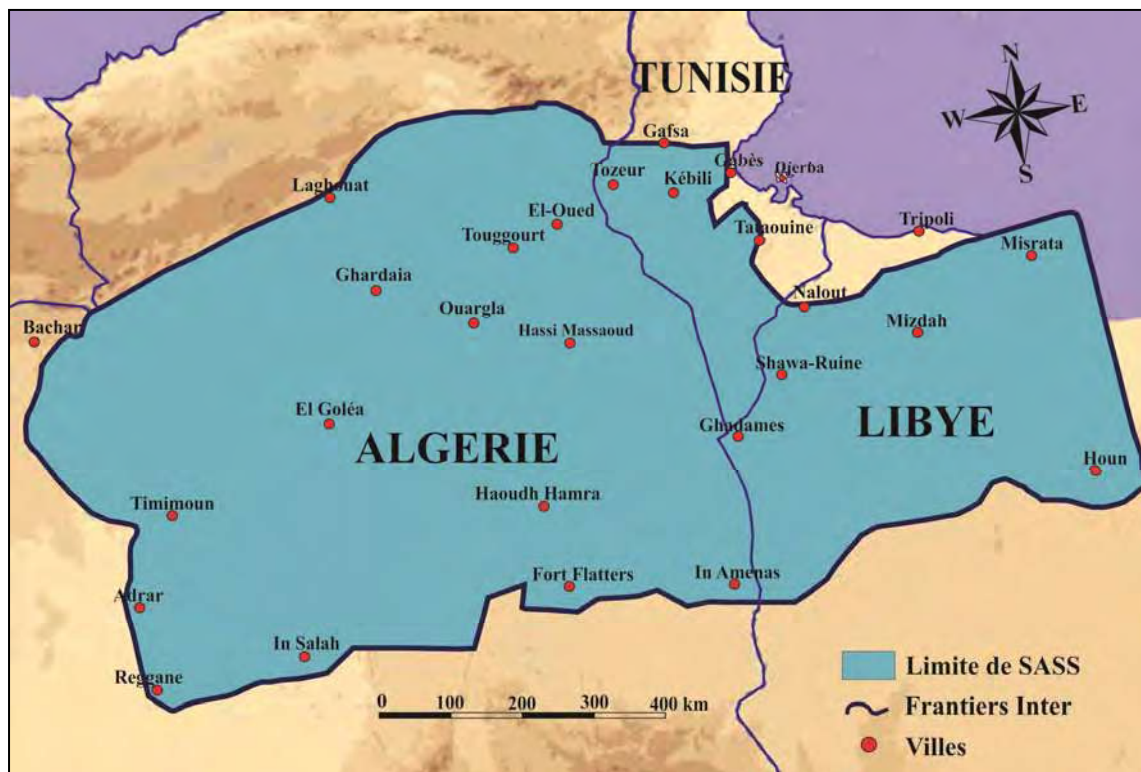


Figure 20 : *Limites du Bassin de Système Aquifère du Sahara Septentrional SASS (OSS, 2003) Modifier.*

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

Au Souf, groupe d'Oasis au sein du Grand Erg oriental, comme dans la plupart des oasis du Sahara septentrional, les seules ressources hydriques disponibles sont les nappes d'origine souterraine. Les nappes d'eau souterraines de la région du Souf sont contenues dans des formations aquifères de nature différente. A l'échelle régionale et du pays, les auteurs (Baba SY, 2005 ; BRL-BNEDER, 1999 ; Cornet, 1961 ; Castany, 1982 ; 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 de couches d'épaisseur et de caractéristiques hydrogéologiques variables.

II.2.1- Nappe du Continental Intercalaire :

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



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

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

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

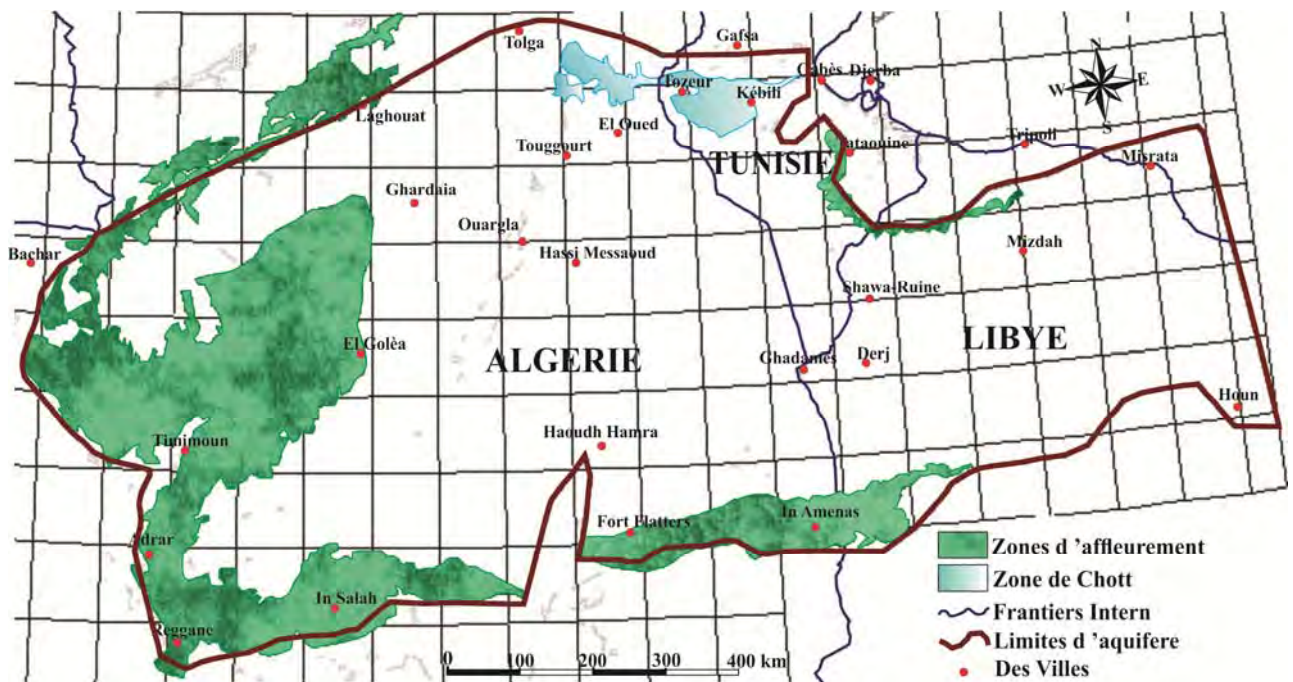


Figure 22. Les zones de recharge de CI (OSS, 2015) Modifier.

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

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

➤ De façon directe par infiltration des eaux de ruissellements qui se produisent sur les zones périphériques d'affleurement, notamment :

- Dans le piémont de l'Atlas saharien (Nord – Ouest),
- Dans le massif du Dahar (Est),
- Sur les rebords Ouest (Touat, Gourara) et sud (Tidikelt) du plateau de Tademaït, ainsi que sur le rebord Sud du plateau du Tinrherth et sa prolongation en Libye jusqu'au

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

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

Baba SY et *al.*, (2006) met en évidence les zones d'alimentation qui sont: a) piémont sud atlasique au Nord-Ouest, b) Tinrhert au Sud, c) Dahar à l'Est, d) 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 23). Cette alimentation reste toutefois tributaire de l'occurrence des pluies et des quantités précipitées.

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

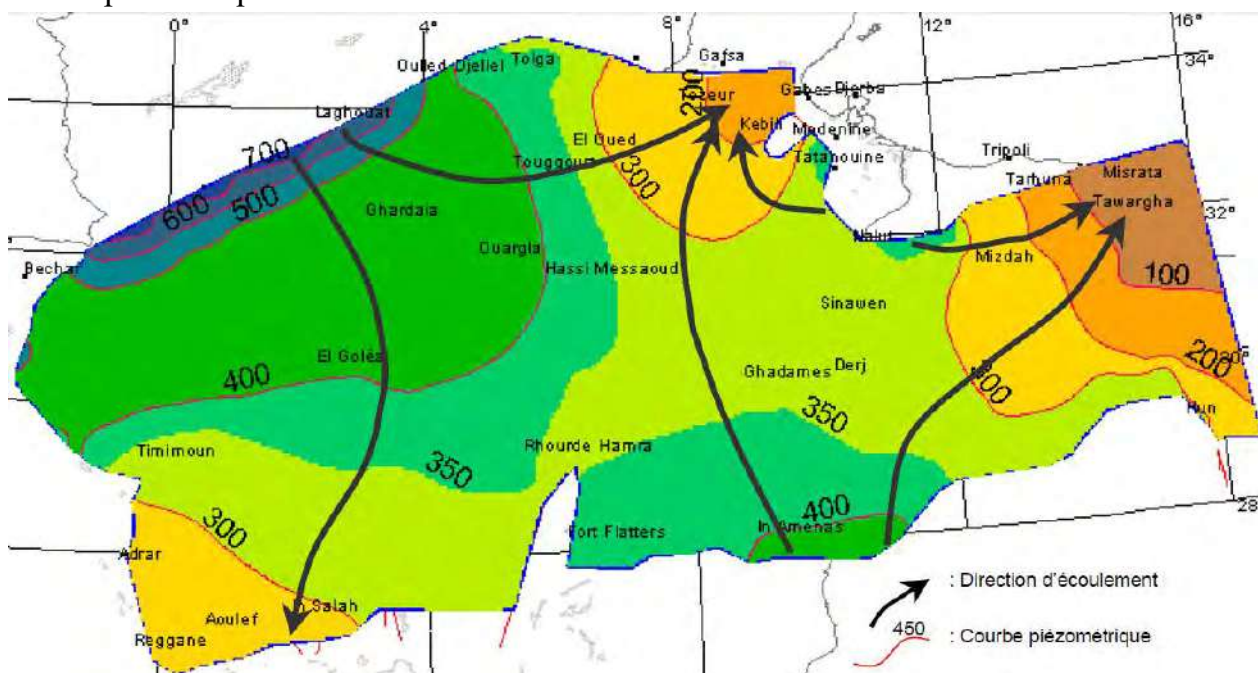


Figure 23. Carte piézométrique initiale du CI (OSS ; 2003a)

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

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

II.2.1.2- L'exutoire du CI :

L'exutoire naturel principal de l'aquifère est situé en Tunisie (Figure 24). 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.

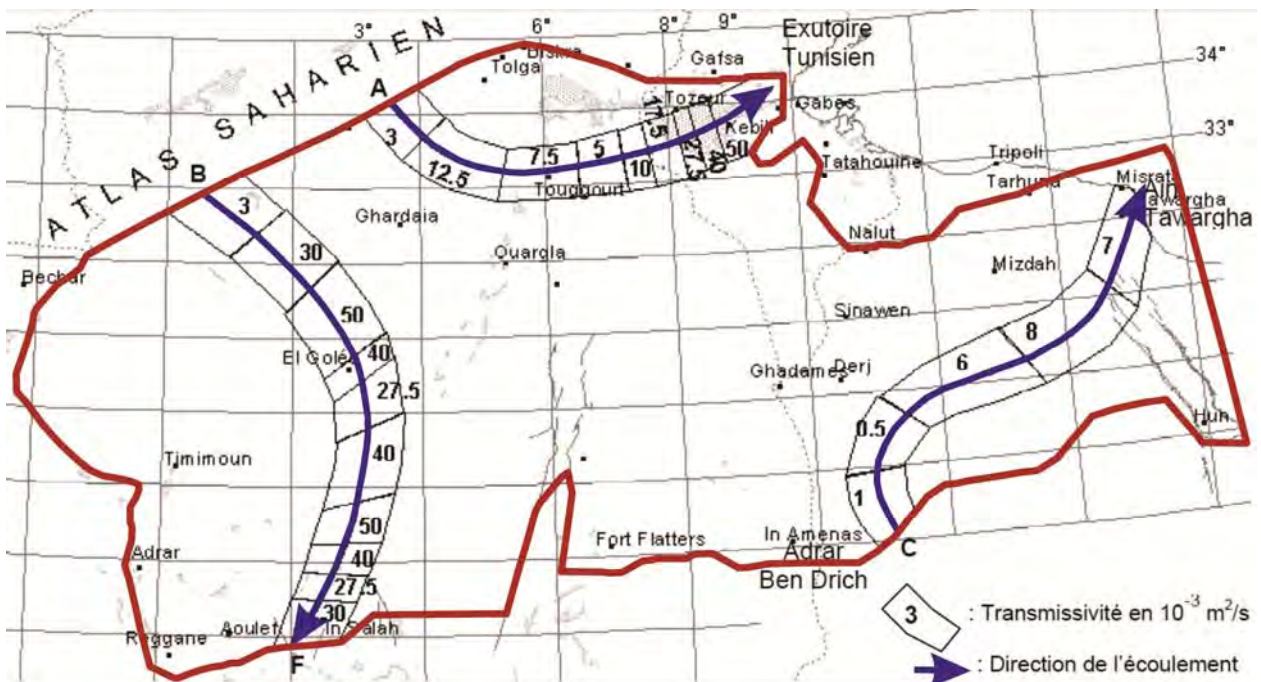


Figure 24. Carte sens d'écoulement vers l'Exutoire du CI (OSS ; 2003a). Modifier

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 au Sud (Figure 24).

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

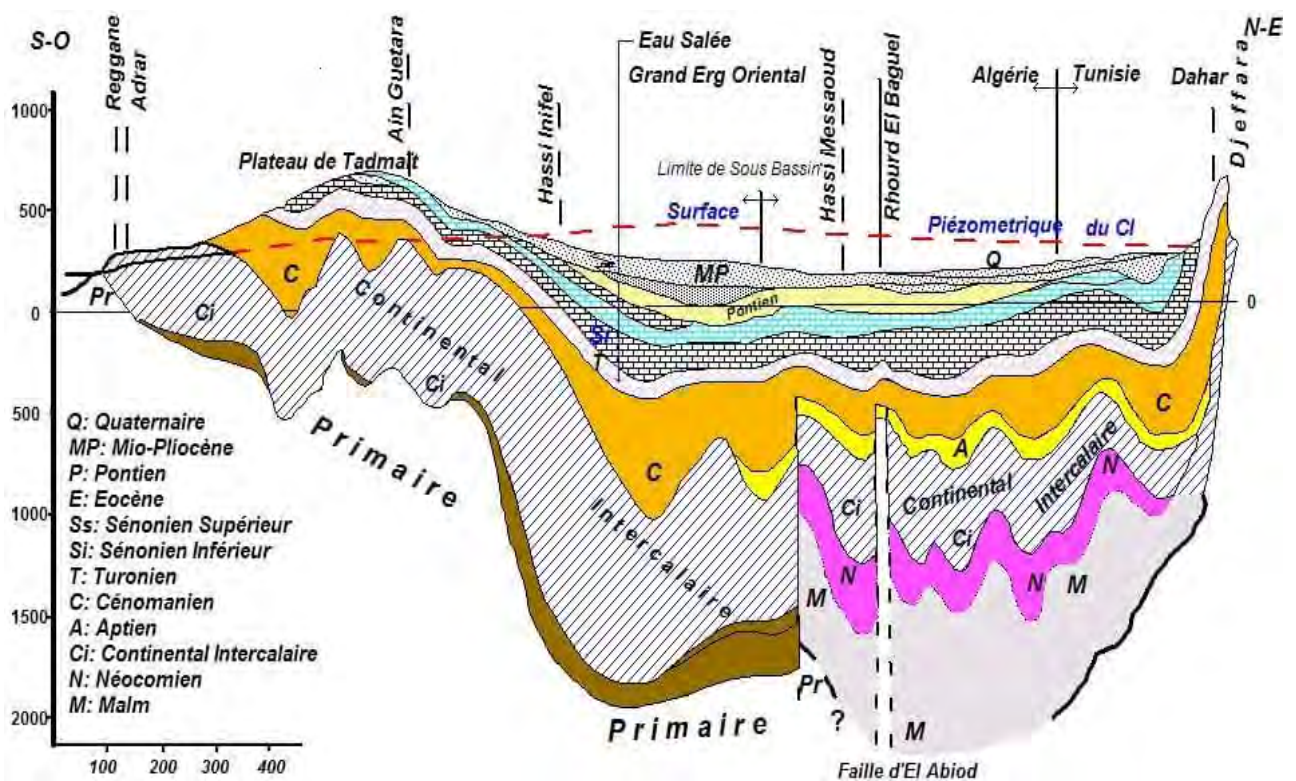


Figure 25. Coupe hydrogéologique synthétique du Sahara Septentrional (UNESCO, 1972a).

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

Aujourd'hui il existe, dans l'ensemble de la région du Souf, quatre (4) forages du Continental Intercalaire (Figure 26) ; trois en production (AEP) et le nouveau forage du 19 Mars réalisé pour alimenter la station de traitement d'osmose inverse à réaliser.

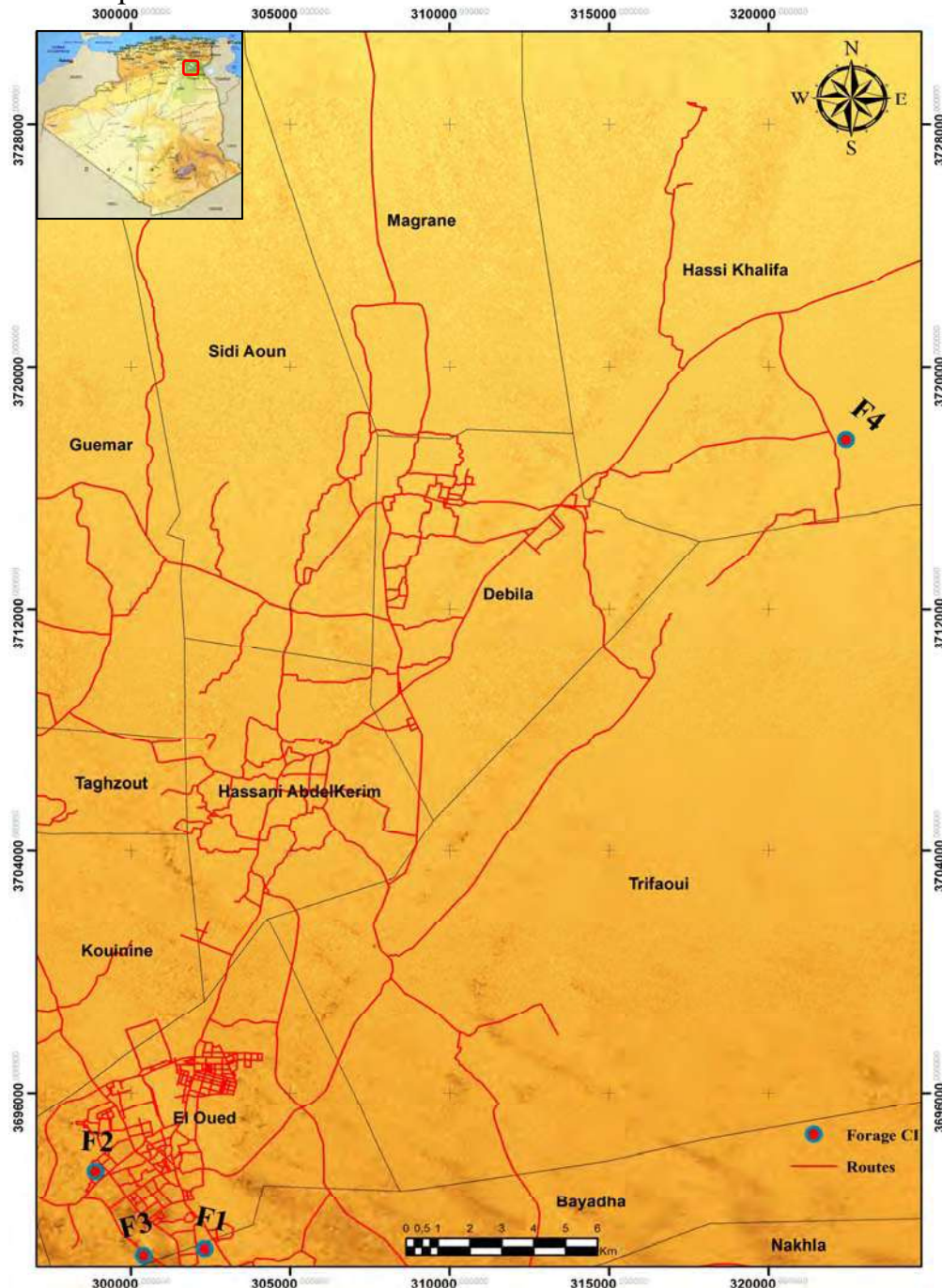


Figure 26. Les forages du Continental Intercalaire de la région du Souf en 2016.

Ils sont totalement destinés pour couvrir les besoins domestiques. La demande en eau industrielle est cependant très faible (négligeable).

II.2.2- 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 Etude des Ressources en Eau du Sahara Septentrionale 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.

Les terrains constitutifs du Complexe Terminal s'étendent sur une superficie d'environ 350.000 km² (Figure 27) 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).



Figure 27. Limites de l'aquifère du Complexe Terminal (OSS, 2003b). Modifier

II.2.2.1- Les zones d'alimentation du CT :

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-quaternaire et le Continental Intercalaire, fait que le Complexe Terminal se confond avec le Continental Intercalaire sous le grand Erg occidental (figure 28), alors que dans le bassin oriental, il forme un aquifère nettement hétérogène.

* Selon EDMUNDS et *al*. (1997), Baba SY (2005) et l'OSS (2003), 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-Atlantique, 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 (Figure 28).

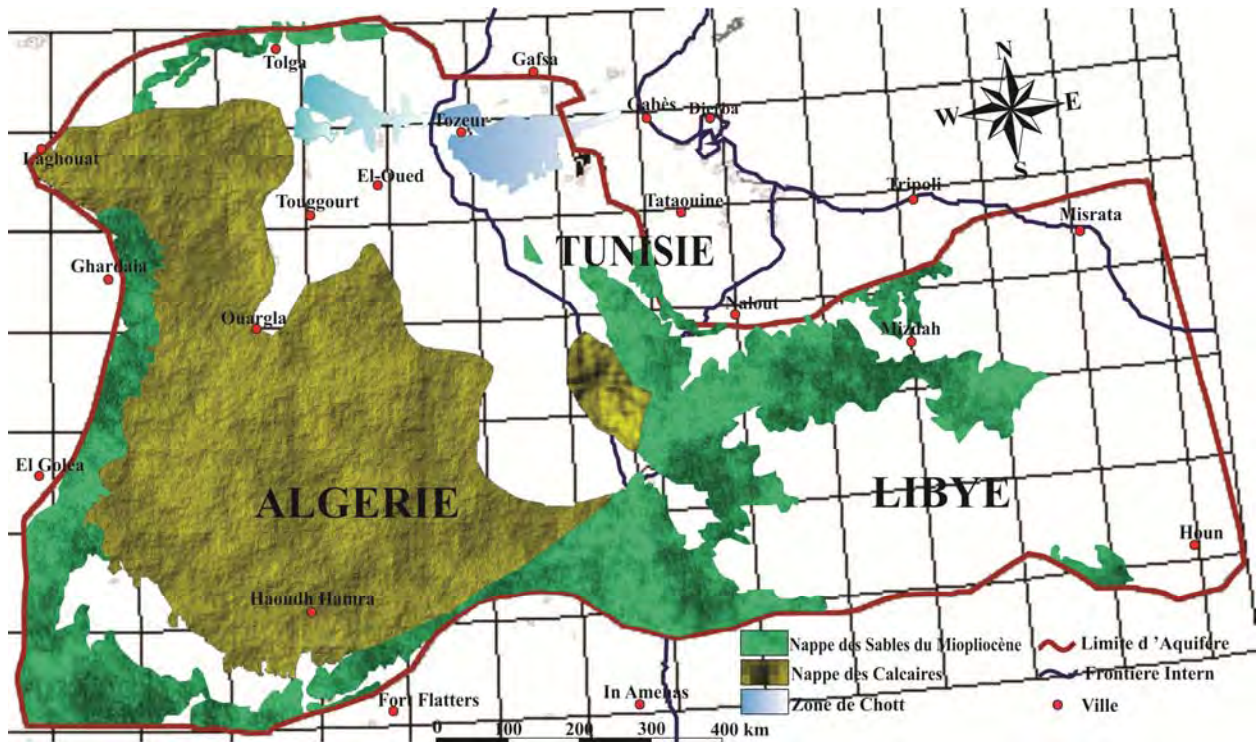


Figure 28. Les zones d'alimentation de CT (Baba SY, 2005). Modifier

II.2.2.2- L'exutoire du CT :

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).

Dans le Sud tunisien et en Libye cette direction d'écoulement vers le Nord-Ouest puis vers le Nord se poursuit (Figure 29), avec un fort gradient en Libye par suite de la réduction de transmissivité du réservoir (BRL-BNEDER, 1999).

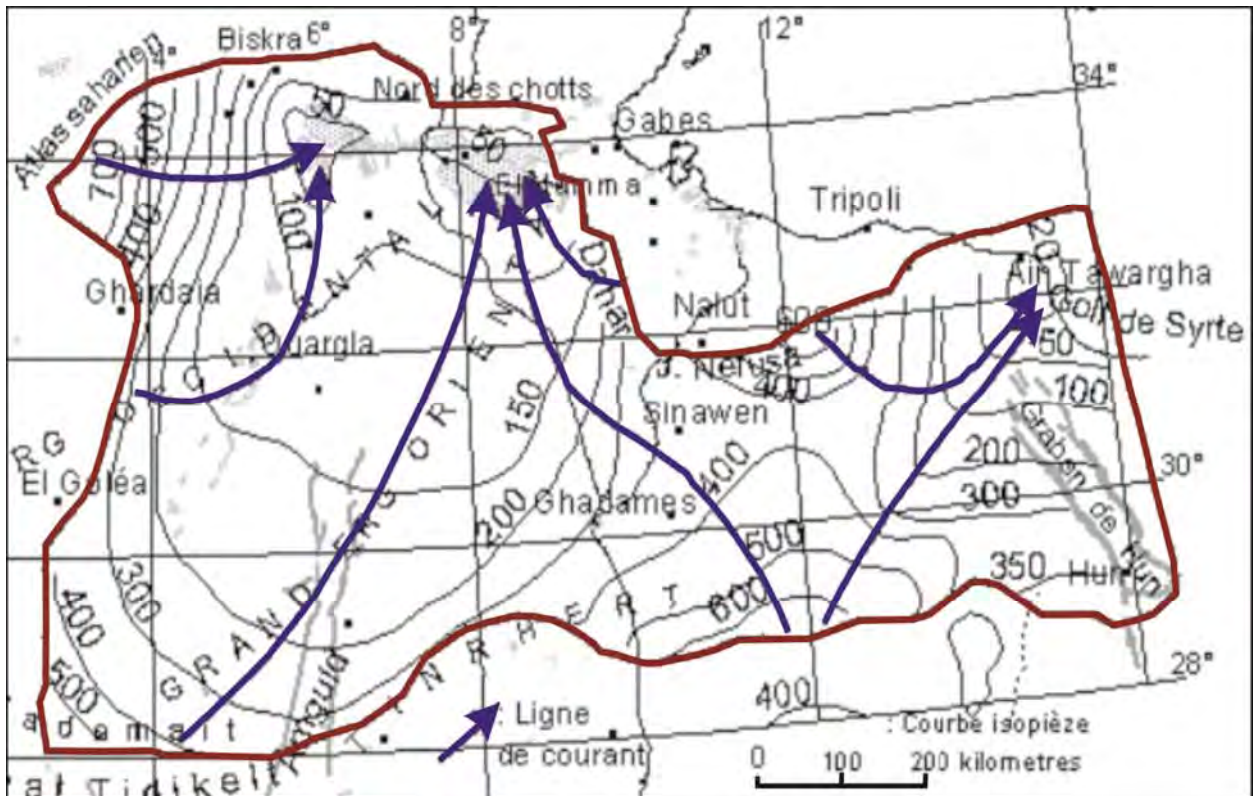


Figure 29. Limites de l'aquifère du Complexe Terminal avec les niveaux piézométriques et le sens d'écoulement (Baba SY et al., 2006). Modifier

Les zones d'exutoire sont principalement centrées sur les Chotts Algéro-Tunisiens et sur le Golfe de Syrte (Figure 29), où les nappes sont artésiennes sous couverture semi-perméable peu épaisse (Figure 25). 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.

D'après Voisin A.R (2004) la baisse générale du niveau piézométrique des eaux de la nappe phréatique 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.

II.2.3- L'exploitation de CT dans la région du Souf :

Le premier forage semi-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).

D'après l'inventaire des forages de la **DRH** El Oued, il existe Actuellement dans la Région du Souf 153 forages du **Complexe Terminal** sur un ensemble de plus 760 forages pour l'ensemble de la wilaya d'El Oued (Righ, Souf) ; où dans la région du Souf 124 forages destinés à l'**Alimentation en Eau Potable** (Figure 30).

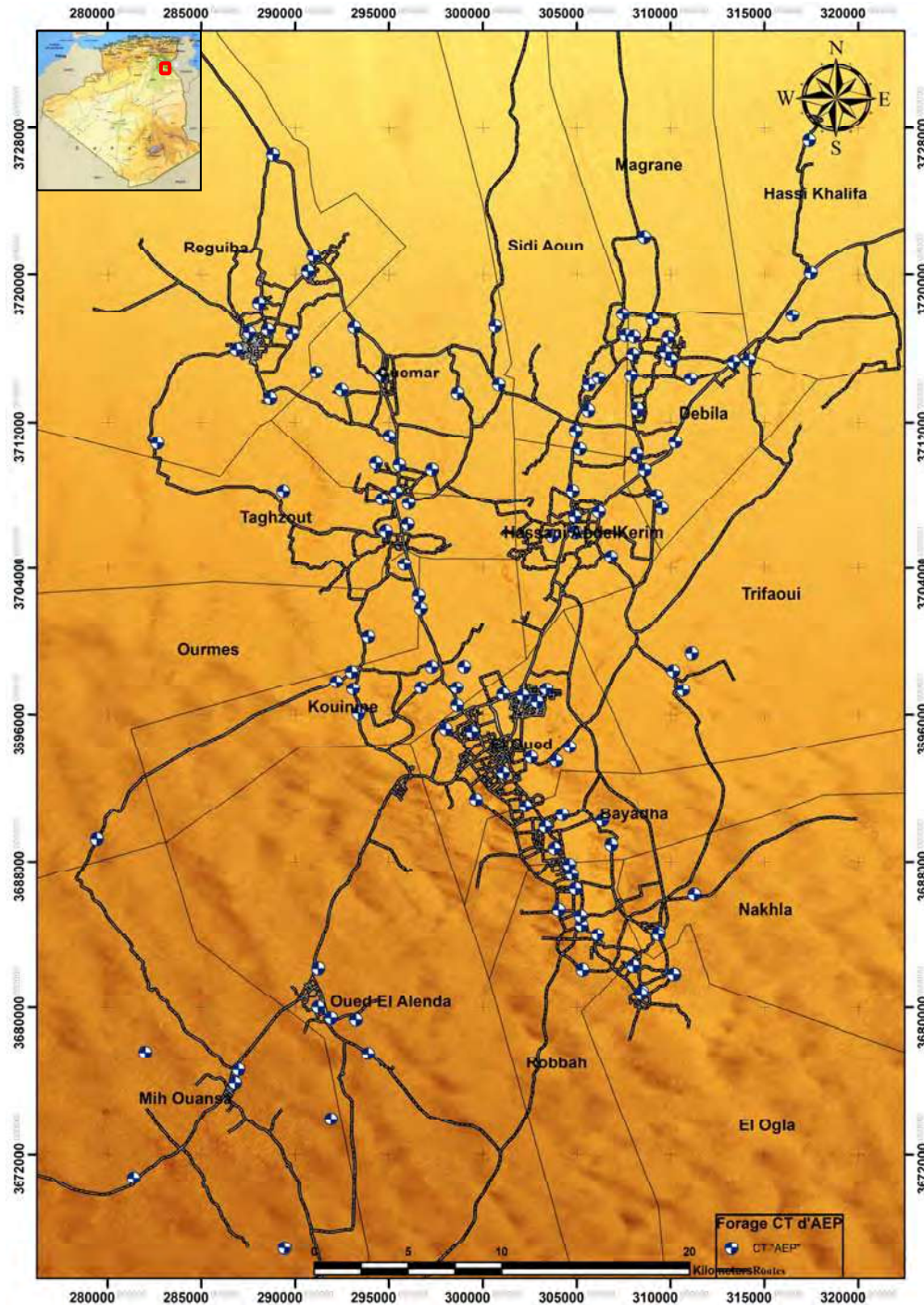


Figure 30. Les forages (CT) d'Alimentation en Eau Potable dans la région du Souf en 2016.

Pour le secteur agricole il y a dans la région du Souf des grands investissements. Qui besoin d'un grand volume d'eau pour l'irrigation ; pour cela la Direction des Ressources Hydrauliques (DRH-El Oued) d'El Oued a attribué 29 forages pour l'irrigation (Figure 31).

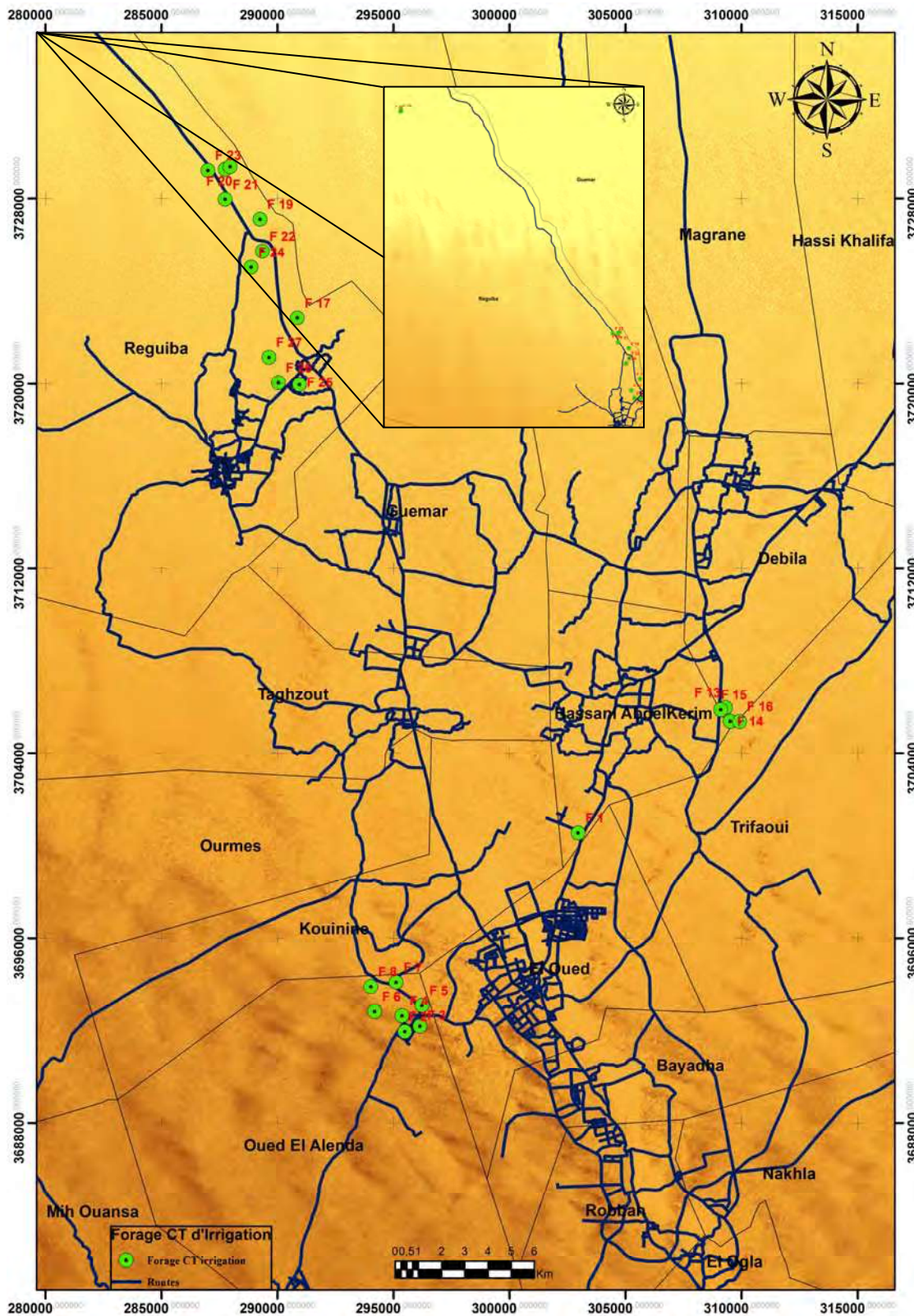
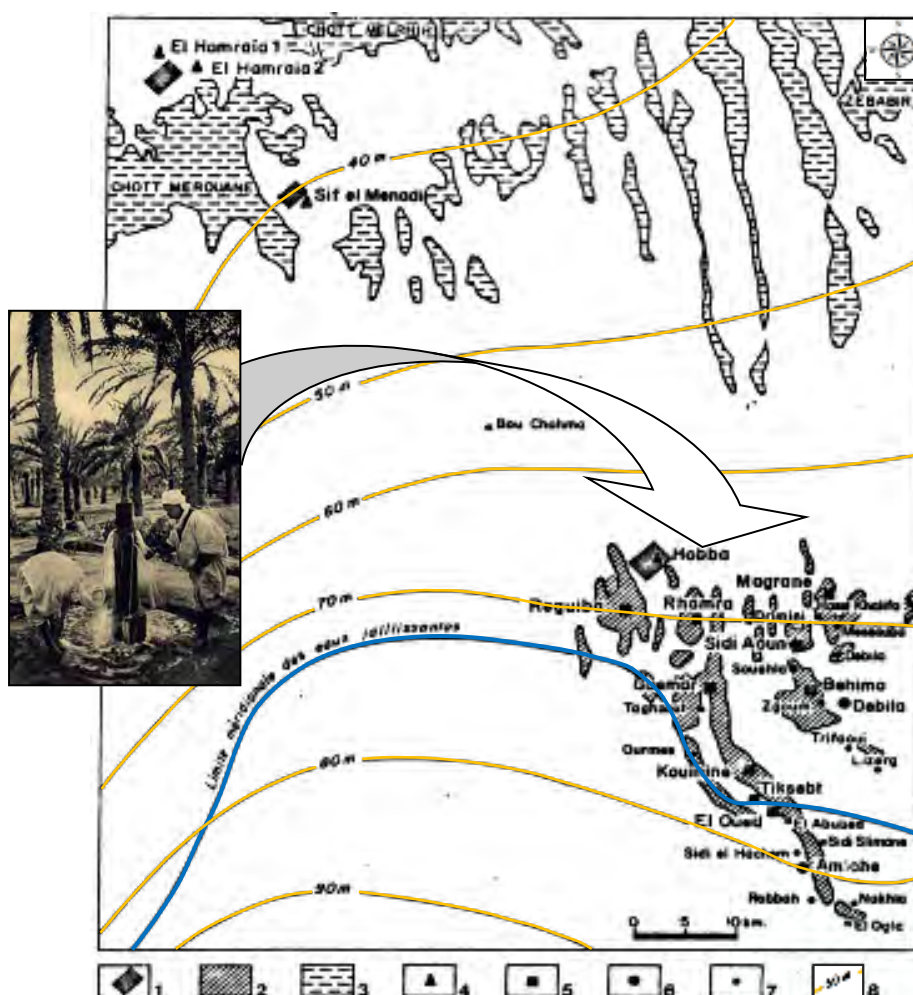


Figure 31. Les forages CT d'irrigation dans la région du Souf en 2016.

D'après la DRH d'El Oued le débit exploité dans la wilaya d'El Oued à partir des deux aquifères du Complexe Terminal atteint environ $18 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Mais pour les communes de notre région d'étude le débit exploité ne dépasse pas $4,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

II.2.3.1- Piézométrie du CT région du Souf :

D'après les travaux de Claude Nesson 1978 (Figure 32), et au cours de la dernière campagne d'inventaire et de mesure, il est trouvé que la pression a pu être déterminée sur la plupart des forages exécutés depuis 1952 grâce aux équipements de surface prévus à cet effet. Ces mesures ont permis de constater des baisses du niveau piézométrique sur tous les puits (forage), depuis l'année de leur réalisation. Ainsi une diminution de 17 mètres a été enregistrée à Sif El Menadi, à l'aval de la surface isopièze, entre 1953 et 1967.



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 Terminal (Eocène-Pontien inférieur). Le trait gras en bleu marque la limite méridionale des eaux jaillissantes du Complexe hydraulique Terminal.

Figure 32. Carte piézométrique du CT du Souf en 1967 (Nesson. C, 1978) Modifier.

NB : Tous les zones au Nord de la limite méridionale (ligne Blue) ; leurs forages sont artésiens.

Les mesures du niveau piézométrique (la pression) dans les forages sahariens se heurtent à de nombreux problèmes :

➤ Le premier problème est l'absence ou le nombre très limité de véritables piézomètres spécifiquement destinés aux mesures par suite des profondeurs importantes (cas du Continental Intercalaire) ce qui entraînerait des coûts prohibitifs des piézomètres. Les mesures piézométriques sont donc généralement faites sur des forages en exploitation ce qui suppose l'arrêt du pompage ou la fermeture du forage, s'il est artésien, pendant au moins plus de 72 heures.

Cette opération se heurte aux réticences des usagers qui se trouvent ainsi privés d'eau, durant un certain temps. Pour notre étude, l'ANRH a réalisé douze 12 forages (piézomètres pour la surveillance) distribués géographiquement dans la région du Souf.

➤ Le deuxième problème est lié aux difficultés de mesure sur les forages jaillissants dont la fermeture n'est pas toujours possible et qui ne sont pas toujours équipés d'une sortie en amont de la vanne pour brancher le manomètre. En général, une mesure a été faite au moment de la réalisation du forage.

* Pour réaliser une carte piézométrique récente plus précise et plus proche de la réalité, on a fait plusieurs campagnes piézométriques en 2012 avec le groupe **A.N.R.H** (Agence National de **R**essources **H**ydrique) de Touggourt ; où on a pris les niveaux piézométriques au niveau de 12 forages de surveillance (piézomètres du **CT**), où on a ajouté au basse de donnée plus de 60 forages distribué dans toute la wilaya d'El Oued c'est-à-dire plus de 80 forages (45 forages dans la région du Souf et le reste distribué entre les régions frontalières «Douar ElMaa, Taleb ElArbi, Bengacha » et la région d'Oued Righ Nord) (Figure 33).

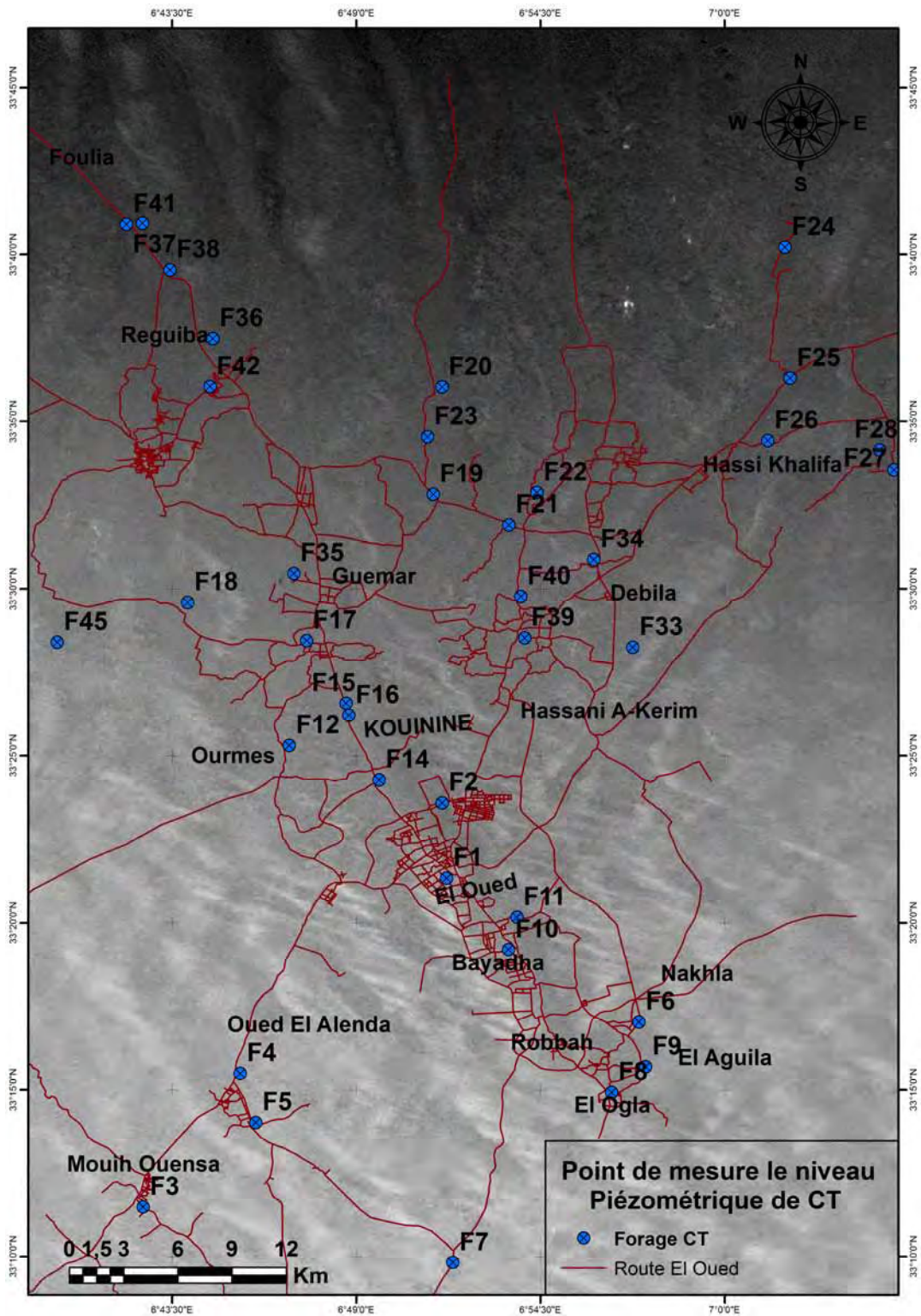


Figure 33. Carte d'inventaire des points des prélèvements (Forages) du CT pour la campagne piézométrique de 2012.

À l'aide de la base des données de la **D**irection des **R**essources **H**ydriques (**DRH**) wilaya d'El Oued, qui concerne le niveau piézométrique pour les nouveaux forages réalisés

en 2012, ou les forages qui changer leurs pompes (en panne) pendant l'année 2012 ; on a réalisé la carte piézométrique du CT de la région du Souf (Figure 34).

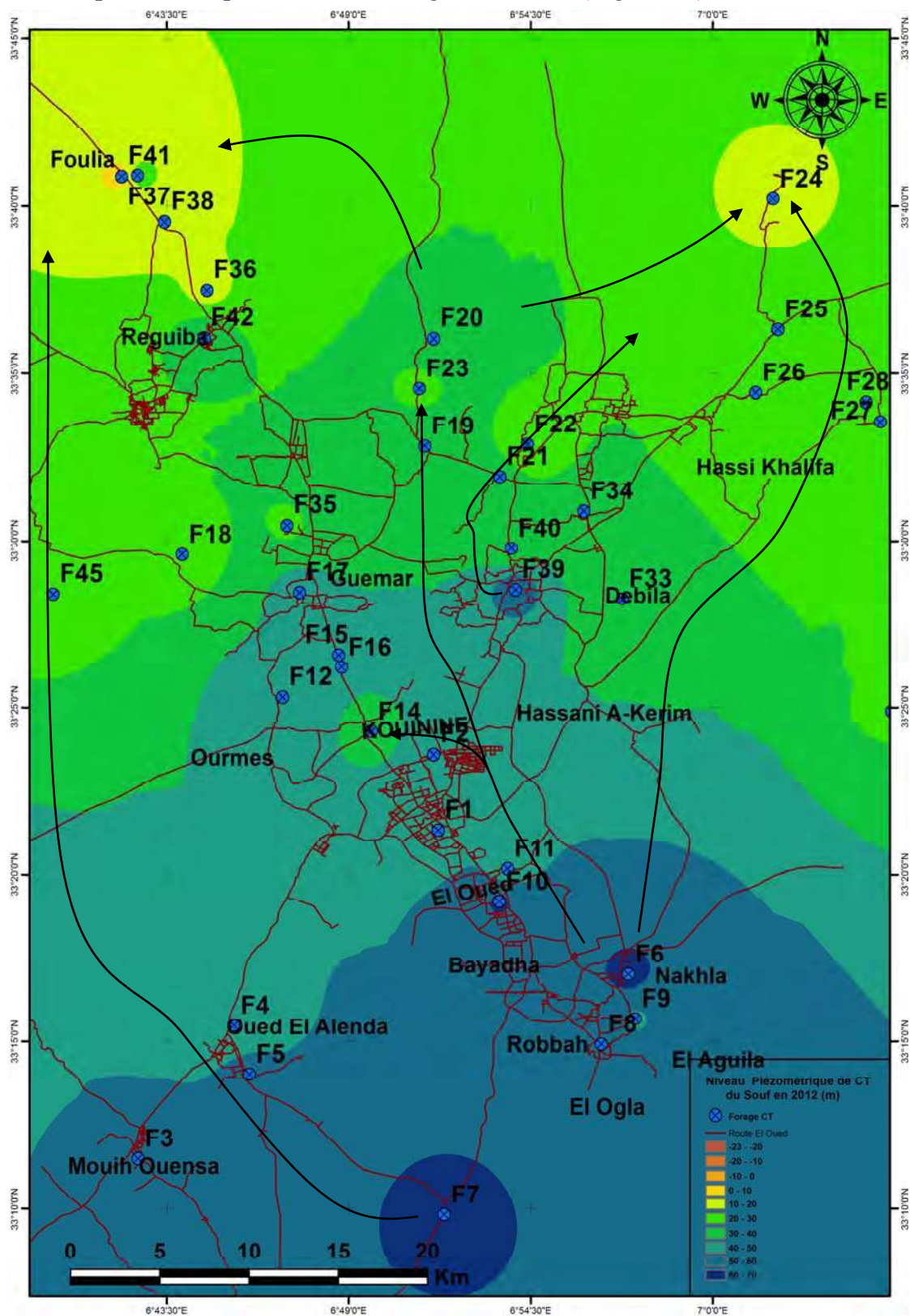


Figure 34. Carte piézométrique du CT en 2012 du Souf.

A partir de la carte piézométrique de la nappe du CT et la direction des axes d'écoulement il en sort les informations suivantes :

Les lignes iso-pièzes sont généralement parallèles, serrées dans les zones urbaines et espacées dans le reste de la région ; les axes d'écoulement sont de direction :

- Sud vers Nord-Est et, Sud-Ouest vers Nord-Est dans la partie nord du Souf.
- Sud vers Nord-Ouest et Sud vers le Nord-Est dans le secteur Sud.

Les courbes serrées se traduisent par un gradient hydraulique fort et une vitesse d'écoulement élevé et une faible perméabilité. Et les courbes espacées traduisent une bonne perméabilité et un gradient hydraulique faible et une vitesse d'écoulement.

Et pour donner une vision un peu complète sur la situation d'exploitation du Complexe Terminale, on a créé un **Modèle Numérique de Terrain (MNT) en 3D** qui présente la piézométrie (les zones artésiennes) de la région du Sud-Est (Figure 35).

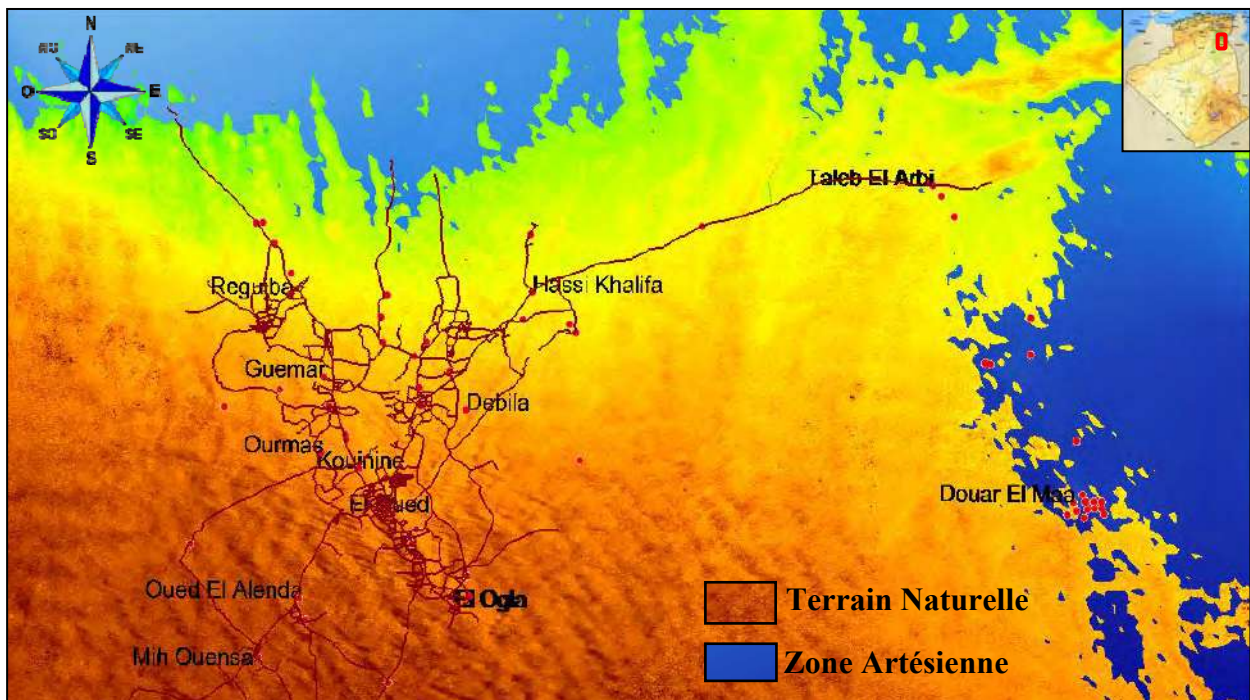


Figure 35. Les zones artésiennes du CT pour les régions du Souf en 2012,

D'après MNT (Modèle Numérique de Terrain) qui présente la surface piézométrique du CT et la surface du terrain ; on remarque une perte l'artésiennité dans tout le Nord du Souf, où la carte piézométrique de Claude Nesson indique en 1967 que tous les forages des Communes : El Oued, Kouinine, Guemmar, Taghzout, Hassani Abdelkrim, Debila ...etc., c'est-à-dire toutes les communes au Nord de la commune d'El oued est caractérisé de nappe Complexe Terminale artésienne.

II.2.3.2- Qualité des eaux du CT dans la région du Souf :

Il y a plusieurs études et campagnes de mesures faites par des chercheurs et des organisations internationale et nationale (l'OSS, l'ANRH ...etc.) pour connaitre la qualité des eaux des nappes souterraines surtout les nappes du Complexe Terminal (le plus exploité dans la région Sud-Est d'Algérie pour l'AEP).

Un réseau d'échantillonnage (Figure 36) a été choisi pour permettre d'acquérir des données représentatives sur la variabilité spatiale de la qualité des eaux souterraines de la nappe du CT.

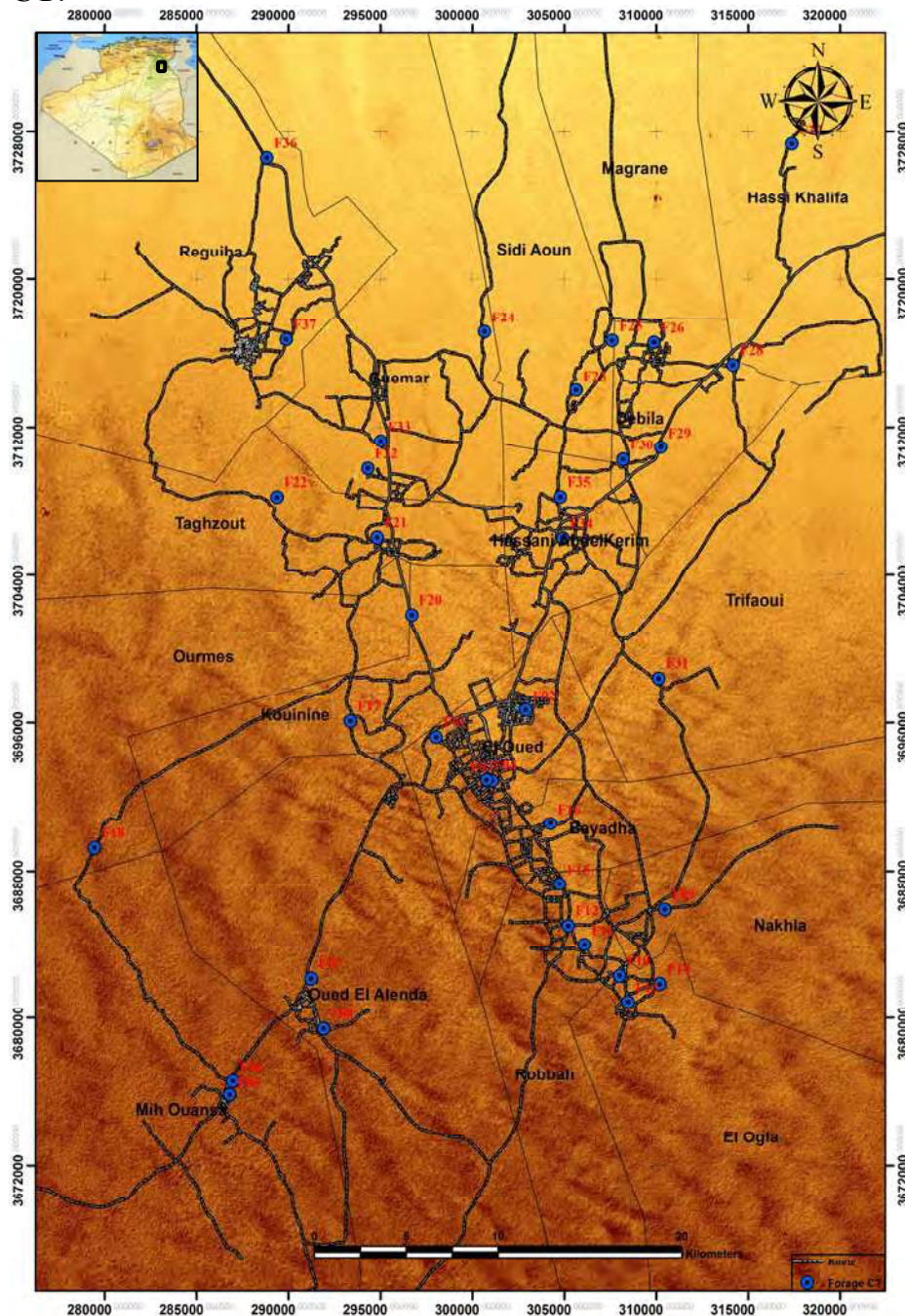


Figure 36. Carte d'inventaire des points d'échantillonnage (Forages) pour les analyses des eaux du CT du Souf en 2016.

Ce réseau se compose de trente-sept (37) points d'eau (forages) répartis sur l'ensemble du terrain du Souf (Figure 36) ; où on a choisi au moins deux forages pour chaque commune.

a) La Conductivité CE et le PH :

Ces analyses ont été effectuées au sein du laboratoire de l'Algérienne Des Eaux (A.D.E) d'El Oued, où on a mesuré le taux de conductivité sur site (Figure 37) par conductimètre au niveau de chaque forage.

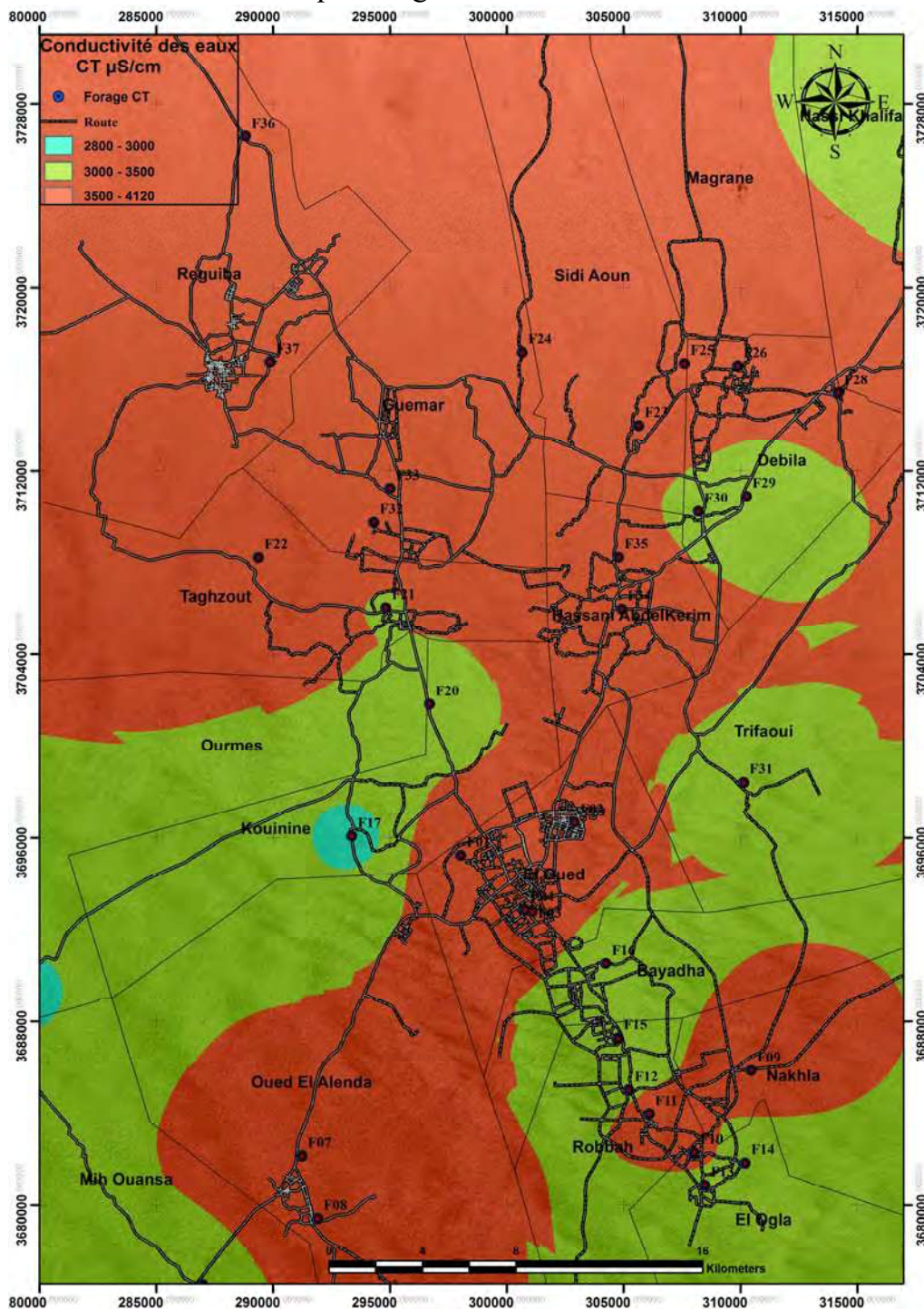


Figure 37. Carte de conductivité CE des eaux du CT du Souf en Avril 2016.

La conductivité d'une eau est fonction de la concentration des différents sels dissous dans cette eau.

Pratiquement, La mesure de la conductivité permet de connaître l'aptitude de l'eau à l'Alimentation en Eau Potable (**AEP**) ou à l'irrigation. Plus la conductivité est basse plus l'eau est apte à l'**AEP**

Les valeurs de la conductivité électrique montrent que la plupart des forages dépassent la norme recommandée relative à la potabilité des eaux, les conductivités les plus élevées avoisinent 4120 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ce qui traduit une très forte salinité (Figure 37), due à la lithologie bien sûr.

La valeur moyenne de la conductivité est de l'ordre de 3572,27 $\mu\text{S}/\text{cm}$; les eaux souterraines de la nappe du Souf sont donc pour l'arrosage, de qualité "Moyenne" à "Mauvaise", à l'exception de quelques points d'eau où elles se révèlent de qualité acceptable (conductivité inférieure à 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), comme pour les forages **F17** (Kouinine) et forage **F18** à Ourmes (Figure 37).

*Le **PH** C'est un paramètre physique qui détermine l'acidité ou l'alcalinité ; est un paramètre qui mesure la concentration des protons H^+ contenus dans l'eau, et donc l'acidité ou l'alcalinité de l'eau sur une échelle logarithmique de 0 à 14. Il influence la plupart des mécanismes chimiques et biologiques dans les eaux.

Habituellement, les valeurs du pH se situent entre 6 et 8,5 dans les eaux naturelles (Chapman et *al.*, 1996). Les valeurs du pH des eaux du **CT** du Souf (Figure 38) ne montrent pas de variations notables, avec un minimum de 6,89 au forage **F12** et un maximum de 7,42 au forage **F36**.

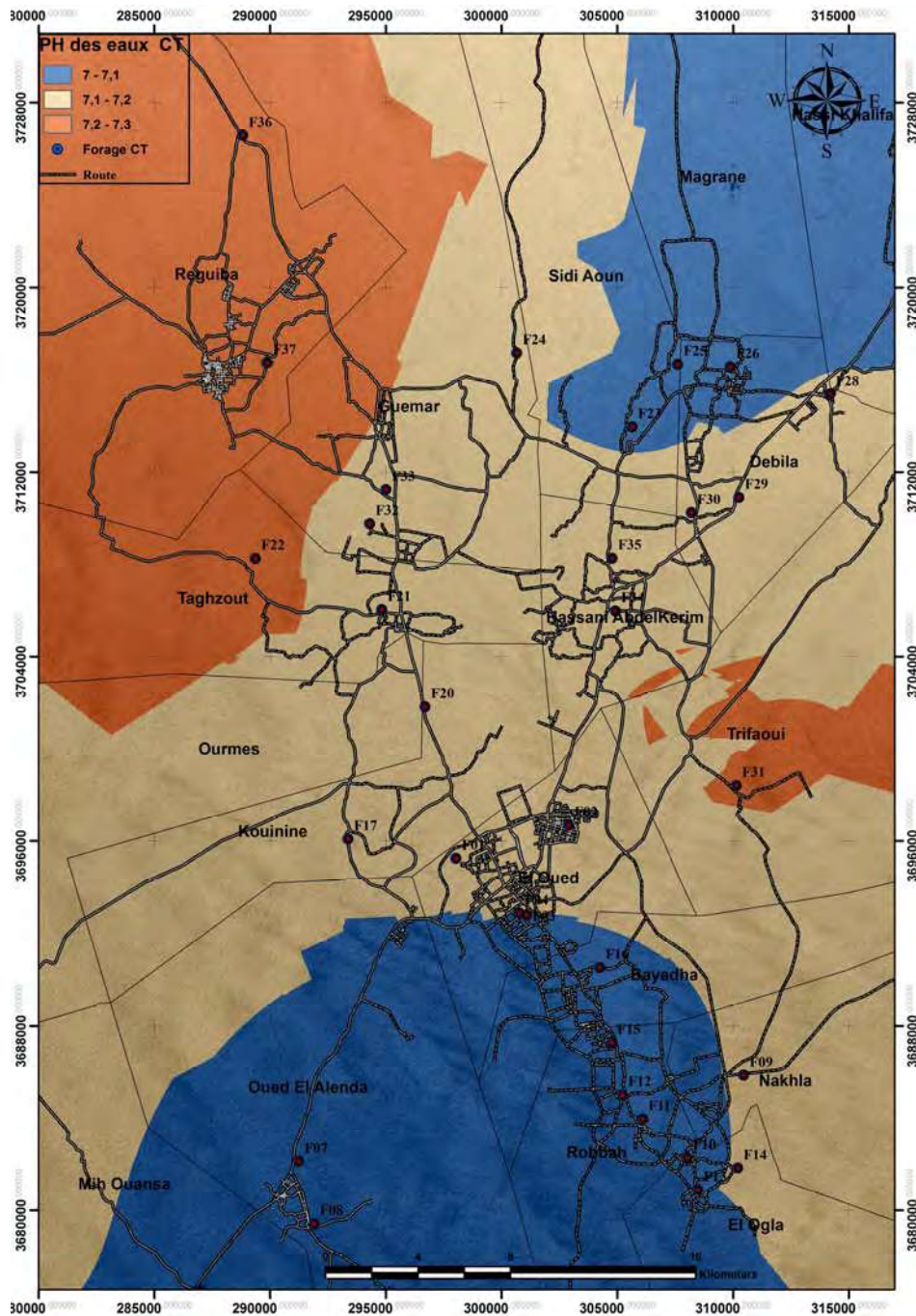


Figure 38. Carte de PH des eaux du CT du Souf en Avril 2016.

b) Le résidu Sec :

On constate que les teneurs du résidu sec sont très élevées (2990-3500mg/l). Ces teneurs augmentent généralement du Sud vers le Nord-Ouest de la nappe (Figure 39). Celles-ci se corrént bien avec la conductivité électrique des eaux. La région du Sud-Ouest et Sud-Est présente des valeurs de résidu sec assez fortes. Cela peut s'expliquer par l'effet de la lithologie des formations géologiques de la région. Les teneurs élevées au

centre de la vallée et dans sa partie Nord-Ouest sont le résultat d'un lessivage des formations évaporitiques.

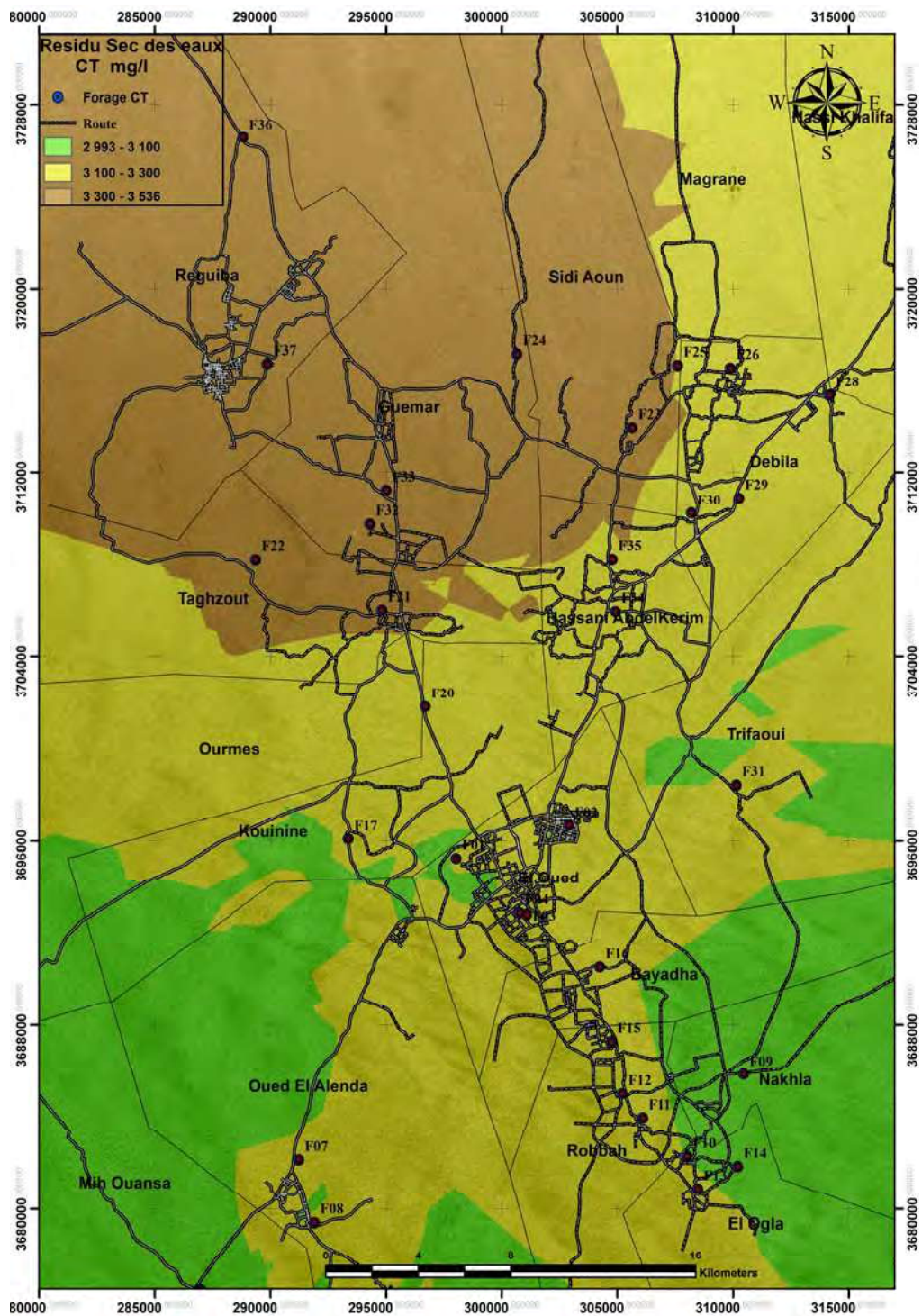


Figure 39. Carte de Résidu Sec des eaux du CT du Souf en Avril 2016.

c) Le nitrate :

Les nitrates $N-NO_3^-$ représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. Sa présence dans les eaux souterraines est liée à la formation géologique du terrain.

Dans le cas de la vallée du Souf, les teneurs maximales en nitrates sont observées au Nord-Est et l'Ouest, Nord-Ouest de la vallée (figure 40) (max : 23,79 mg/l au F27-Hassi Khalifa), qui ne dépassent pas la norme préconisée par L'OMS (50 mg/l); c'est-à-dire de bonne qualité, et avec une excellente qualité pour les zones de teneur inférieure à 10 mg/l (min : 0,95 mg/l au F03-El Oued), car le toit argileux fixe les ions nitrates et ainsi protège la nappe. Les faibles teneurs en nitrates dans cette zone peuvent s'expliquer par la lithologie du toit de la nappe (argileux). Durant la période d'observation, presque 100 % des forages ont présenté une teneur ne dépassant guère les normes de l'OMS.

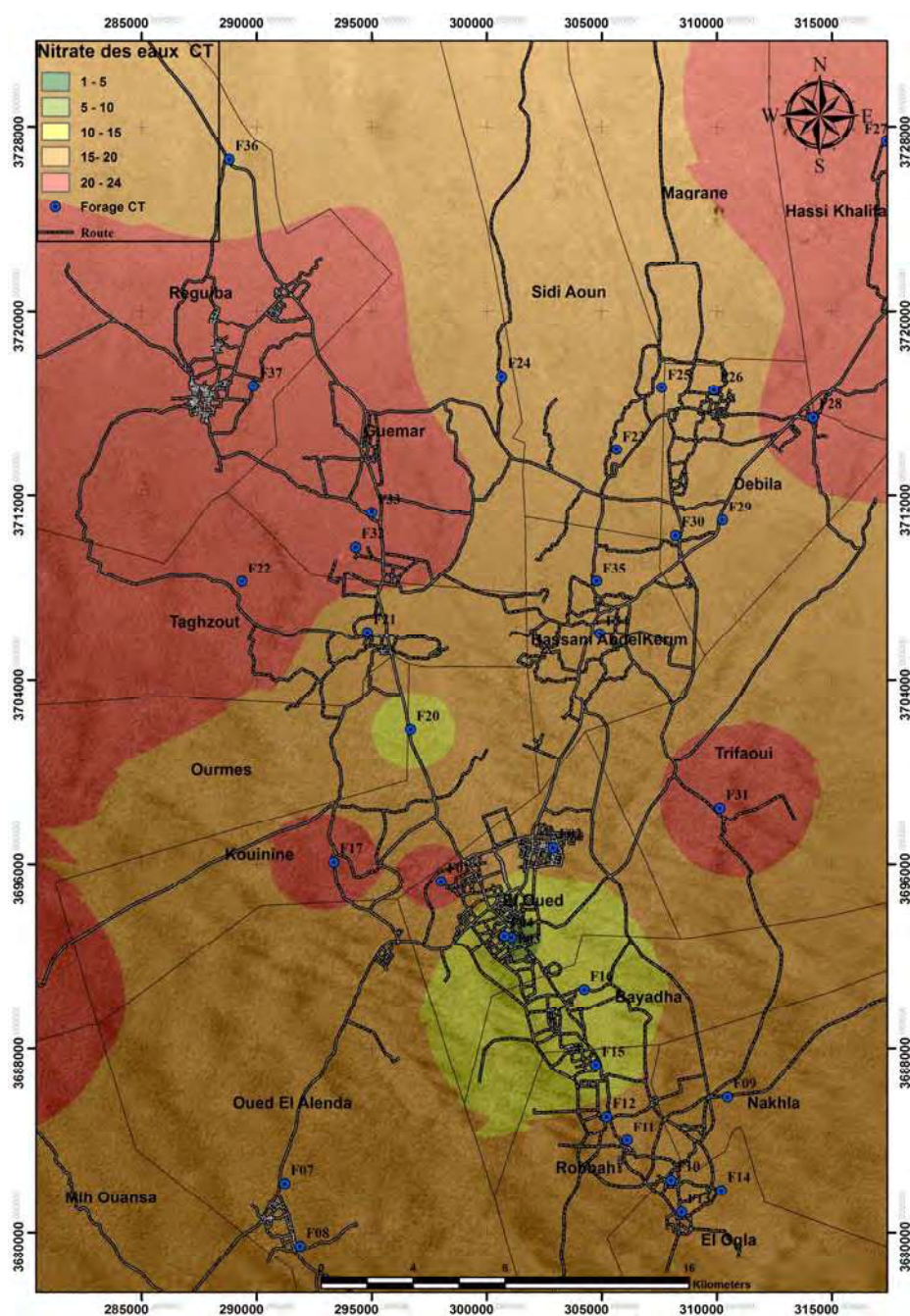


Figure 40. Carte de Nitrate des eaux du CT du Souf en Avril 2016.

II.2.3- La Nappe traditionnelle (nappe phréatique) :

PLINE dans son histoire naturelle ancienne (1855), la signalait déjà : " À 12 journées de marche de la grande syrte vers l'occident, se trouvent des puits qui appartiennent aux Ammanientes, peuples qui trouvent sans peine des sources à une profondeur de 2 coudées".

Cette nappe abondante est de plus en plus profonde vers le Sud. Elle est à 7 ou 8 m à Guemmar, à 14 ou 15 à El Oued et peut se trouver à 20 mètres de profondeur dans les villages au Sud d'El Oued (Marc Agier, 1949).

L'eau de la nappe 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 et celle du sol, ne dépasse pas une distance moyenne verticale de plus de 40 m de sable non aquifère

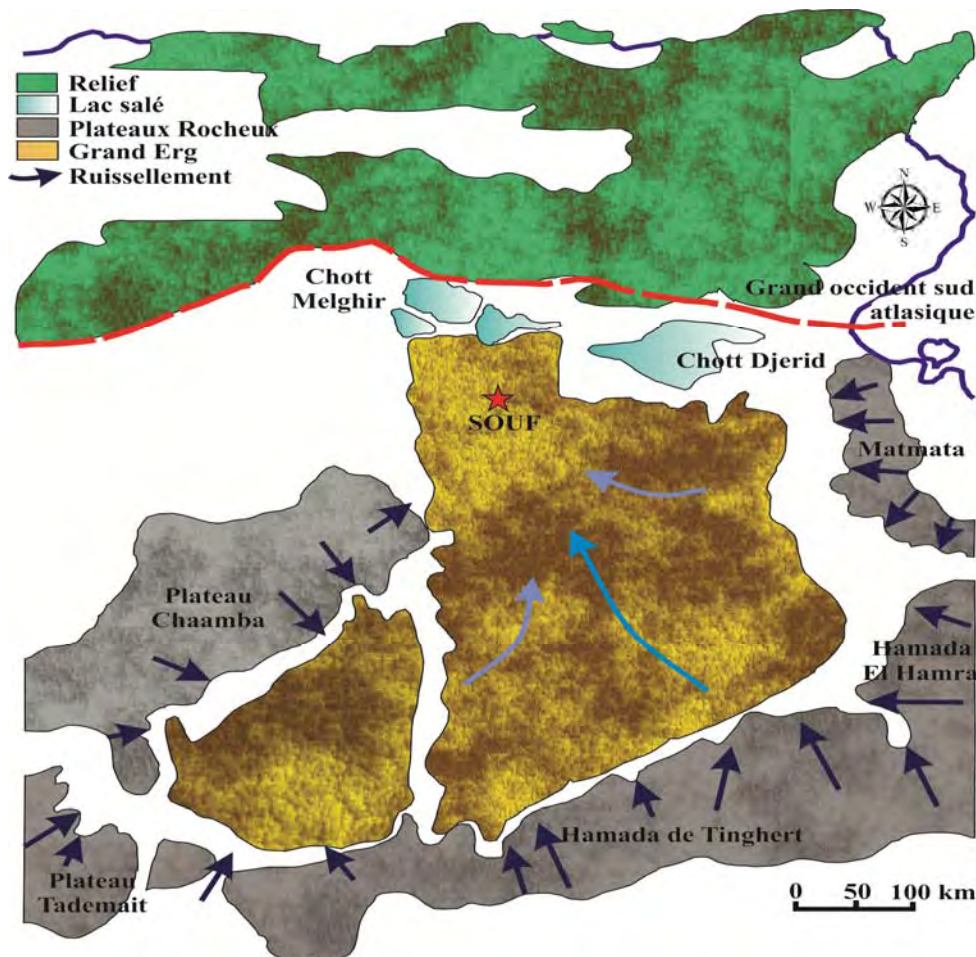


Figure 41. Zone d'alimentation de la nappe phréatique et le sens d'écoulement de la nappe (Cote Marc, 2006) Modifier.

D'après Dubief (1947), l'alimentation de cette nappe, assurée uniquement par l'infiltration des eaux (Figure 41), 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 (zone saturée), est de l'ordre de quelques mètres (par Exp : 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.

Conclusion :

Dans le Souf, groupe d'Oasis au sein du Grand Erg oriental, comme dans la plupart des oasis du Sahara septentrional, les seules ressources hydriques disponibles sont les nappes d'origine souterraine. Les nappes d'eau souterraines de la région du Souf sont contenues dans des formations aquifères de nature différente. Généralement trois ensembles géologiques qui contiennent les ressources en eau souterraine : un vaste bassin sédimentaire constitué de couches d'épaisseur et de caractéristiques hydrogéologiques variables sont : 1-Continental Intercalaire 2-Complexe Terminal 3-la nappe phréatique.

Les eaux des forages de la nappe CI, sont utilisées totalement pour l'alimentation on eaux potable (pour son qualité des eaux acceptable). Et pour les forages du CT, il y a 153 forages (29 pour l'irrigation, 124 pour l'AEP) ; les 29 forages d'irrigation distingués pour les grands périmètres. D'après MNT qui présente la surface piézométrique du CT; on remarque une perte l'artésiennité dans tout le Nord du Souf.

Pour la qualité des eaux du CT, on à réaliser des analyses de plusieurs paramètres où les taux de CE montrent que la plupart des forages dépassent la norme recommandée relative à la potabilité des eaux, et les teneurs du résidu sec sont très élevées (2990-3500mg/l). Les teneurs maximales en nitrates sont observées au Nord-Est et l'Ouest, Nord-Ouest de la vallée (figure 40) (23,79 mg/l), qui ne dépassent pas la norme préconisée par L'OMS (50 mg/l); c'est-à-dire de bonne qualité, et avec une excellente qualité pour les zones de teneur inférieure à 10 mg/l (0,95 mg/l).

Chapitre III

*Diagnostic sur Les
eaux de la nappe
traditionnelle du Souf*

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.

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

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

La définition du Souf comme oasis saharienne, complantée de palmiers, ne rend pas compte des traits particuliers à la région ; les paysages, comme les conditions d'existence, qui ne se retrouvent pas ailleurs, dérivent d'un système de technique spéciale qui nous donnera l'originalité du Souf : celle-ci réside dans la manière de planter. Les problèmes techniques sont naturellement d'utiliser les ressources en eau ; ici les eaux de la nappe phréatique contenues dans des sables fins et meubles, et situées à une profondeur faible.

La solution adoptée est, non de faire monter l'eau à la surface du sol et d'en irriguer les arbres, mais d'abaisser le niveau du sol, donc de creuser un trou afin que les racines du palmier qu'on plante soient au niveau de l'eau (zone humide) (Figure 42).



Figure 42. REMMAL creuse dans le sable (Photo: Hafsi Ahmed, 1983).

Dès que la profondeur de l'eau – donc la masse de terrain à déblayer – dépasse quelques mètres, il est facile de comprendre qu'on a avantage à agrandir latéralement un trou existant pour augmenter la plantation, plutôt que d'en faire un nouveau.

Il résulte de ce système une unité technique, une cellule de culture liée nécessairement à cette méthode de plantation et caractéristique de la région du Souf : *le ghout* ; le mot désigne la cuvette, l'entonnoir, le trou creusé de main d'homme, complanté de palmeraies (Figure 43), défendu contre le vent, soumis à des règles feindrait dire « jardin-creusé-en-cuvette-plantée de palmiers ou palmeraie-située-au-fond-d'un entonnoir » ; nous dirons : *ghout*.



Figure 43 : *Modèle Numérique de terrain présentant le ghout dans la région du Souf.*

Creuser des puits dans le sable n'est pas impossible, les nomades le font de loin en loin pour l'eau domestique. Mais entretenir de tels puits dans un matériau qui s'éboule est difficile ; élever l'eau de 10 m jusqu'à la surface du sol est astreignant à une époque d'énergie manuelle ; et le tout ne permettrait d'irriguer qu'un mouchoir de poche (2 ou 3 arbres). Ne pouvant faire venir l'eau à eux, les Soufis ont imaginé d'aller à elle. C'est-à-dire d'excaver suffisamment le sable à l'aide de REMMAL (Figure 42) pour que l'épaisseur restant ne soit plus que de l'ordre de 1,5~2 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 (Figure 43).

LAOUAMER rapporte dans Essourouf que : L'ancien grand voyageur a dit « *Je quittais Touggourt, en compagnie d'un groupe de gens. Nous sommes arrivés au Souf qui est une large colonne de palmeraies au milieu des sables. Un pays où l'eau potable abonde et de trouve très proche de la surface du sol. Les habitants de cette région nous ont fait savoir que pour planter un palmier, il suffit de fouiller dans le sol jusqu'à la*

proximité de l'eau. Là, ils le plantèrent puis retournèrent le sol. Le nouveau palmier n'aura plus besoin d'être irrigué à jamais. ».

III.2- Formes des Ghouts et leur protection :

III.2.1- Les formes des Ghouts :

D'une manière générale et pour être plus précis; les facteurs principaux qui déterminent ou influencent sur la forme des *ghouts* c'est le type de sol et la direction du vent de sable. D'où On peut classer les formes du *ghout* selon trois sortes :

III.2.1.1- Les Ghouts circulaires :

On trouve ce type de mise en valeur dans toute la partie Sud-Ouest du Souf (Mih Ouensa, Oued Turk...etc.), c'est à dire la route nationale de Touggourt.

Un rapport technique de 1953 estimait que lorsque la profondeur d'excavation dépasse 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).

Le Sud-Ouest de la région du Souf présente des caractères et des conditions un peu différentes, on trouve une nappe moins profonde 5 à 10 m, des terrains sablonneux peu encroutés, mais une grande mobilité du matériel, une grande sensibilité à tous les types de vents, d'où la présence de petites dunes mobiles. La difficulté ici est moins l'accès à l'eau que la maîtrise des flux éoliens (Figure 44).

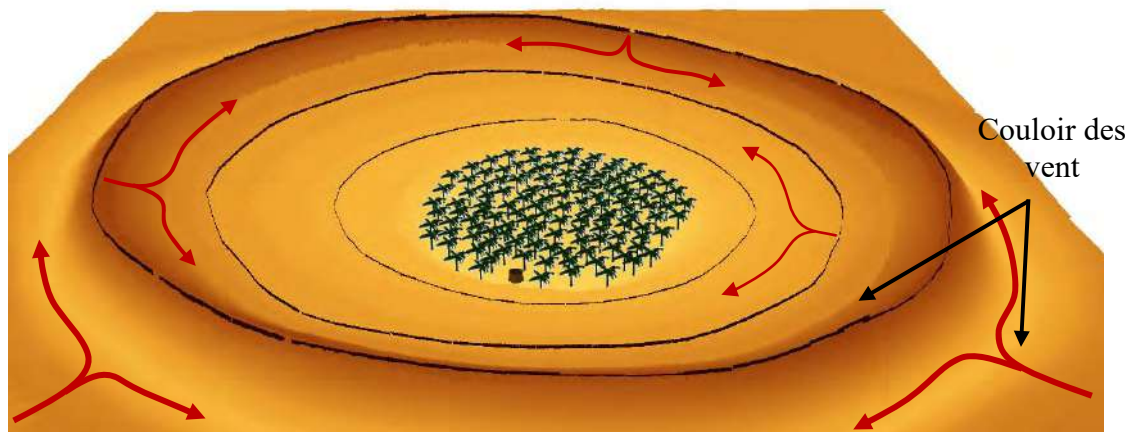


Figure 44 : *MNT* présente les ghouts dans la zone éolienne (Ghout Oued Alenda).

Les vents soufflent ici et arrivées de toutes les directions ; le plus nuisible pour les dattes est le Chihili du Sud et le Sud-Ouest (Oued Alenda, Mih Ouensa, Oued Turk,...etc.). Et le plus nocif pour les aménagements, parce que fréquent et puissant, c'est le Bahri (vent de mer), c'est-à-dire du Nord-Est (arrivé d'environ de 300 km de Golfe Gabes-Tunisie).

Les palmiers plantés au fond, généralement leur sommet ne dépassant pas les crêtes de sable. Le fond planté, et les crêtes de sable circulaires qui ceinturent ce fond d'entonnoir (Figure 45), sont étroitement complémentaires. C'est cela que l'on appelle un "Ghout". C'est l'unité de base de l'aménagement dans le Souf.

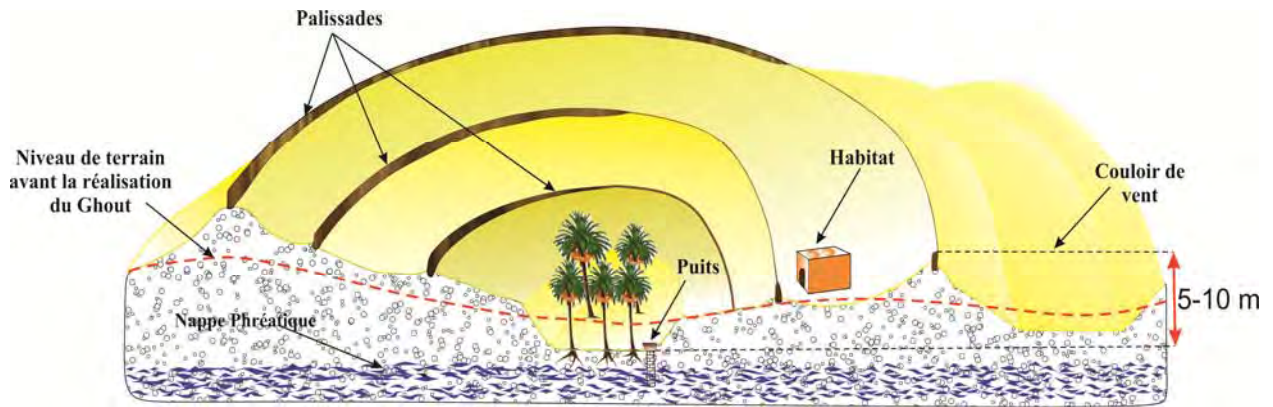


Figure 45. Coupe d'un Ghout Circulaire (Cote Marc, 2006) -Modifier et Améliorée par l'auteur-

Dans ce type de ghout il y a nécessité de vastes espaces, où l'unité d'aménagement est de 3 à 20 fois plus grande que l'unité de plantation de palmiers.

III.2.1.2- Ghouts allongé :

Le mécanisme de houe est le travail par excellence du Soufi, avec le renfort d'un âne pour les transports. Aussi, pour excaver le site de ses palmiers (Figure 46), recherche-t-il des terrains très meubles, sablonneux, sans encroutement gypseux. Il les trouve dans la partie Sud ou la branche Sud et Sud-Est du Souf (El Oued, Nakhla, Robbah, ...), où les encroutements sont minces et friables et le sable y est relativement homogène.

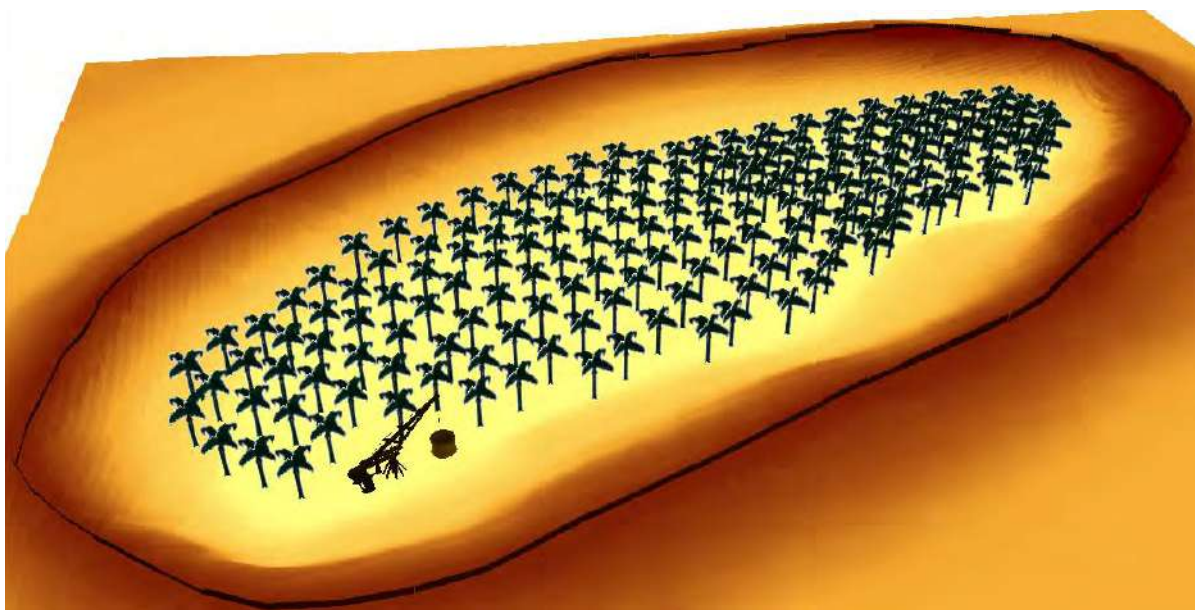


Figure 46 : MNT présentant les ghouts allongé (Ghout Nakhla).

La contrepartie est la profondeur de la nappe, elle est d'environ 10 m, voire plus de 15 m de parfois ; la couche de sable à dégager et emporter vers le haut du ghout pour créer la crête (Figure 47).

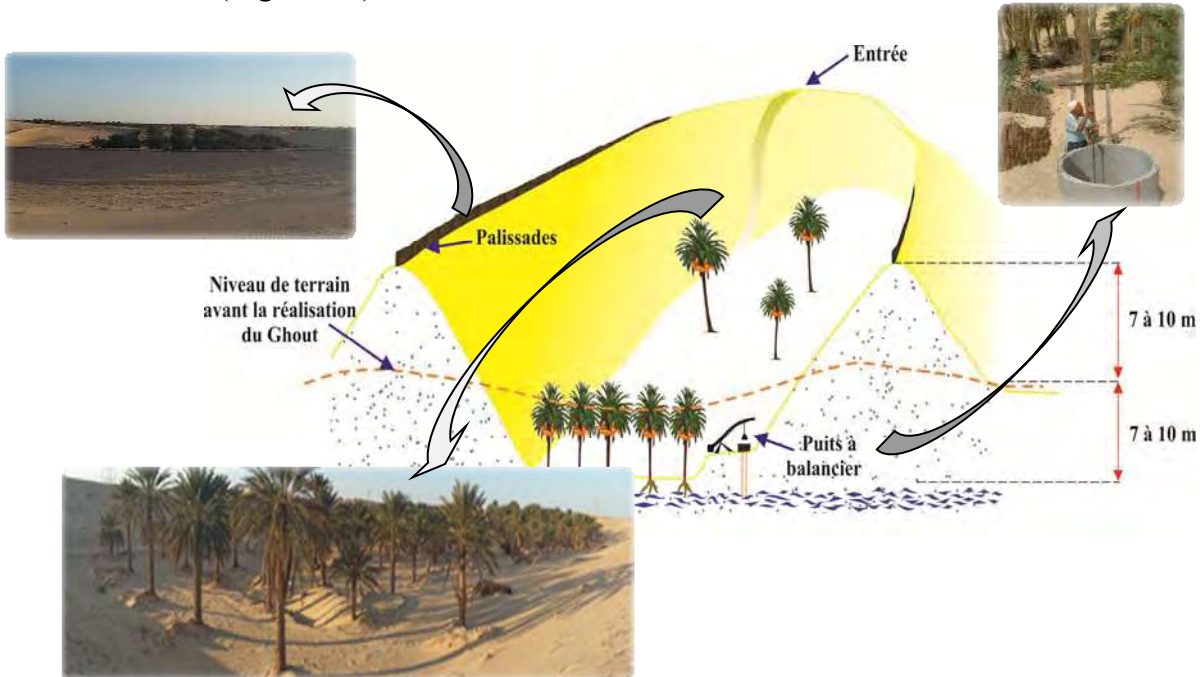


Figure 47. Coupe d'un Ghout allongé (Ghout Bayadha) (Cote Marc, 2006) -Modifier et Améliorée par l'auteur-.

Le Soufi a de la patience pour créer un ghout, et pour faciliter les travaux d'excavation le Soufi choisit une zone de sable « libre » en position basse dans la topographie (**Houd** ; dépression naturelle), de façon à limiter le volume à excaver.

Ces ghouts sont de grande taille : 1,5 à 3 ha pour l'unité d'aménagement et peut arriver jusqu'au 5 ha, ces ghouts comptent 100, parfois plus de 200 palmiers (Figure 47). Les travaux d'excavation et de transport de sable de ces grands ghouts sont énormes, ils sont menés collectivement, par 2 ou 3 familles ; c'est-à-dire 5 à 10 agriculteurs qui ensuite se partagent le fond du ghout au prorata du travail fourni.

III.2.1.3-Ghouts rectangulaire :

Ce type de ghouts est présent dans les secteurs Nord du Souf : Hassi Khalifa, Magrane, Hassani A-Kerim, Reguiba. Ils sont plus nombreux que les ghouts profonds, et probablement ont plus d'avenir qu'eux, parce qu'ils sont modernesables.

La moitié nord du Souf présente des cratères peu profonds, avec escarpements, qui marquent les paysages de leur teinte rougeâtre, ce sont ces cratères peu enfoncés dans le sol que les Souafa appellent "Houd" (Figure 48). C'est que cette partie du Souf présente

une particularité : l'erg, sableux, présente dans son sous-sol un encroustement gypseux qu'on appelle louss, formés par les roses des sables.

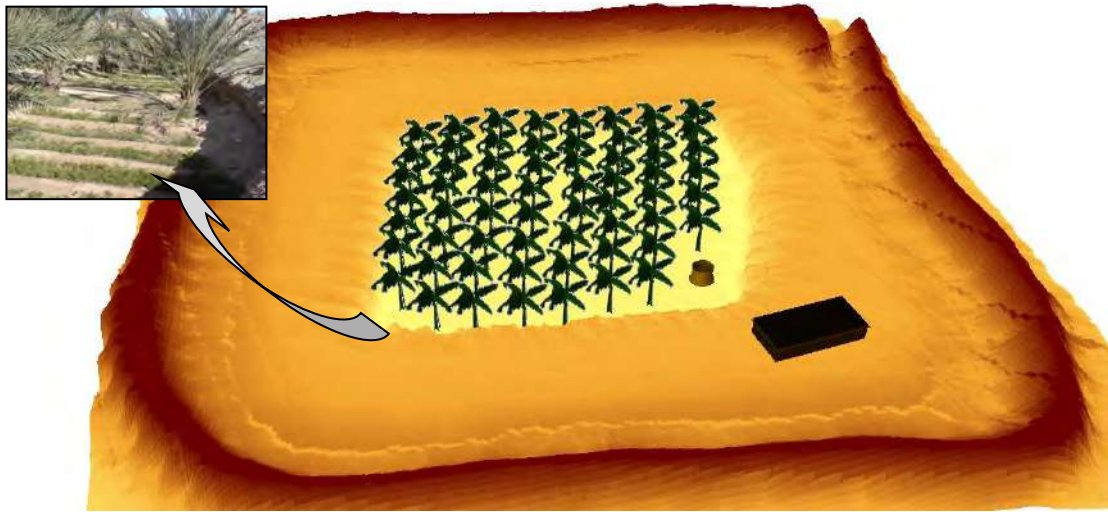


Figure 48. *MNT* présentant les ghouts rectangulaire (Ghout Hassi Khalifa).

La nappe phréatique est peu profonde de 6 à 12 m, et dans certains cas sous pression (semi-artésienne). Le problème pour l'agriculteur est que la couche est encrustée de matériaux durs, compacts, et a souvent 2 à 5 m d'épaisseur (Figure 49).

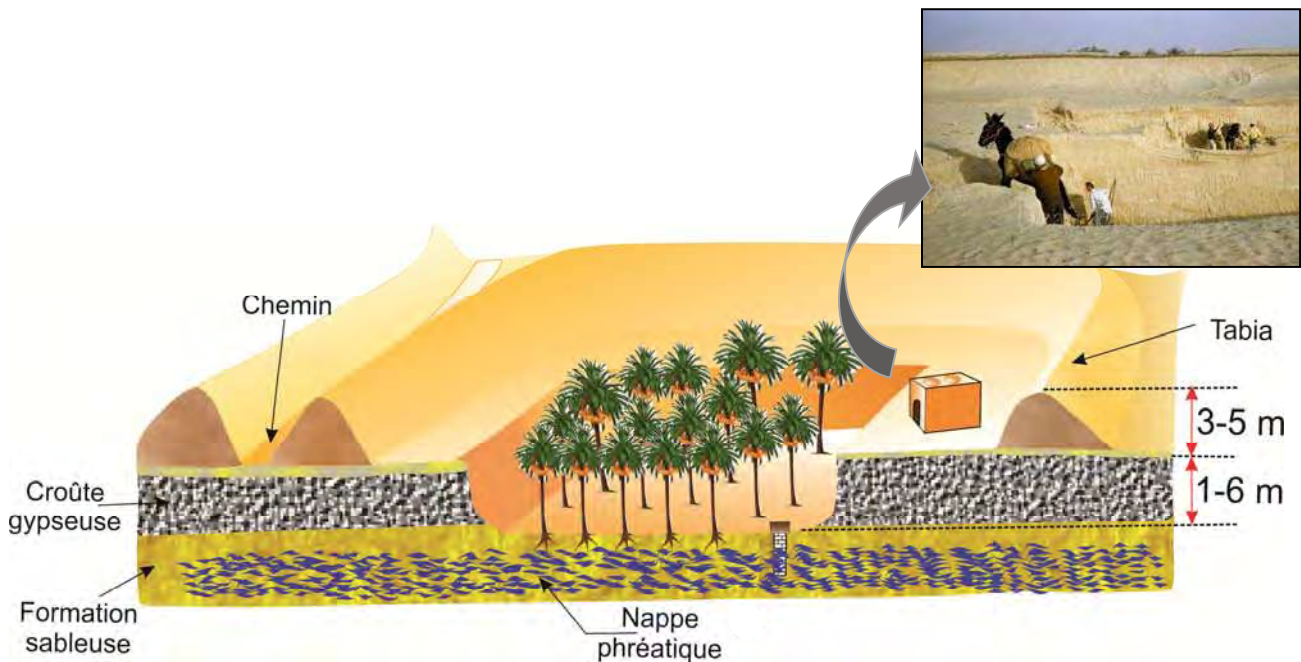


Figure 49. *Coupe d'un Ghout rectangulaire (Ghout Hassi Khalifa) (Cote Marc, 2006) -*

Modifier et Améliorée par l'auteur-

Les cratères, réalisés comme ailleurs par le déblai d'excavation, tirent de cette origine quelques traits propres : cratères plus petits, de forme généralement carrée, escarpements verticaux (Figure 49), avec une entrée en pente douce ; tabia périphérique

constituée de débris rocheux. Dans ce type de ghout il n'y a pas de risque de glissement de sable, pas de risque d'ensablement éolien c'est-à-dire l'absence de Zerb (palissade).

III.2.2- Protection des Ghouts :

La question de l'ensablement des ghouts est souvent considérée de façon bien abstraite. Dans le Souf toute une science des techniques éoliennes, qui se manifeste déjà dans les cratères profonds, et atteint ici la perfection. Certains vieux agriculteurs spécialistes des palissades sont consultés par leur voisins (Figure 50), tant pour leur localisation que pour leur réalisation. Ces palissades exigent également un entretien périodique (tous les 2 ou 3 ans). Cette lutte est très importante car le sable, poussé par le vent, a tendance à envahir la palmeraie. Elle consiste à établir des barrières : haies de djérid autour de la palmeraie (Figure 50),

Les ghouts rapprochés se protègent mieux les uns les autres contre les vents, ils sont organisés en ensembles coalescents. Les Soufi jouent avec le vent comme le marin pour conduire son voilier.



Figure 50. Un agriculteur construit une ceinture de Zerb (palissade) autour d'un ghout
(Photo de film : JACQUES Krier et al., 1961)

L'emploi des haies de morceaux de palmes, les Zerb et la façon de les disposer constituent une véritable science (Figure 50). L'expérience des spécialistes s'y mêle à la tradition, et en fait le même homme est dépositaire de coutumes techniques (qui concernent surtout les Zerb) et de coutumes juridiques (qui concernant surtout les litiges entre propriétaires mitoyens pour tous les travaux de culture).

III.3- Technique d'arrosage dans les Ghouts :

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

Si toute la technique du ghout est centrée sur la culture du palmier, il comporte souvent des cultures secondaires qui ne représentent qu'une production réduite destinée presque entièrement à la consommation familiale.

Au milieu de ces plantations ou sur les côtés, de petits jardins irrigués donnent des légumes, du henné...etc. l'irrigation est assurée par le traditionnelle *Ghôtara* (prononcer Rhuôtara), analogue au chadouf égyptien : un levier avec contrepoids aide à remonter le seau de cuir ou de toile plein d'eau. En d'autres termes le *Ghôtara* est constituée de deux poteaux soutenant une pièce de bois chargée à l'un des bouts d'une pierre faisant un peu plus que l'équilibre à la peau de bouc que l'on accroche à l'autre extrémité lorsqu'elle est pleine (Figure 51). Les puits sont tous maçonnés avec du plâtre local, et sont plus ou moins profonds, évidemment suivant les lieux.

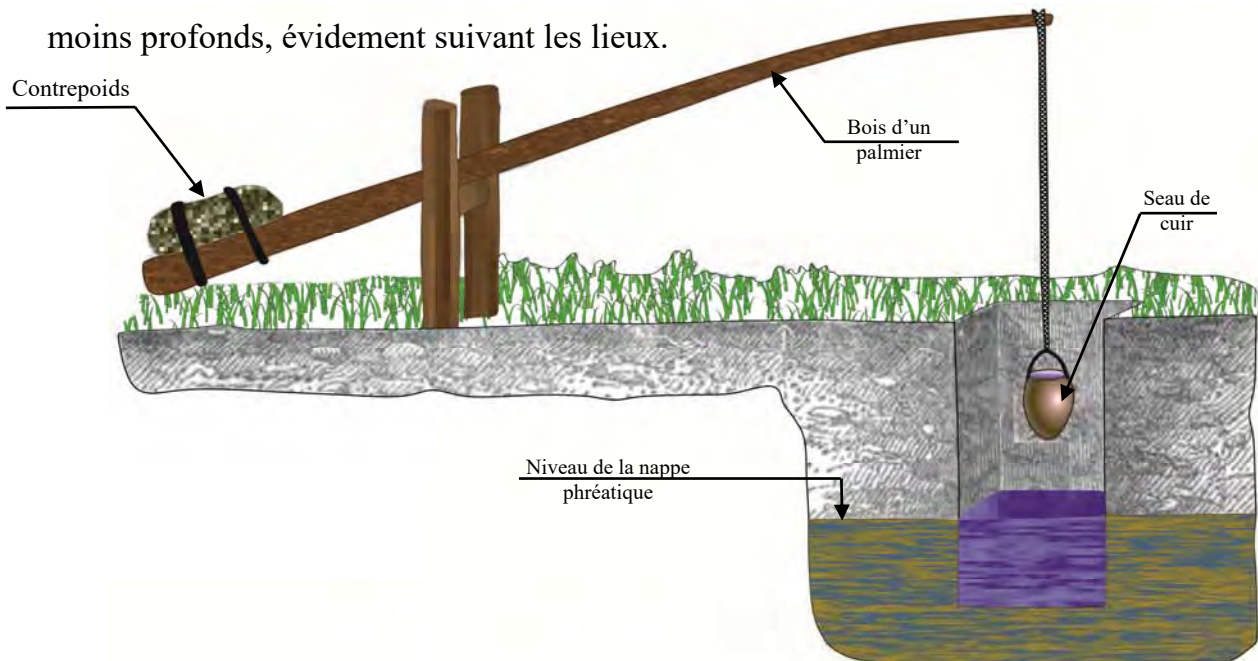


Figure 51. Balancier (*Ghôtara*) pour l'irrigation dans le ghout.

Le jardin est arrosé par immersion, à l'aide de séguias (prononcer séguia). Il est divisé en un grand nombre de « carrés » (Mizeb) mesurant en moyenne 1 à 3 m sur 0,5 m. Pour établir une séguia, on commence par la faire en sable. Ensuite le sable est recouvert

d'une légère couche de plâtre (Figure 52). Les vannes sont de simples bouchons de chiffon ou bouchons construits à partir du *Lif* de palmiers.

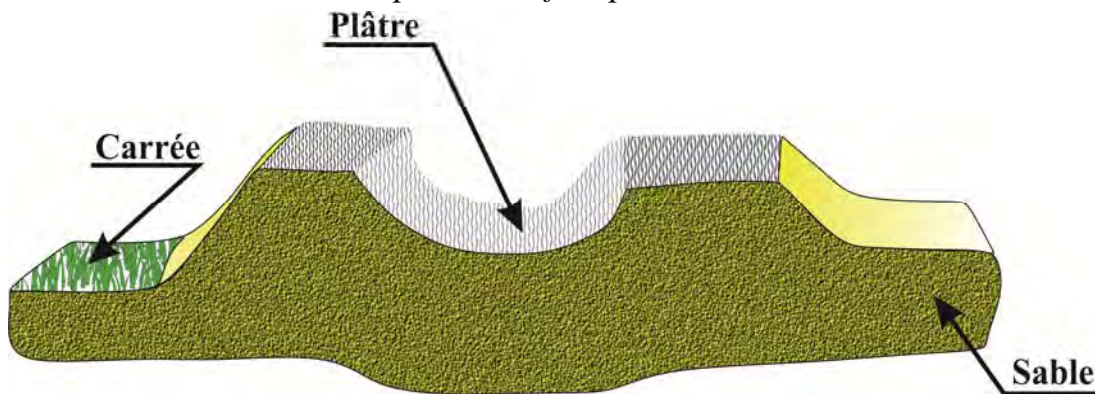


Figure 52. Coupe d'un Seguia.

Aucun espace n'est perdu. On cherche sans cesse à augmenter le rendement. Aussi le seul engrais local, le crottin de chameau, est-il précieusement ramassé et conservé. Cette culture intensive s'effectue toujours selon les méthodes et les techniques traditionnelles ; mais a cependant évolué depuis peu.

III.3.1-Construction des puits :

Les puits se rencontrent dans les villages et dans les dunes (ghouts). Tous sont construits de la même façon.

a) On commence par creuser un trou carré de 3,50 m de côté et de 1,80 m de profondeur, trou qui permet d'atteindre le sable humide.

b) Au milieu de ce trou, on fore, le plus vite possible, le puits proprement dit, 1,80 à 2 m de diamètre. Dès que les éboulements sont à craindre le puisatier maçonne en commençant par le bas.

c) Ensuite on continue de forer jusqu'à la couche aquifère maçonnant au fur et à mesure, de haut en bas, ce qui est rendu possible par la prise très rapide du plâtre local.

d) Une fois la nappe aquifère atteinte, le premier mur est abandonné et un second est construit à l'intérieur. Au fur et à mesure que ce mur se construit, le sable est affouillé et le maçon fait descendre le cylindre de maçonnerie dans le vide ainsi créé. Quand il n'est plus possible d'épuiser l'eau on s'arrête.

e) Il ne reste plus qu'à construire la margelle.

Dans l'oasis du Sahara Septentrional on trouve plusieurs types de puits :

- Des puits à poulie ;
- Des puits à pompe (système à chaîne et tampons de caoutchouc ;

- Des puits à noria, mûe par un mulet ;
- Des puits à balancier (Figure 51)
- Des puits à dellou.

Pour l'Oasis du Souf on connaît deux systèmes d'irrigation ; le balancier (*Ghôtara*), et le système de dellou (Figure 53) dans la région de Guemmar. Où le puits à dellou est utilisé à Guemmar pour l'irrigation du Tabac. Il comprend essentiellement :

***Un puits** : Ordinaire surmonté de deux piliers entre lesquels est fixée une grosse poulie sur laquelle passe un gros câble.

***Un réservoir** : Dont les dimensions moyennes sont « 4 m x 3 m x 1 m ». Sur le côté adjacent au puits et sur le côté opposé se trouvent deux petits rouleaux sur lesquels glisse un petit câble.

***Le dellou** : vaste poche de cuir de 50 à 80 l. de contenance, terminée par une manche de vidange fixée au petit câble. Le corps du dellou est fixé au gros câble par l'intermédiaire de 3 chaînes.

***Un chemin muletier** : en pente douce, creusé dans le sable, la partie haute se trouve contre le réservoir.

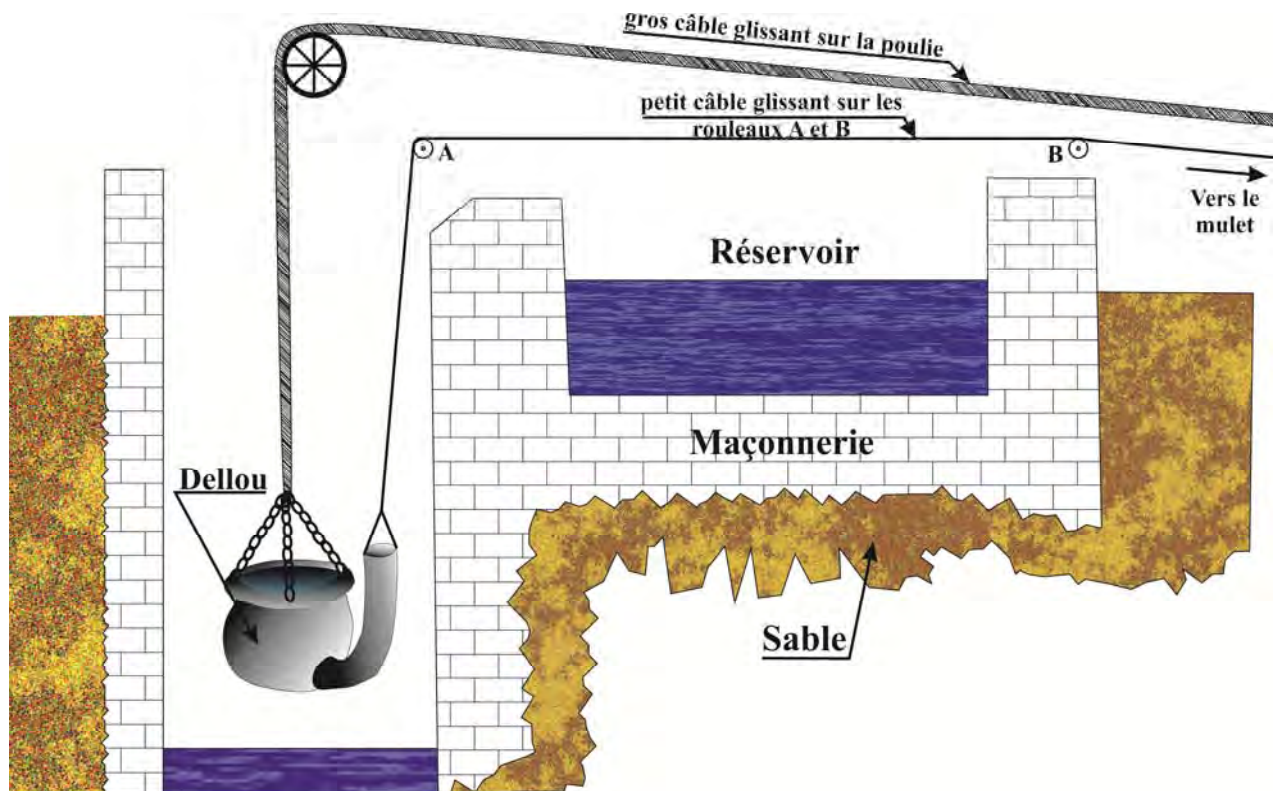


Figure 53. Coupe du système à dellou.

Pour le fonctionnement du système du dellou : le mulet étant au près du réservoir, le dellou plonge dans l'eau. En s'éloignant, le mulet fait élever le dellou. La longueur des câbles est telle que, durant toute la moulée, l'ouverture du dellou et celle de la manche de vidange sont au même niveau. Le dellou ne peut donc se vider. En fin de parcours, le gros câble entraîne la poche vers la grosse poulie, tandis que le petit câble amène la manche au-dessus du réservoir. Le dellou se vide.

*A partir d'une forme élémentaire de ce type, l'accroissement de la population dut amener la densification des palmeraies, et donc un approfondissement des excavations, de façon à rejoindre la nappe. C'est l'origine de la technique de la "descente du palmier", bien connue dans le Souf jusqu'à nos jours. La descente de 1,5 m a contraint le soufi à creuser des sortes de vasques, afin de suivre l'eau dans sa descente. Par la suite, au cours des siècles, les nouvelles mises en valeur se sont traduites par des approfondissements successifs, toute société humaine recherchant toujours son équilibre, par tâtonnements successifs.

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

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., 1886). Et d'après Cote Marc (2006), le volume de matériaux excavés par les fonds des ghouts, est d'environ 186 millions de m³.

L'histoire du Souf pendant la période coloniale est liée à celle de l'Algérie en général, et à celle du Sahara en particulier. Cible des prétentions coloniales de la France à partir des années 1880, le Sahara est devenu possession française en 1884.

La politique d'expansion menée ainsi par la France au Sahara à cette époque est d'ordre stratégique : d'une part, elle vise à damer le pion aux autres puissances en occupant le terrain ; et d'autre part, à exploiter les ressources potentielles du pays conquis. Par ailleurs, cette vaste zone de sable (*Erg*) et de roches volcaniques (*Hoggar*) excitait alors la curiosité de nombreux voyageurs étrangers et français.

Perdus au milieu des sables, les oasis du Souf avec leurs palmiers disséminés dans le creux des dunes, leurs maisons à coupoles pressées les unes contre les autres, leur population laborieuse et industrielle, peuvent être considérées comme l'une des régions les plus curieuses de l'Algérie en même temps qu'un groupe d'une réelle activité économique.

La principale production du Souf est la dattes dont la qualité est renommée et rivalise avec celle des deglét-Nour de l'Oued Rhir, À Guemmar et à Taghzout on cultive également le tabac. La production des nomades consiste en moutons, peaux, laines, poils de chameaux ou de chèvres, La seule industrie qui existe au Souf, d'un caractère essentiellement familial, consiste dans la confection des tapis, des burnous et des haïcks. Elle est très développée. Ses produits sont appréciés. Elle procure un notable appoint aux ressources des indigènes.

Pour cela La colonisation a créé en 1958, un périmètre de 188 hectares à Hobba (32 Km Nord-Ouest d'El Oued), traité en périmètre planifié, organisé en lots géométriques, arrosés par irrigation de surface. Cette création achevée en 1959. (Figure 54).

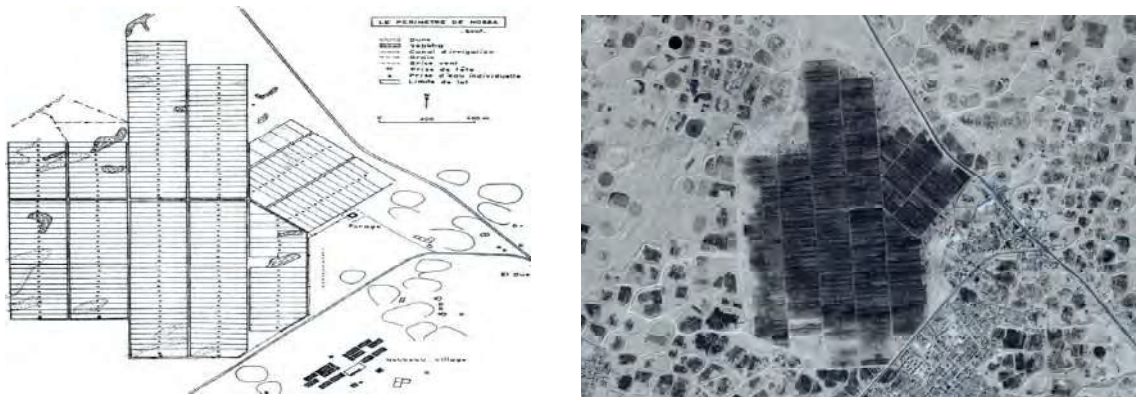


Figure 54. *Le périmètre de Hobba, Image satellitaire avec le plan au sol, crée en 1958 (Google Earth, 2018 ; DSA d'El Oued, 2017).*

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'autant 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 française 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.

III.4- Nouvel intrus agricole dans la région du Souf (Le mini pivot):

« Sans le palmier, nous n'aurions jamais existé », finissent toujours par dire les plus âgés, quand on les interroge sur la phoeniciculture dans la région du Souf. « La datte cultivée dans les ghouts est unique au monde par son goût et ses qualités de conservation », indiquent, toute génération confondue, les habitants du Souf, les Souafas. La « datte ghars » se conserve pendant trois ou quatre ans, sans difficulté, dans des greniers. Il se raconte même que pendant la seconde guerre mondiale, c'est elle qui a permis de sauver les habitants de la famine. Mais dès les années 90, le secteur l'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.

Grâce à l'engagement des agriculteurs soutenus par l'État dans le cadre d'une approche participative, la zone saharienne d'Oued Souf est devenue la première région productrice de pommes de terre du pays (Figure 55).

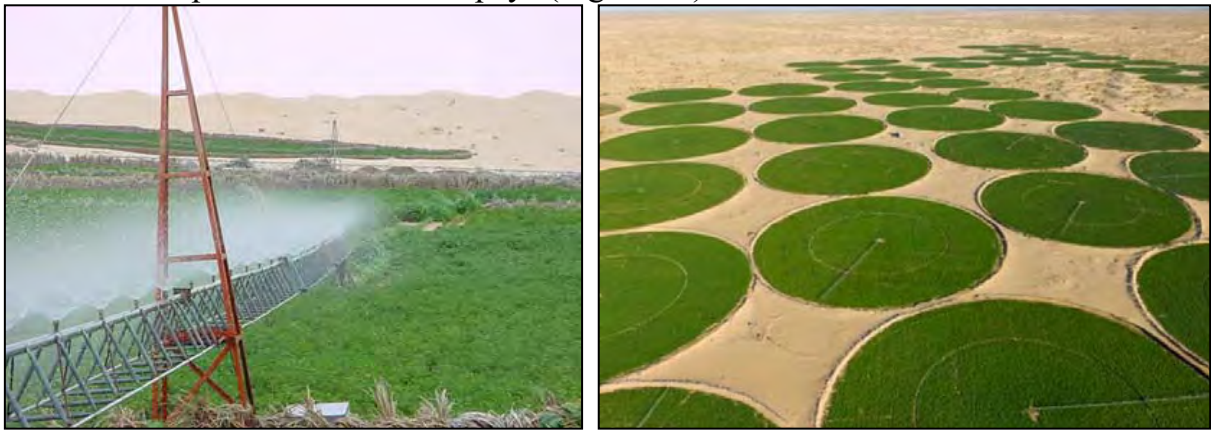


Figure 55. *Forme de l'agriculture nouvelle le mini-pivot de fabrication artisanale.*

Les soufis ont vu l'intérêt de reprendre cette technique à leur mode et à leur échelle. Ils ont essayé 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. La taille la plus utilisée dans la région est le pivot de 50 à 80 m (0,78 à 2 ha).

Le long de la route qui traverse la wilaya d'El-Oued (Sud-Est), des cercles verts apparaissent soudain au milieu des dunes ocre du Grand Erg oriental. Ce sont les champs du désert, qui ont commencé à essaimer au début des années 2000. « Et leur nombre ne cesse d'augmenter depuis ». Les surfaces agricoles, quasi inexistantes en 1993 avec environ 200 ha cultivés seulement, recouvrent aujourd'hui 33 000 ha. Et le nombre

de producteurs est passé de 800 à près de 5 000 entre 2004 et 2014, selon la **D.S.A** d'El-Oued en 2016. La filière s'est si bien développée qu'en 2013 la wilaya est devenue la première région productrice de pommes de terre d'Algérie, avec 24 % des 5 millions de tonnes récoltées dans le pays.

Le développement de l'agriculture dans le Sud est le résultat d'une politique lancée dans les années 1980 qui avait pour objectif la mise en valeur de nouvelles terres. Or les terres du Sud présentent un double avantage : elles sont disponibles en abondance et sont exploitables toute l'année, contrairement à celles du Nord, où le climat ne permet que trois mois d'exploitation.

À ces facteurs naturels s'ajoutent la hausse du prix de la pomme de terre sur le marché et un soutien appuyé de l'Etat à la filière. La région a ainsi bénéficié de la construction de 400 km de pistes agricoles et de 300 km de lignes électriques depuis 2010. Des facilités sont par ailleurs accordées aux agriculteurs en matière de vente des semences à des prix étudiés et d'acquisition des pivots d'irrigation avec paiement échelonné.

Dopées par ce soutien étatique, les pratiques agricoles ont considérablement évolué dans cette région de tradition phoenicicole (culture des palmiers). Les plus anciens fellahs, spécialisés dans la datte, se sont ainsi lancés dans la pomme de terre. Et d'après le recensement de la DSA El Oued en 2015 on remarque une accélération exceptionnelle dans la production de la pomme de terre de 13000 tonnes en 2000 jusqu'à 1180000 tonnes en 2013 (Figure 56).

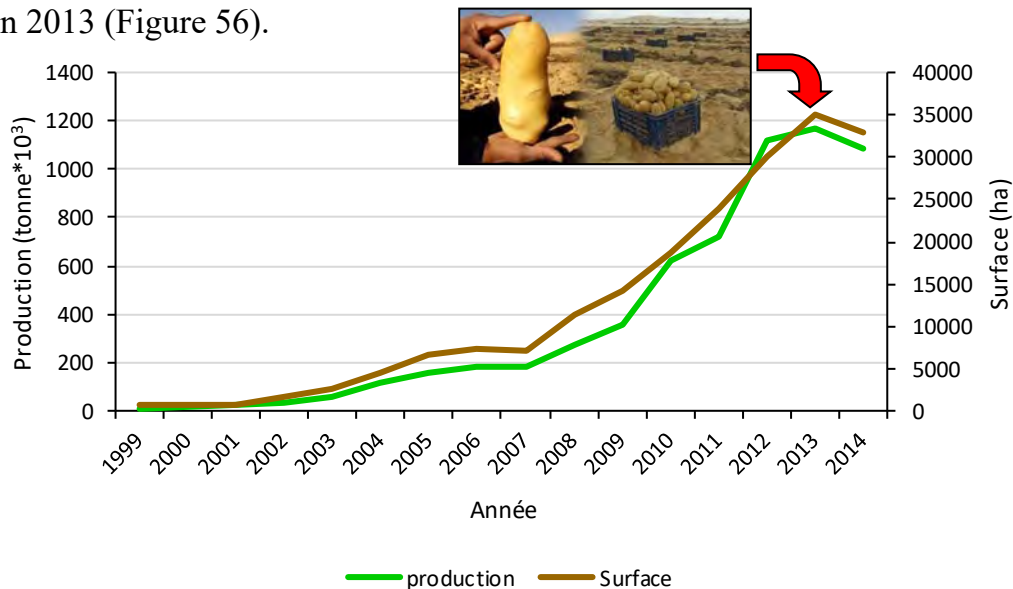


Figure 56. Développement de production de pomme de terre du Souf.

Depuis l'année 2013 on remarque un recul dans la production de la pomme de terre, dû de manque des moyennes de stockage, d'où la réduction de la production est le seul moyen de garder la marge bénéficiaire l'agriculteur. Et d'après la D.S.A d'El Oued, l'état fournit un projet de réalisation des chambres froides (étatiques et privés) de capacité 600.000 quintaux.

À la faveur d'une production en pleine croissance, la pomme de terre d'El-Oued commence à sortir des frontières algériennes pour faire son apparition sur des marchés étrangers, notamment en Russie, puis en France, Espagne, Qatar et Emirat...etc. Pour l'instant, les quantités exportées demeurent minimes – quelques centaines de tonnes – et sont le fruit d'actions individuelles des producteurs ; mais elles ne cessent d'augmenter. Les exportations de pommes de terre d'El-Oued vers la Russie sont ainsi passées de 50 à 500 tonnes entre 2011 et 2014, selon la Chambre de l'agriculture d'El Oued en 2016.

Autre nouveauté : la tomate. « C'est le bébé des agriculteurs, qui la cultivent depuis à peine cinq ans. Ce produit a évolué très rapidement, plus vite que la pomme de terre », déclarait Zeghib Saadoune, président de la Chambre de l'agriculture d'El-Oued, à l'occasion du dixième Salon de l'agriculture saharienne et steppique Sud'Agral, en décembre 2014. « Actuellement, nous sommes à 800 quintaux par hectare, et son prix reste stable, autour de 30 dinars le kilo. Si ça continue comme ça, El-Oued deviendra, dans deux ans, un leader sur ce créneau ». Et d'après les agriculteurs, la production de la tomate peut atteindre 600 et 700 jusqu'à 1000 quintaux par hectare.

Une perspective qui ne réjouit pas tout le monde : « D'ici une dizaine d'années, la plupart des dunes de sable seront aplanies et cultivées », se désole un ancien d'El-Oued. D'autant que l'exploitation intensive de ces nouvelles parcelles pose des questions environnementales. Pauvres en éléments nutritifs, elles nécessitent une grande quantité d'engrais et une irrigation importante, pour un cycle de culture qui n'excède pas trois ans.

Tous les engins utilisés sont fabriqués sur place, par des artisans du Souf, mécaniciens ou feronniers. Certains s'enhardissent à faire construire des pivots de 4 ha, et d'après l'enquête que nous avons menée le pivot du grand périmètre privé de Dahouia irriguait 20 ha (250 m de diamètre). C'est le plus grand dans la région du Souf, et assure ses besoins en eaux par les forages semi-profonds.

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

sondage. Le nombre de puits équipés est passé approximativement de 4200 en 1992 (BNEDER, 1993), à environ 32 100 puits aujourd'hui (DSA. El Oued, 2016). Et à cause de ce grand nombre de puits (motopompes) le comportement spatial de la nappe phréatique a changé (Figure 57).

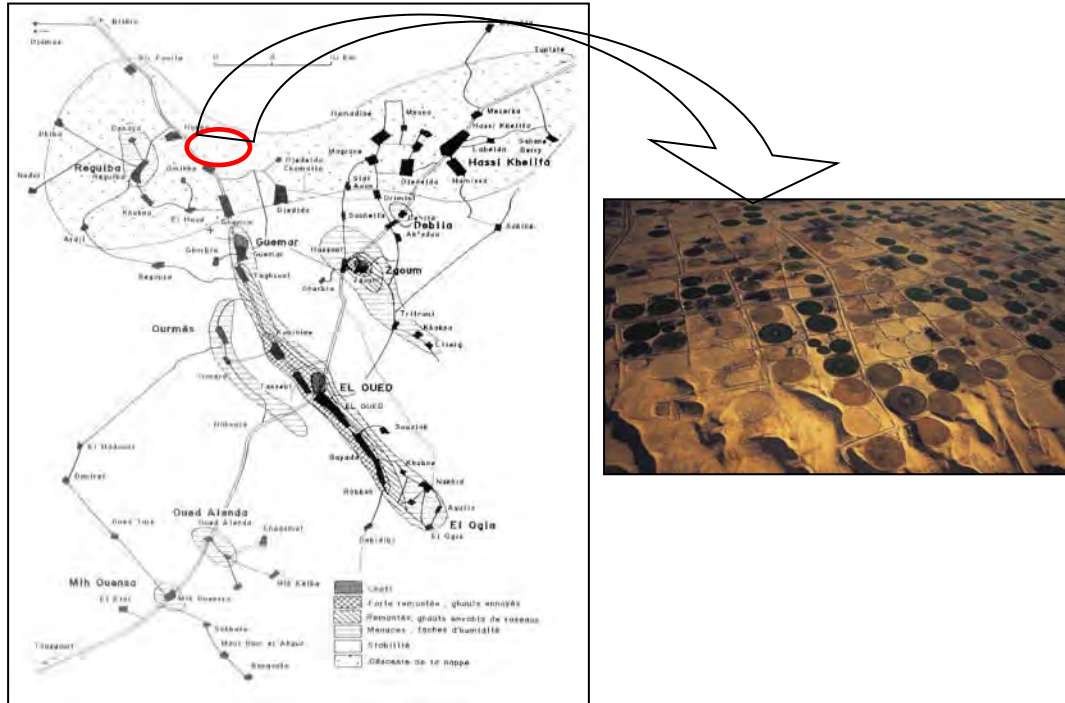


Figure 57. Le comportement spatial de la nappe phréatique pour cette période (actuelle) (Cote Marc, 2006).

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

Mais comment ce paysage s'est-il défait en quelques décennies ?

III.5- Historique de la remontée de la nappe phréatique :

Pour donner ou plutôt trouver la réponse à cette question, on s'en retourne avant 1955. Où En 1951, près de 1.300 palmiers-dattiers ont été plantés, à titre expérimental, par l'Administration française pour être irrigués par un procédé nouveau dans la région du Souf, et par les eaux semi-profondes du complexe terminal. La cause principale qui pousse à réaliser les forages profonds artésiens dans la région du Souf, c'est le manque de l'eau autrement dit la baisse de la nappe phréatique à cause du développement du débit extrait de la part de l'agriculteur pour l'irrigation ou l'AEP.

III.5.1- Pr evision sur la variation piézométrique de la nappe phréatique du Souf :

III.5.1.1- Période de rabattement de la nappe traditionnel du Souf :

Duveyrier H. (1864), dans son livre parle du voyage qu'il a 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   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 ch amba.* » (Figure 58).

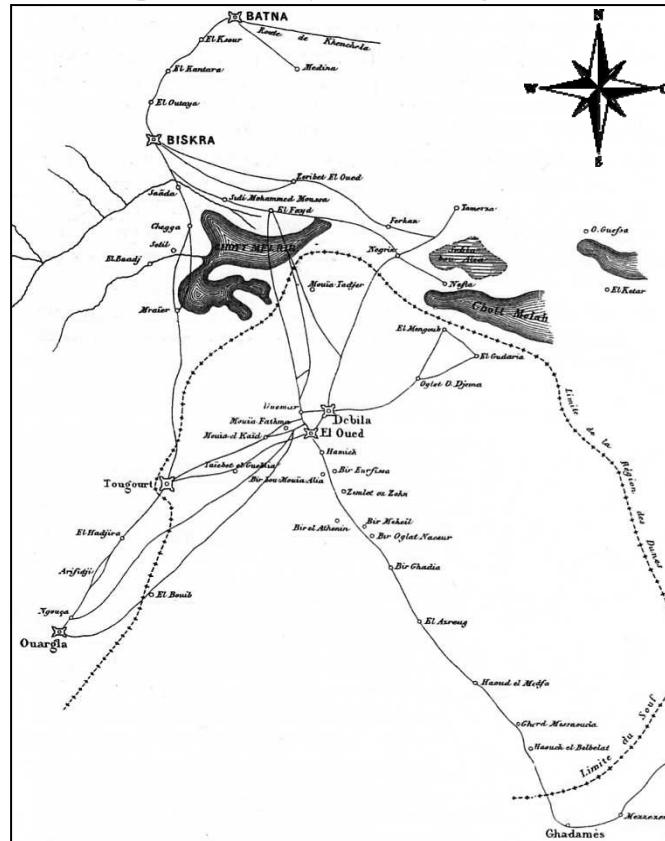


Figure 58. *La Route entre El-Oued et Ghadamès en 1883 jalonnée par les puits (carte de Jus. H, 1886, in Cote Marc, 2006).*

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).

La société Soufie, qui au cours des derniers siècles a eu à faire face à un lent rabattement de cette nappe, et a dû mettre au point des techniques d'approfondissement des ghouts et de "descente" du palmier (réaliser en creusant sous le palmier, et en descendant progressivement celui-ci avec des cordes, jusqu'à ce que ses racines atteignent à nouveau la nappe), le sait bien. Et à cause de ces techniques, le Soufi a réussi à augmenter le nombre de palmiers, où Lutaud Ch., 1914 et Najah A., 1970 confirment le développement du nombre de palmiers au début du XX^e siècle (Figure 59), mais toujours il y a eu une réaction de la nature par le rabattement de la nappe phréatique à cause du débit extrait (irrigation ou AEP).

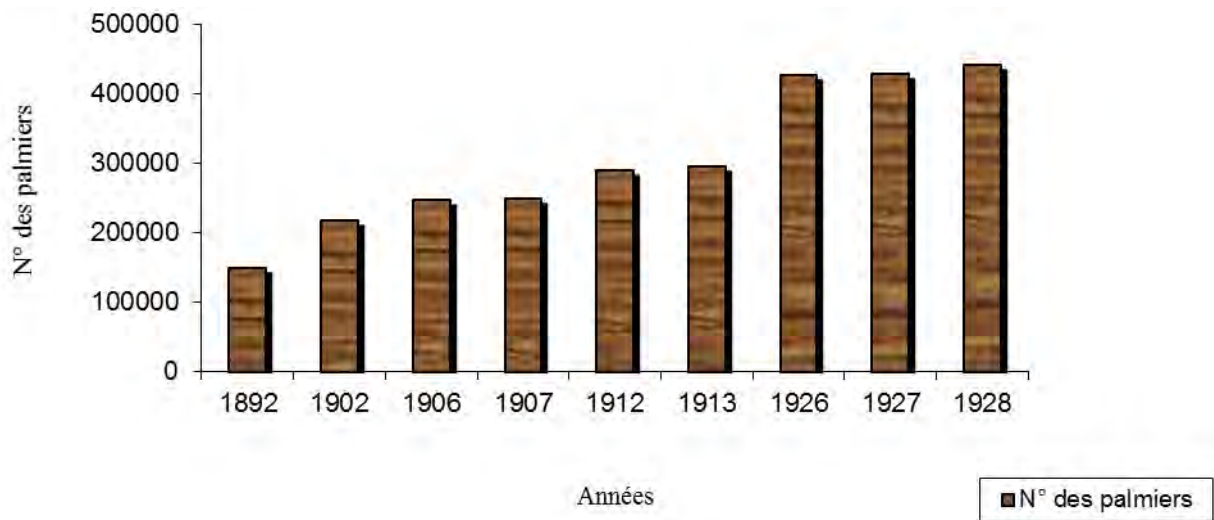


Figure 59. Les nombres de palmiers du Souf au début de XX^e siècle.

Il est certain que la baisse est notable depuis 1930 et probablement particulièrement accentuée depuis 1940-42. Il semble d'autre part, que l'eau ait commencé à baisser vers 1890. Mais depuis 1951 on mesure régulièrement l'eau des puits dans tout le Souf et l'on n'a enregistré aucune baisse continue ; au contraire on a pu déterminer ainsi l'existence d'un battement diurne de 2-3 cm, et d'un autre annuel de l'ordre de 30 cm, le minimum se plaçant à la fin de l'été et le maximum au début du printemps : ce fait d'ailleurs est connu des cultivateurs qui savent que la remontée de l'eau risque de faire pourrir une couche de fumier placée trop près de l'eau (Bataillon C., 1955).

En 1953, un rapport du laboratoire des BTP notait qu'une baisse avait dû intervenir dès 1890, qu'elle s'était accélérée entre 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 à Reguiba. Dans les secteurs de Ghamra Ouest ou

Djedeïda, on voit, dressés encore aujourd’hui, les troncs insolites de palmiers morts de cette époque. 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).

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 60). Elle devient de plus en plus catastrophique dans certaines rues de palmeraies, sur la nappe variant de 1,5 m à 7 mètres et parfois plus ; ce qui conduit à l’affaiblissement, sinon à l’assèchement total, des palmiers souffrant de la soif.

Les roches souterraines du Souf sont encore en voie de croissance caractéristique qu’on reconnaît unanimement au développement de la rose des sables restant sous terre. C’est que dans la plupart des endroits où la voûte de la nappe phréatique – la seule touchée – a considérablement baissé, on a constaté la présence soit de forte formation de Lous, comme à Hassi Khalifa, Ghamra, Djedaida soit l’apparition d’épaisses couches de Tafza jusque-là insoupçonnées (Najah A, 1970).

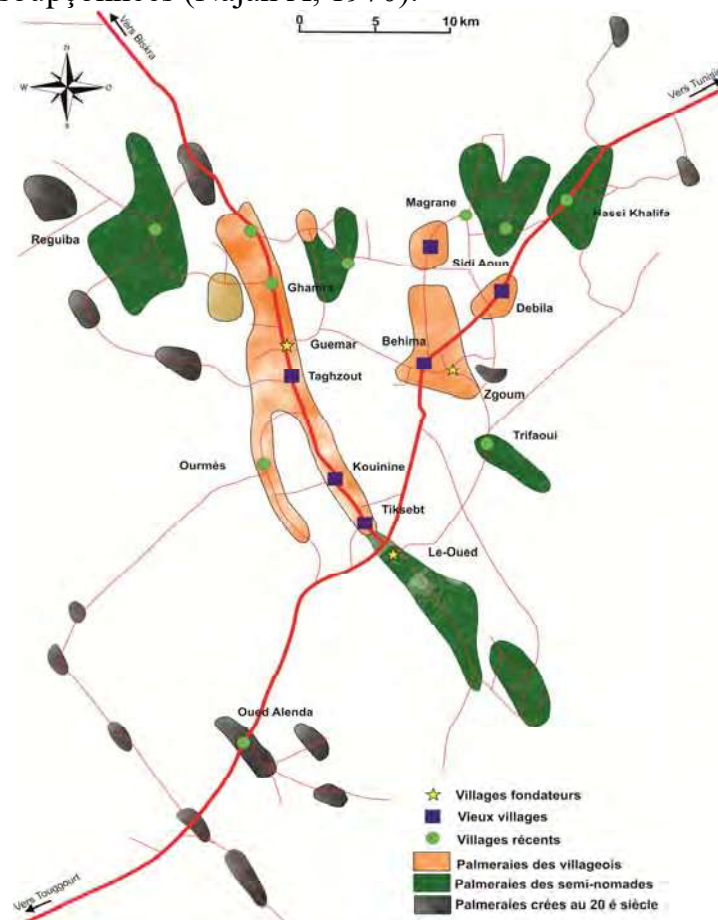


Figure 60. Les Oases du Souf aux XIX^e et XX^e siècles (Bataillon Cl, 1955) -Modifier-

D'après Najah A, 1970 et l'étude de Bataillon Cl, 1955 ; dans les régions orientales et septentrionales, le phénomène est beaucoup moins clair, d'autant plus que la plantation n'est pas continue, et que les observations sont moins serrées. La rue de palmiers qui s'allonge d'El Ogla à Guemmar, le rend très net : l'eau s'est abaissée plus fortement à mesure que l'on gagne l'aval ; on pourrait alors interpréter ce fait comme un déficit du rapport consommation (ou évaporation), alimentation du toit de la nappe : chaque point souffrant du déficit local, mais aussi de la totalité des déficits produits en amont, d'où accentuation de la dépression du toit vers l'aval c'est-à-dire vers le Nord. Mais de plus, la bordure de l'eau diffère sur les bordures (Est et Ouest), et au centre de la région plantée.

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 celle grossièrement d'un X. La branche Nord-Ouest correspond à la direction de Biskra, la branche Nord-Est à la route de Tozeur (Tunisie), celle du Sud-Est à la piste de Ghadamès, et celle du Sud-Ouest à la route de Touggourt. El Oued se trouve à la bifurcation de ces quatre routes.

III.5.1.2-- 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, sanitaires et sociales, dont la traduction fut, comme dans le reste du pays, la croissance démographique (Figure 61). Le Souf comptait 20910 habitants en 1875 (Niel O., 1876) et 21 000 habitants en 1881 (Escart, 1891). En 1900, il y avait 32 700 habitants (Voisin A.R, 1970), 43 000 habitants en 1913 (Lutaud Ch., 1914) et 92 000 en 1948 (Cote Marc, 2006).

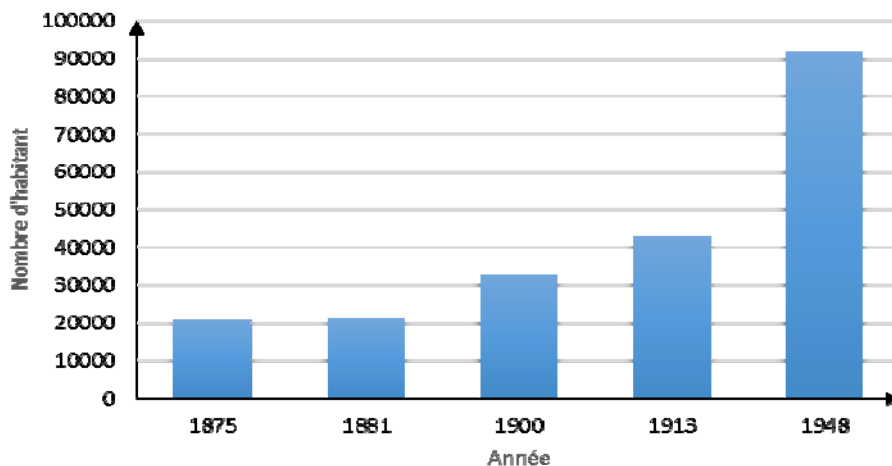


Figure 61. Développement du nombre d'habitants au XIX^e et XX^e siècles.

Lorsqu'en 1953 fut réalisé avec succès un forage profond pour l'irrigation à Sif El-Menadi (90 Km au Nord-Ouest D'El Oued), 434 m de profondeur et de débit 36 m³ par heure, avec pression artésienne jusqu'à ce jour. 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.

Devant cette situation de croissance démographique de cette époque, et les besoins en eau pour l'agriculture, on observe une baisse générale de la nappe phréatique. Cela fait que la réalisation des nouveaux forages était la solution, en 1957 s'adressant à la même nappe du premier forage, un second est exécuté à Hobba (30 Km de Nord-Ouest d'El Oued), il donne 40 litres par seconde (DRE, 2016) sous une pression au sol de 22 m 50 en 1957 (artésien) mais il a perdu cette pression avec les années d'exploitation ; la profondeur exploitée allant de 405 m. Un troisième forage, à Guemmar, donne 8,3 litres par seconde sous une pression au sol de 8 m (artésien) ; la profondeur exploitée 361 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 (artésien). Celui de Hamraïa, exploité à 440-470 m de profondeur, débite 115 litres par seconde (en 1960), et une pression de 30 m au sol (artésien) ; quantité d'eau énorme qui a permis la réalisation d'une immense palmeraie. Celui de Guemmar donne actuellement 2000 litres par minute. Le forage à Ghamra débite 12 000 litres par minute (Voisin A.R, 2004). Le nombre de palmiers atteint de 443.800 en 1962 (DSA. El Oued, 2016).

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

Et d'après la Chronologie de réalisation de forage de la **DRH** El Oued, on trouve que de 1956 (l'année du premier forage profond à atteindre le Complexe terminal) à 1970, deux forages furent réalisés presque chaque année pour couvrir les besoins de l'irrigation et de l'Alimentation en Eau Potable.

Après l'année 1970, le périmètre de Hobba (Reguiba) n'est plus unique dans la région, il existe également deux périmètres créés dans le cadre de la révolution agraire : Akfadou (1976, 90 palmiers par attributaire) et Sahane Berry (commune de Hassi

Khalifa) (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. El Oued, 2017).

On peut ajouter à ces 3 périmètres publics le grand périmètre privé de Dhaouia, crée et développé au cours des 30 dernières années par l'industriel Soufi M^r Djilali Mahri, géré en exploitation centralisée d'un seul tenant. Au prix de très gros investissements, il a réalisé une mise en valeur spectaculaire de 568 ha, portant sur environ 15 000 palmiers et 12 000 oliviers, irrigués par 7 forages de profondeur 270-290 mètres (le seul cas où un privé ait réalisé des forages profonds sur autorisation de l'état). Et pour être franc, il y a des prives qui ont aménagé de grands périmètres utilisant les eaux du CT à l'aide de forages réalisés sans autorisation.

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

Depuis l'année 1970, le rythme de réalisation de forages s'est accéléré, et chaque année a vu l'exécution de 3 ou 4 forages. Durant l'année 1977, le nombre de forages réalisés a atteint douze (12) forages à l'échelle de la région du Souf, neuf (9) pour l'alimentation en eau potable et trois (3) pour les besoins d'irrigation, de 30 litres par seconde en moyenne chacun (DRE. El Oued, 2016).

Avec ces efforts pour couvrir les besoins en eau (irrigation, AEP), les responsables du secteur hydraulique sont des gestionnaires naïfs. En 1973, le premier rapport de la direction de l'hydraulique de la Wilaya d'El Oued d'après M^r A-Majid EDHABE, notait qu'il y'a des traces d'humidité au sol (fond du ghout), dans le ghout El Sardouke et Mehirice au Centre-ville d'El Oued (Figure 62).



(1) Ghout El Sardouk de sol humide au début les années 80 et en états inondée en 1988. (2) Ghout Mehirice sain en 1920

Figure 62. Plan La ville d'El Oued, présentant les points humides fin des années 70.

III.5.1.3- 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 qui n'ont cessé d'augmenter, notamment dans le domaine de la consommation en eau potable, on ne conçoit plus la vie en ville sans l'adduction d'eau, et la distribution au robinet 24 heures sur 24. Et pour assurer cela il faut réaliser des réseaux d'alimentation en eau potable et des ouvrages hydrauliques pour le stockage. Le château d'eau d'El Oued de capacité 500 m³ fut élevé en 1957 ; 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, 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 80, le Souf s'est senti basculé, et vécu la rupture du système fermé ou en d'autres termes, la mort du paysage agricole. Et ce basculement s'est présenté sous un visage inattendu, celui d'une crise hydraulique spectaculaire, par excès d'eau (Figure 63), comme il n'y en a eu nulle part ailleurs au Sahara.

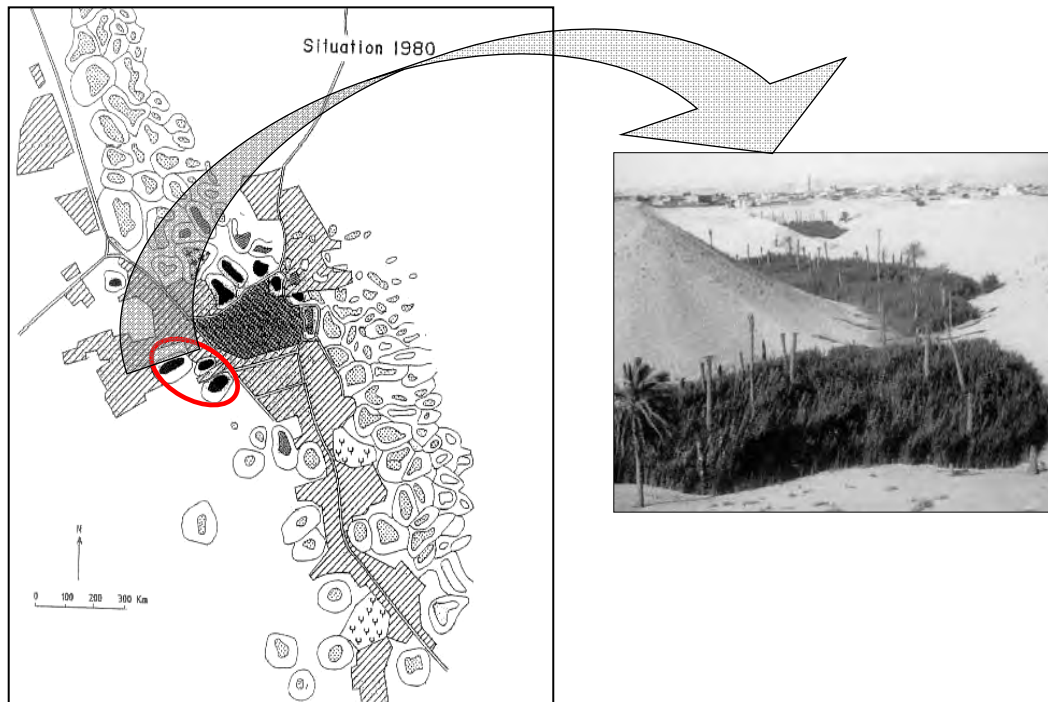


Figure 63. La situation des ghouts autour d'El Oued en 1980 (Cote Marc, 1998).

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

Les répercussions sur les palmiers sont claires et directes : envahissement par les joncs et roseaux, arrêt de fructification des palmiers, puis dépérissement des arbres, et enfin la mort de palmiers et abandon du ghout (Figure 64).

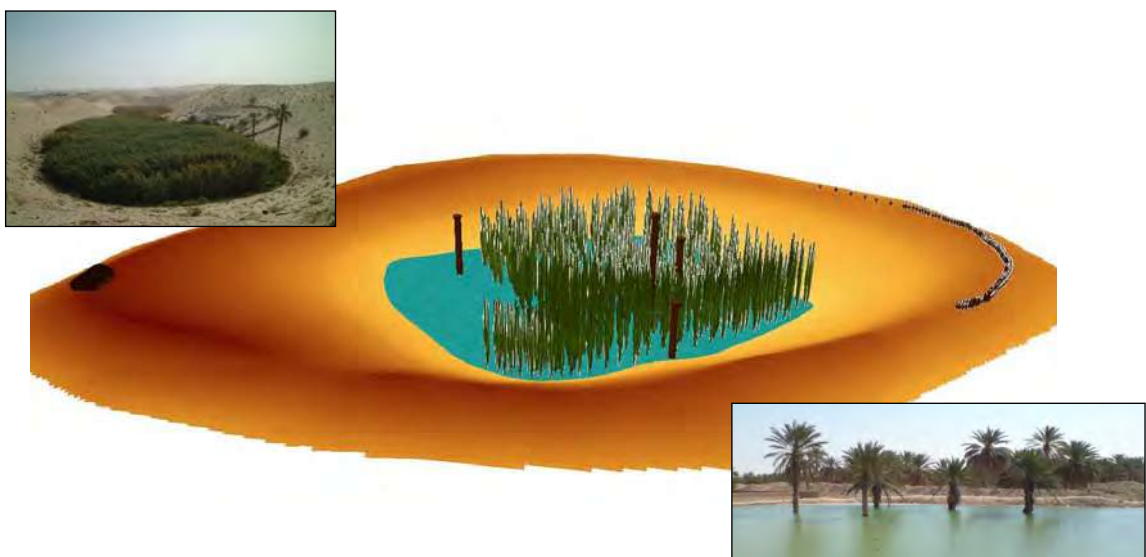


Figure 64. *Modèle Numérique de Terrain* présentant un ghout inondé.

D'après les recensements de la DSA El Oued, on remarque que de la saison 1980-1981 à la saison 1982-1983 il n'y a pas d'influence apparente sur le nombre total des palmiers dans la région, mais il en y a eu une diminution du rendement productif, lors de la saison 1981-1982, le rendement a atteint les 74 %, lors de celle de 1982-1983 le rendement a diminué de 32 %, où il y a eu la perte de 94 523 palmiers entre 1983 et 1984, et le rendement a diminué de 28 % pour cette saison (Figure 65).

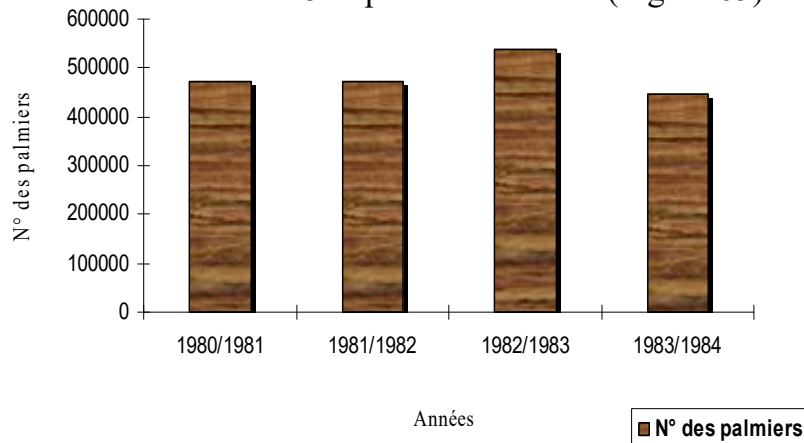


Figure 65. Les nombres de palmiers au début d'années 80 (DSA, El Oued, 2016).

Année après année, la nature du Souf souffre d'une voix silencieuse, et le charme de ce paysage disparaît sous le regard de nos yeux, la situation devient plus complexe plus aucun progrès dans la ville d'El Oued, le phénomène s'est développé et a touché les autres sites (ghouts) comme présenté dans la figure 66.

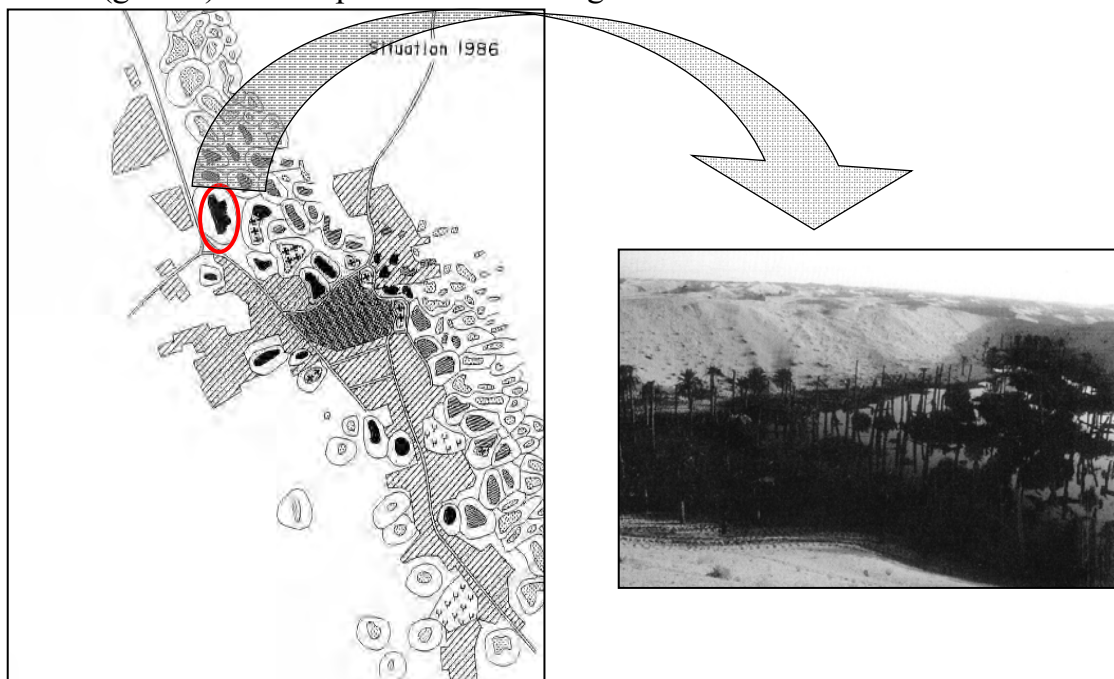


Figure 66. La situation catastrophique des ghouts d'El Oued en 1986 (Cote Marc, 1998).

Avec la poussée démographique dans la région du Souf, les besoins des habitants en eau augmentent, les pouvoirs publics (municipalités et services hydrauliques) ont répondu à cet accroissement des besoins, par l'appel à un aquifère très profond.

Le continental intercalaire en 1986, le premier forage est le Barrémien DW 101 dans la commune d'El Oued (cité de Chauhada), de profondeur qui atteindra 1850 m, de pression de 22 bars qui débite 200 litres par seconde, suivi par deux 2 autres forages en 1987, le celui de Sahane-Berry (commune de Hassi Khalifa) de 2010 m de profondeur et 25 bars de pression qui donne un débit de 250 litres par seconde, le dernier est le Barrémien DW 102 dans la commune d'El Oued aussi (route de Touggourt), de profondeur de 1845 m et de pression de 23 bar avec un débit de 230 litres par seconde (DHW. El Oued, 2007). Les deux forages de la commune d'El Oued, sont en service depuis l'année de réalisation (Actuellement les deux forages de la commune d'El Oued donnent une débit 120 l/s avec une pression d'environ 16 bar), pour le forage de Sahane-Berry resté fermé pendant environ dix (10) ans jusqu'à la fin de 2006, il est raccordé au réseau de distribution des eaux potables pour les habitants de Hassi Khalifa (DRE El Oued, 2017). Notons qu'il existe une installation de refroidissement de l'eau du forage de Chauhada, mais celle-ci n'est pas en fonctionnement.

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

Les réseaux d'alimentation en eau potable, sont alimentés par les ressources en eaux souterraines provenant des nappes du continental intercalaire et du complexe terminal, le taux d'AEP est 95%, et comprennent des canalisations de divers diamètres à partir de DN 500 mm ; les tuyaux sont en amiante ciment et en P.V.C ou polyéthylène. Aucun plan d'ensemble cohérent et renseigné n'a été produit. Le linéaire total du réseau d'eau potable est actuellement estimé à 2015 km (ADE, El Oued. 2016). La distribution est assurée à partir de 79 Châteaux d'eau. Pendant cette période, 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. Aucun robinet d'arrêt n'est disposé à l'endroit des piquages. La canalisation est sans doute choisie indépendamment de sa résistance à la pression de service.

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

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

Il ne faut donc pas s'étonner de constater 15 éclatements ou des fuites dans le réseau d'AEP par jour (GIERSCHE.P, 1989), généralement les fuites sur des branchements particuliers (Figure 67).

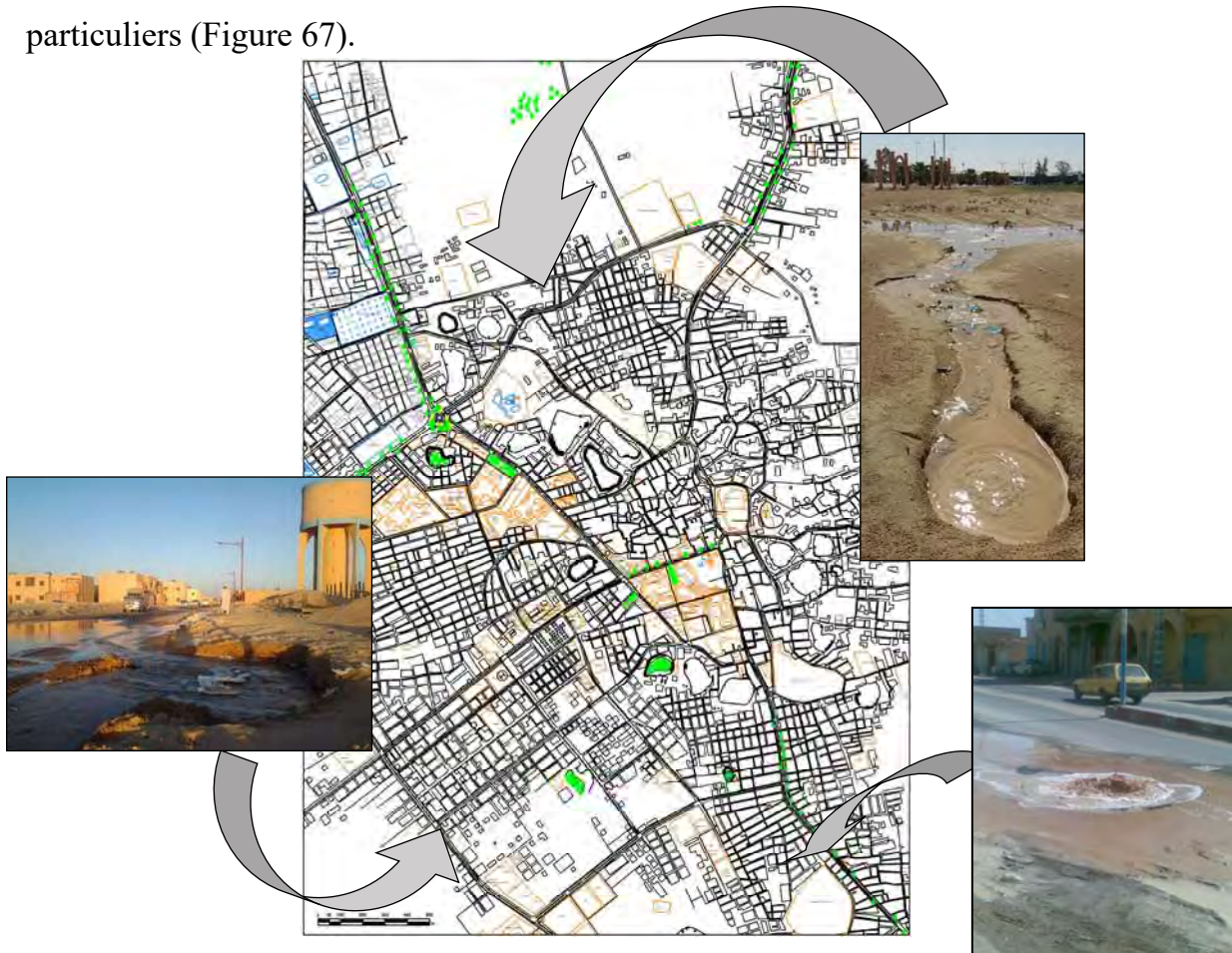


Figure 67. Les fuites du réseau d'AEP dans la commune d'El Oued.

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

III.5.1.4- la rupture totale d'un système fermé et éveil des pouvoirs publics :

D'après BNEDR (1993), le prélèvement pour le besoin d'alimentation en eau potable par les nappes du complexe terminal et le continental intercalaire atteint 3789 litres par seconde en 1993 (3109 l/s du CT et 680 l/s par le CI). Pour l'irrigation le débit prélevé par la nappe phréatique est de 6123 litres par seconde. Mais lorsque l'apport provenant de la profondeur est puissant et continu dans le temps, le niveau de la nappe phréatique s'élève, finit par être proche de la surface où elle menace les cultures et les habitations.

Or, à cet apport supplémentaire massif, n'a pas correspondu non plus une modification dans le système d'évacuation. L'assainissement des eaux résiduaires dans la vallée du Souf est caractérisé par la prépondérance d'un assainissement individuel (ou autonome) pour toutes les agglomérations de la vallée du Souf. Le système rural de fosses ou les puits perdus, a été conservé dans une ville d'environ 130 000 habitants, où le nombre de fosses perdues dans la région atteint 36 265 avant 2012 (ONA, El Oued 2016). 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.

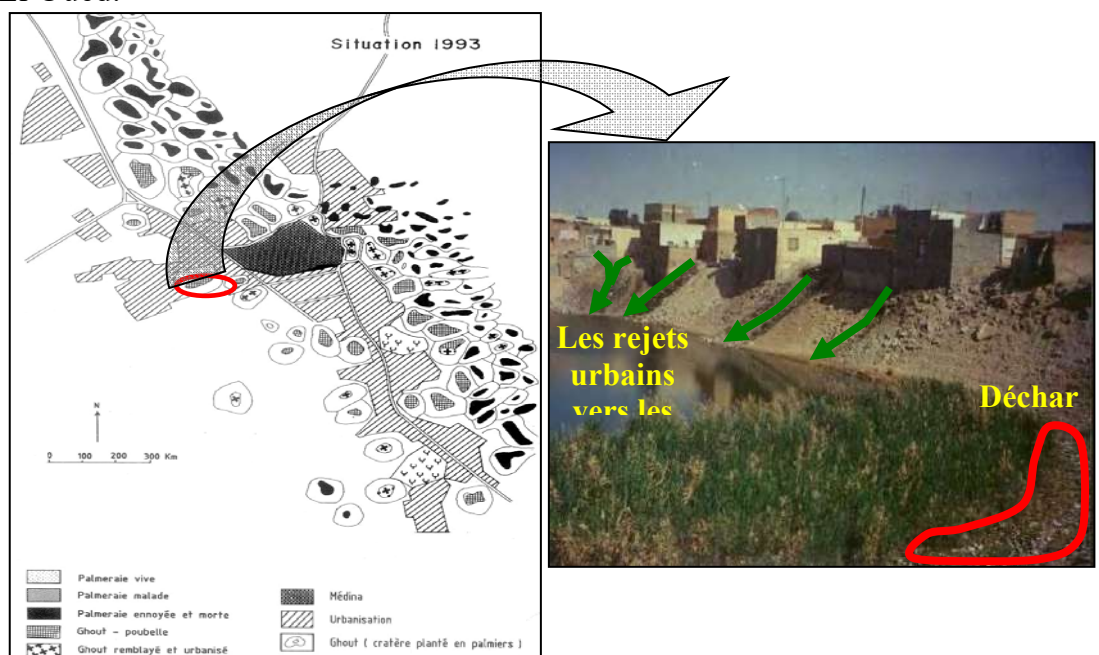


Figure 68. Situation d'un ghout ennoyé complètement par les eaux polluées de l'année 90 (Cote Marc, 2006).

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 (Kouinine, El Oued, Bayada, ...). Les ghouts ennoyés qui cernent la ville présentant une eau noirâtre et nauséabonde (Figure 68), 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), a réalisé le réseau mis en place en 1993, composé originellement de 152 points : 112 puits et 40 piézomètres répartis dans la région du Souf dans une zone de 80 km Nord-Sud sur d'environ 50 km 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 (zones urbaines), en particulier au niveau des agglomérations. Des campagnes de mesures piézométriques ont été menées.

D'après les données de l'**ANRH**, des niveaux piézométriques dans tous les points de mesure (piézomètres et puits) en 1993, on peut réaliser la carte piézométrique de la nappe phréatique de la région du Souf par le **Système d'Information Géographique « SIG »** (ArcGIS 10.1), qui présente le sens d'écoulement et la variation spatiale du niveau piézométrique en 1993 (Figure 69).

L'objectif principal de l'analyse de l'évolution de la piézométrie dans le temps et l'espace est de visualiser la direction de l'écoulement horizontal 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.

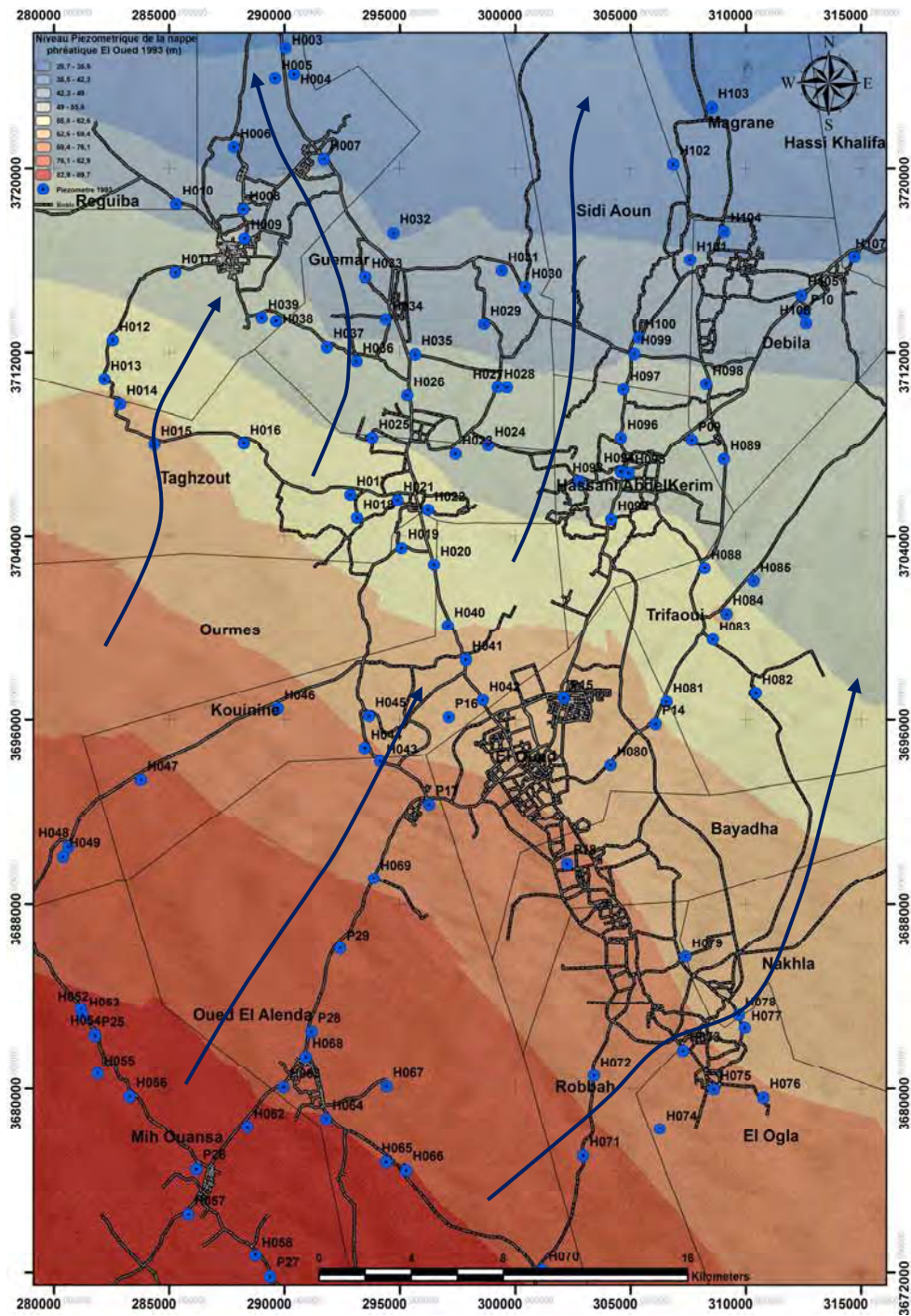


Figure 69. Carte piézométrique de la nappe phréatique du Souf en Avril 1993.

L'analyse de la carte piézométrique montre que la surface piézométrique est peu profonde au Sud et se rapproche de la surface du sol quand on se dirige vers le Nord de la région du Souf. Elle montre aussi que la surface piézométrique obtenue est simple et les lignes de courant convergent vers le Nord. Cette carte permet d'affirmer que la direction principale des écoulements des eaux souterraines (nappe phréatique) est du Sud vers le Nord-Ouest ; Reguiba-Houba et Foulia (Zones 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 Mih 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.

Ceci s'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).

A la vue de la carte du toit du substratum argileux (Figure 70) de la nappe phréatique, 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 Khalifa Au Nord-Est. Dans cette région, la profondeur du substratum dépasse parfois une centaine de mètres (Drouiche A.M., 2014).

Aux environs de la ville d'El Oued, la profondeur du toit du substratum argileux varie entre 40 et 60 mètres. Dans la partie Nord-Est de la zone d'étude à partir de Hassani AbdelKrim, le substratum argileux est à environ 40 m de la surface du sol puis plonge progressivement pour Debila et Akfadou et remonte la profondeur ensuite jusqu'à environ 50 mètres (ENAGEO, 1992).

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

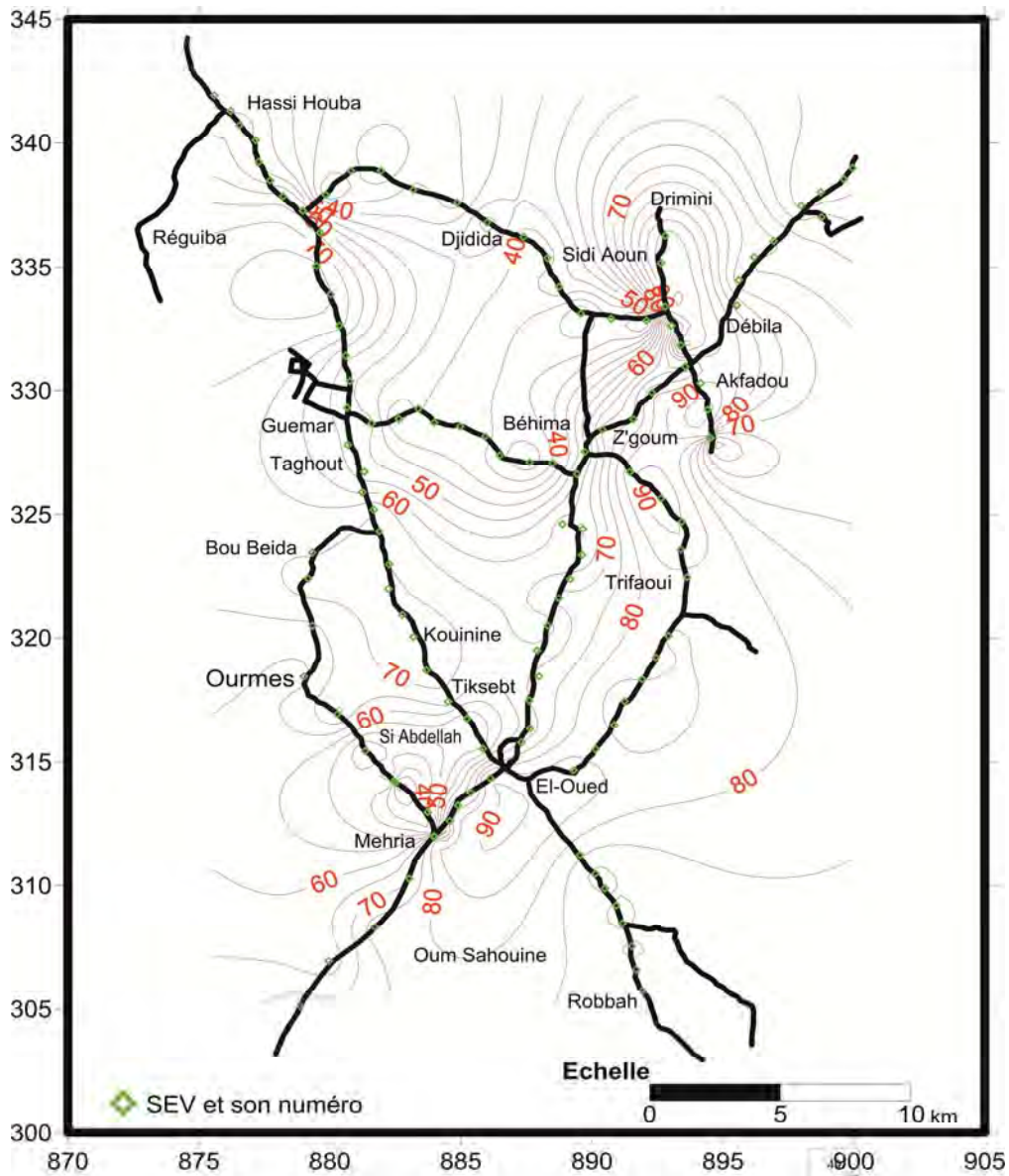


Figure 70. Carte isobathe des valeurs du substratum argileux de la nappe libre du Souf (Drouiche A.M., 2014).

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

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

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

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

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

Suite à une enquête que nous avons pris soin de mener (sur notre initiative), nous avons pu recenser 161 cas de typhoïde en 2009, repartis surtout dans les communes de Reguiba, Hassi Khalifa et Magrene, et un seul cas mortel dans la commune de Guemmar.

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

Ces espaces d'eau, inattendus dans le Souf et non contrôlés, tentent les enfants comme aire de jeu, mais sont garants de la mort par noyade d'une cinquantaine de personnes au cours des 20 dernières années, dont 80 % sont des enfants d'après la

direction de la protection civile d'El Oued, où il y a un nombre important de "Ghout", dont la profondeur de l'eau atteint 5 m et plus (Figure 71).

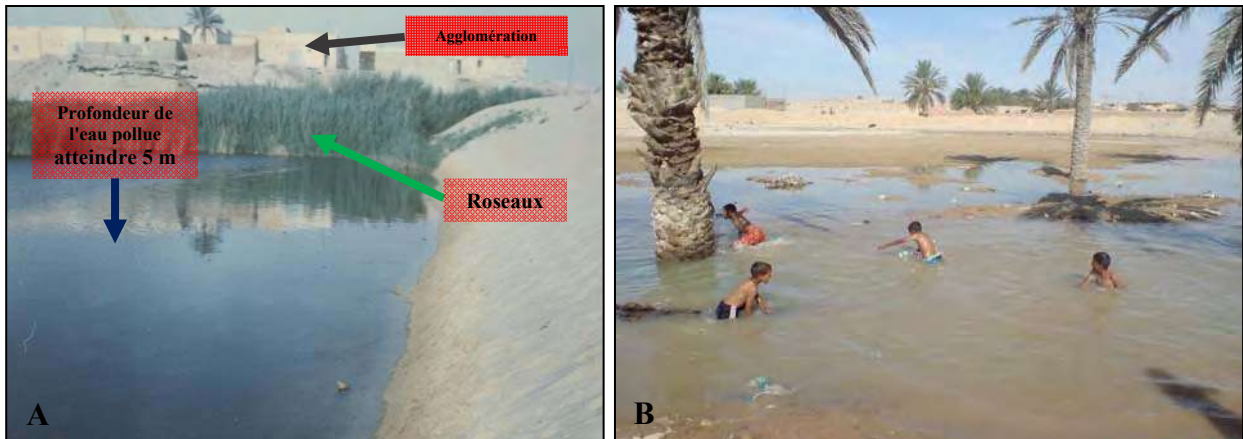


Figure 71. Situation d'un ghout dans la commune d'El Oued rempli d'eau et de roseaux à la place des palmiers (Photo "A", Remini B., 1996. Photo "B", Miloudi A.M. 2009)

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

Suite à la remontée des eaux à la surface du sol, des habitations se sont détériorées, des fissures préjudiciables se sont apparues dans plusieurs maisons, notamment au niveau du quartier Sidi Mestour, situé à la périphérie Est de la ville (Figure 72). Plusieurs familles ont dû être transférées vers d'autres lieux par peur d'effondrement de leurs maisons (Remini B, 2005).



Figure 72. La situation de la nappe libre dans les zones urbaines (Sidi Mestour) (Photo Miloudi A.M, 2012)

Pour le secteur agricole, la diagramme ci-dessous présente le développement des surfaces des palmeraies dans la région du Souf dans les années 1995 à 2000 (Figure 73), où on remarque dans les trois premières saisons un décroissement de la surface (ha), de 9622 ha jusqu'à 8074, et ce qui s'explique cette déperdition c'est le démarrage des travaux de remblaiement du fond du Ghout menacé du phénomène de remontée par une couche de sable neuf sur 1 ou 2 m d'épaisseur.

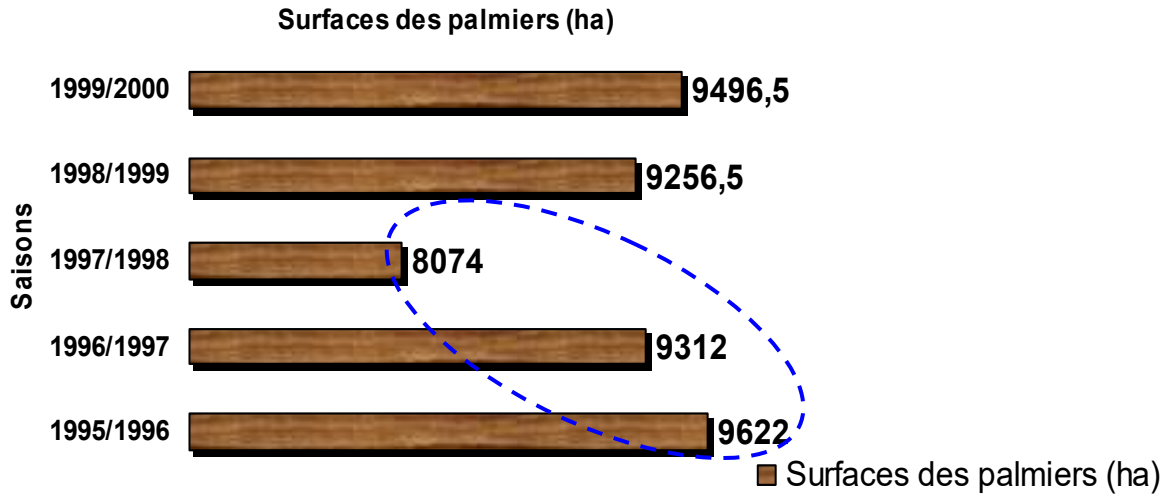


Figure 73. Développement les surfaces des palmeraies de l'année 1995 à 2000 du Souf.

Aussi d'après le recensement de la direction de l'agronomie d'El Oued, on peut estimer la déperdition à 36 617 palmiers en trois années de 1995 à 1997 seulement. La figure 74 donne une idée générale sur le développement du nombre de palmiers de la région pour les saisons de 1995 à 2000.

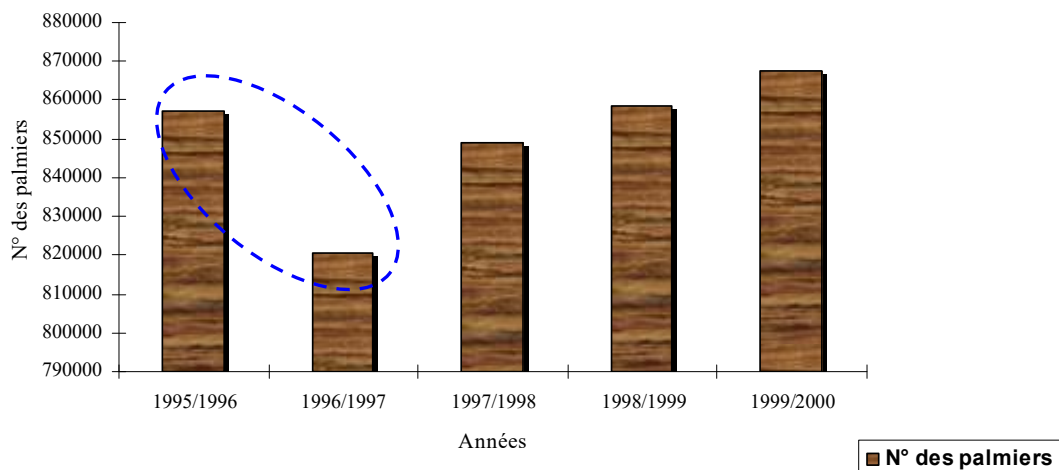


Figure 74. Les nombres de palmiers de l'année 1995 à 2000 du Souf.

Enfin, on peut estimer la déperdition totale à 131140 palmiers pendant une vingtaine d'années à peine.

On peut donc résumer l'histoire de la nappe traditionnelle du Souf jusqu'à cette période dans ce schéma réalisé d'après Cote Marc (2006) (Figure 75) ; où après une longue phase de rabattement, la nappe phréatique n'a cessé de monter depuis d'années 1950. Mises en regard avec les événements extérieurs, les grandes pluies des 1969 apparaissent épisodiques ; par contre apparaît évidente la corrélation avec le rythme croissant des forages dans les nappes profondes.

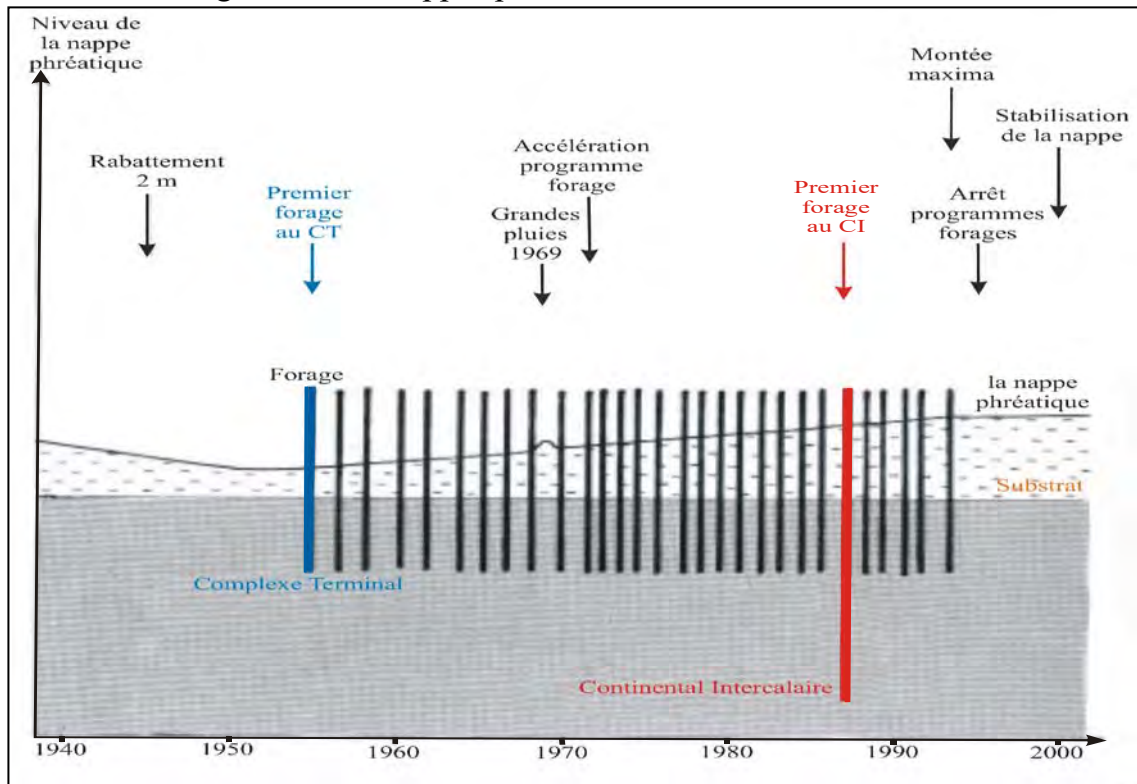


Figure 75. Le comportement de la nappe dans le temps pour cette période (Cote Marc, 2006) -Modifier-

III.5.1.5- Période du lancement des grands projets de la vallée du Souf :

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

La situation de la nappe phréatique dans la vallée du Souf et son évolution sont fortement variables selon le contexte. Et comme nous l'avons dit avant que la distribution des ghouts dans la région du Souf donne une idée générale de la situation de la nappe et pour cela la figure 76 présente la situation des ghouts au début de cette période.

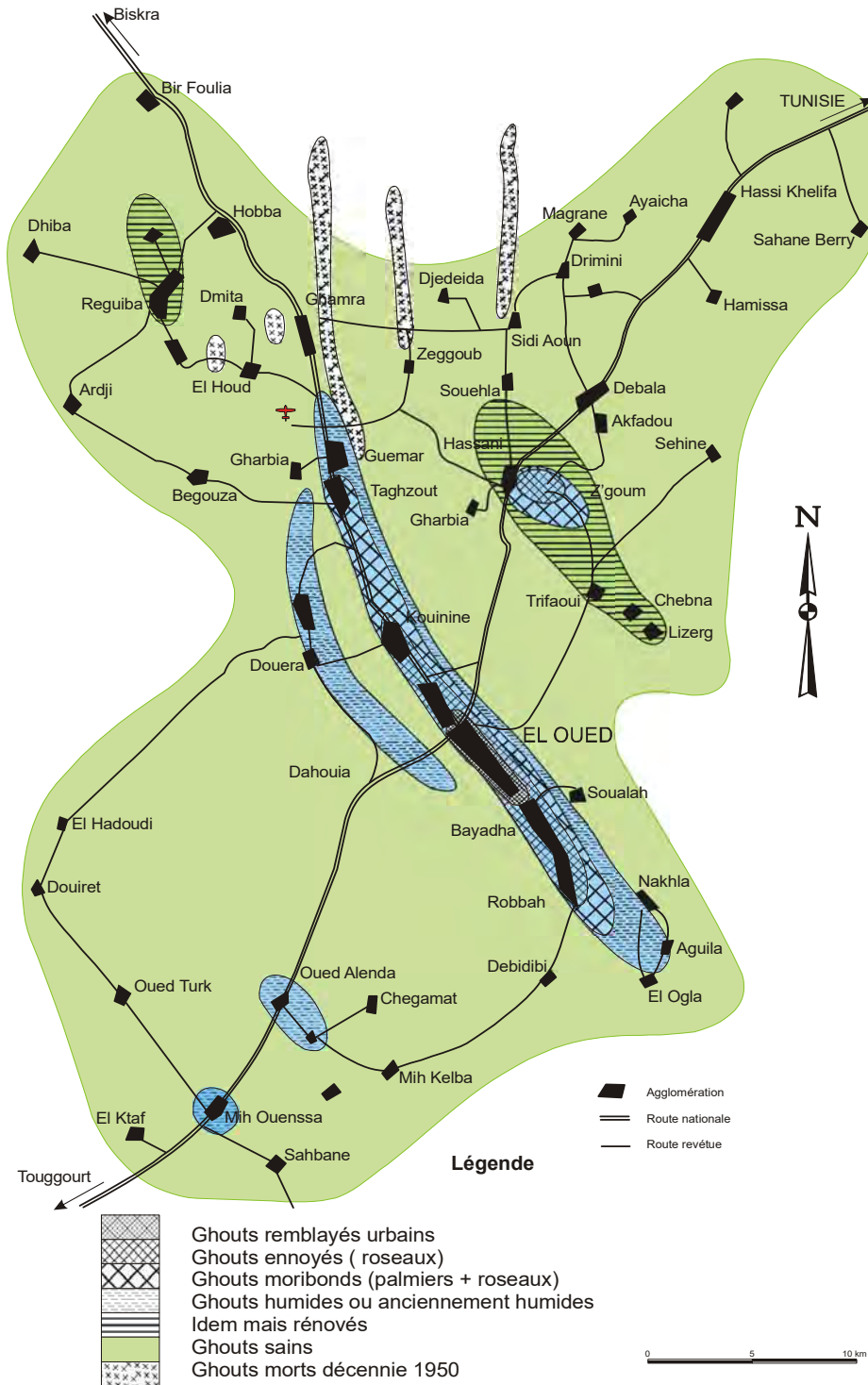


Figure 76. Etat des ghouts du Souf en 2001 (Cote Marc, 2001).

Cette nouvelle situation a provoqué la pollution de la nappe phréatique et la dégradation des Ghouts. Seulement, le degré de dégradation évolue d'un endroit à l'autre. Suite à un travail de recensement effectué en 2015 par la Direction des Services Agricoles, une carte représentant l'état des Ghouts du Souf a été établie (Figure 77).

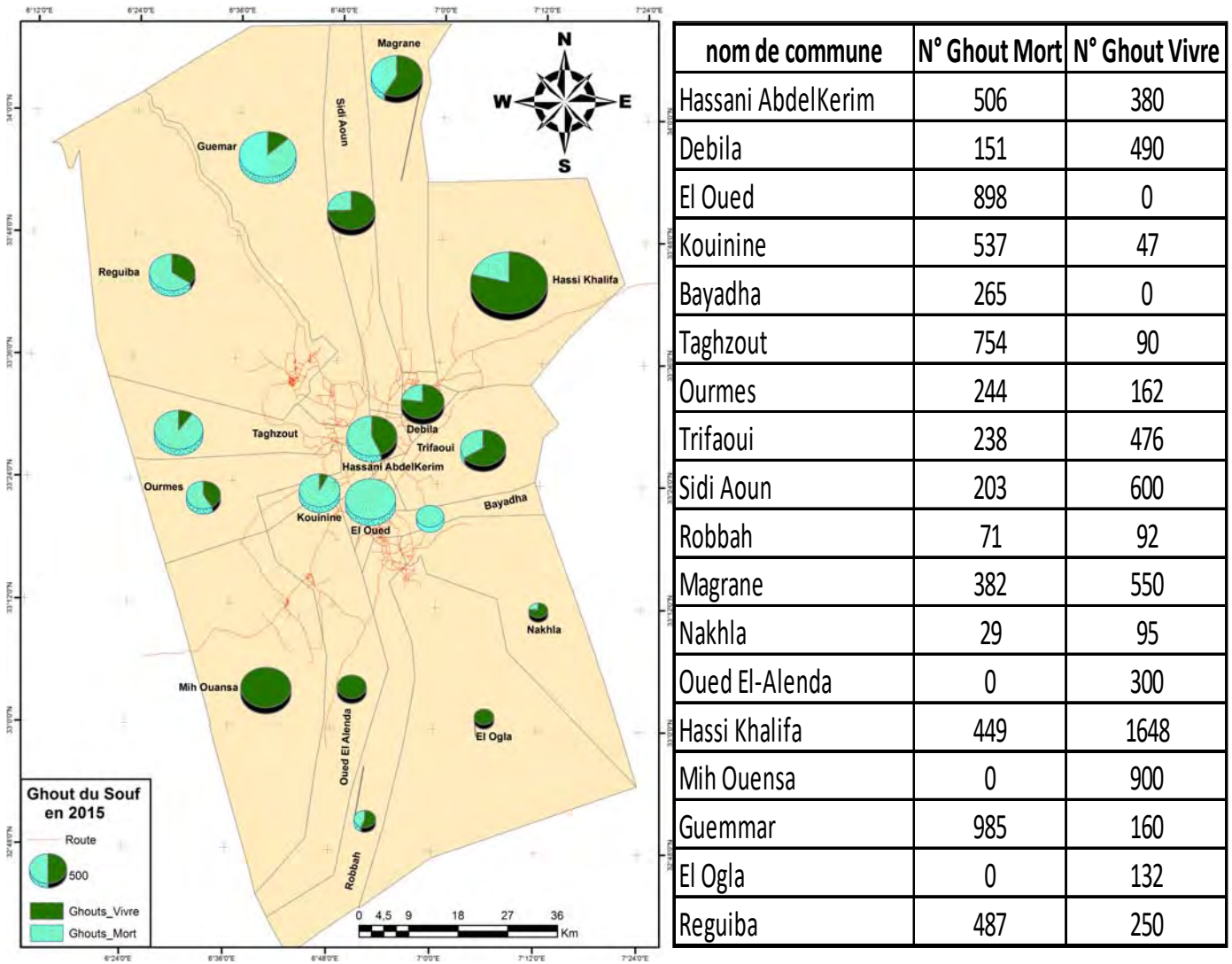


Figure 77. Situation des ghouts du Souf en 2015.

D'après le figure 77 on trouve que les ghouts dans les communes d'El Oued et Bayadha sont menacées totalement par le phénomène de remontée des eaux de la nappe phréatique (inondée par les eaux de la nappe), par contre les trois communes d'El Oglia, Mih Ouansa et Oued El Alenda où les grandes ghouts du Souf restées conserver leurs productivités. Et pour les autres communes du Souf les pourcentages des ghouts dégradées ou inondées sont différenciés, où le grand pourcentage de ghout dégradé est 91,26 % dans la commune de kouinine et le faible pourcentage de 21,41 % situé au commune de Hassi Khalifa (Figure 77).

Le recensement de la Direction de Service Agronomie d'El Oued nous donne une idée générale sur le développement du nombre de palmiers de la région du Souf pendant cette période (Figure 78).

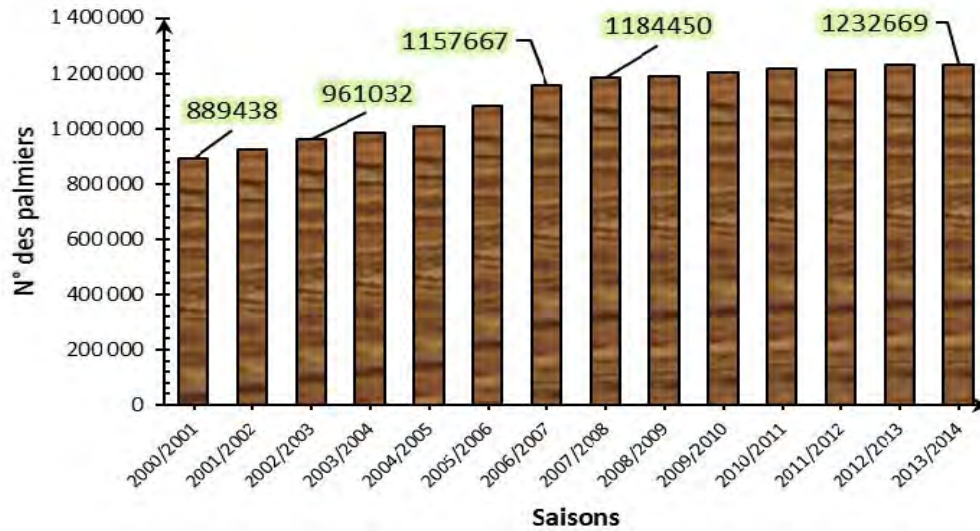


Figure 78. Développement du nombre de palmiers de la région du Souf de l'année 2000 à 2014.

Dans le secteur Nord 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 79).



-A: Université El Oued -B: Eaux polluées de la nappe phréatique -C: Château d'eau
-D: Zone urbaine -E: roseaux.

Figure 79. Chott El Oued (remontée capillaire de l'eau de la nappe) près de la station principale (ST-10).

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

Lors des fortes pluies de 1969, la corrélation a été indéniable. En 1989, la région a connu à nouveau de fortes pluies, et au début du XXI^e siècle, lors des hivers 2001-2002 et

2002-2003, c'est le quartier Sidi Mestour qui a vu le sol de certaines maisons inondé (Figure 80), et les fondations de nombreuses constructions menacées, où la pluviométrie annuelle pour l'année 2001 a atteint 206,2 mm (ONM d'El Oued–Guemmar, 2016).



Figure 80. *Des maisons abandonnées et inondées (Quartier Sidi Mestour) par les eaux de la nappe et pleines de roseaux depuis 2000.*

Et pour suivre le changement (la variation) piézométrique de la nappe, il faut revenir au réseau surveillance de l'ANRH (réalisé en 1993), les données de mesure étaient composées originellement de 152 points : 112 puits et 40 piézomètres répartis dans la région du Souf dans une zone de 80 Km Nord-Sud sur d'environ 50 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 (ou baisse) de la nappe de par le manque de points de mesures dans les zones menacées, en particulier au niveau des agglomérations (zones urbaines).

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

Ces points consistent essentiellement en puits améliorés implantés dans des lieux publics, principalement des écoles et lycées (Figure 81), 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 81) ; (109 nouveaux points (G), 112 puits du réseau ANRH (H) et 40 piézomètres du réseau de surveillance ANRH (P)).

Ces nouveaux points (Figure 81) comprennent aussi les puits en ville sur lesquels des échantillons pour analyse ont été prélevés.

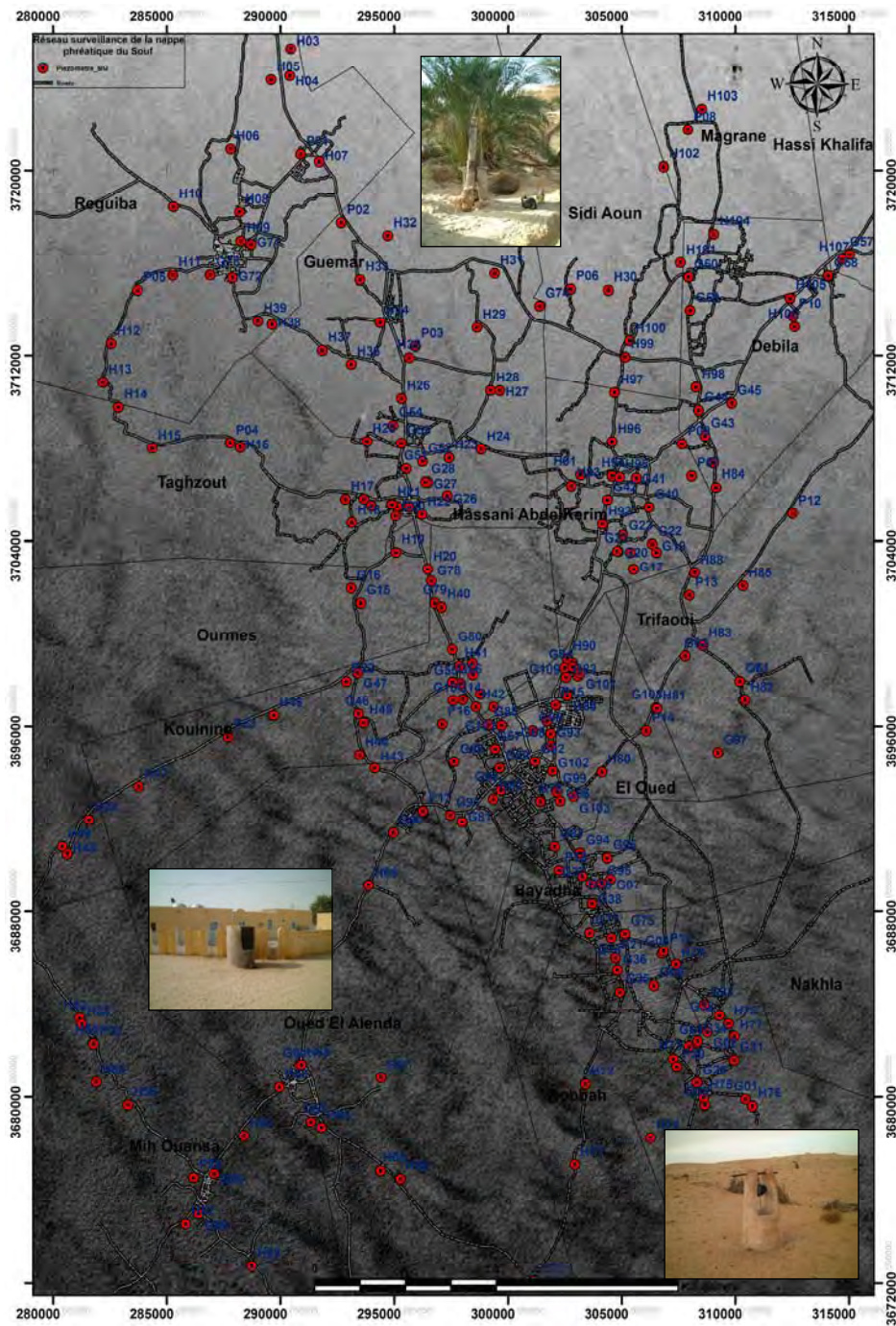


Figure 81. Réseau de surveillance de la nappe phréatique en 2001.

Pour une meilleure connaissance des qualités physique-chimiques 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.

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 hydrogéologiques BG-HPO, réalisée en avril 2002. Et pour bien suivre l'évolution de phénomène de remontée des eaux de la nappe phréatique dans la région du Souf nous avons extrait la carte de différence piézométrique entre l'année 2002 et 1993 (Figure 82) par les données de la dernière campagne de mesures hydrogéologiques en 2002 et les données de l'ANRH.

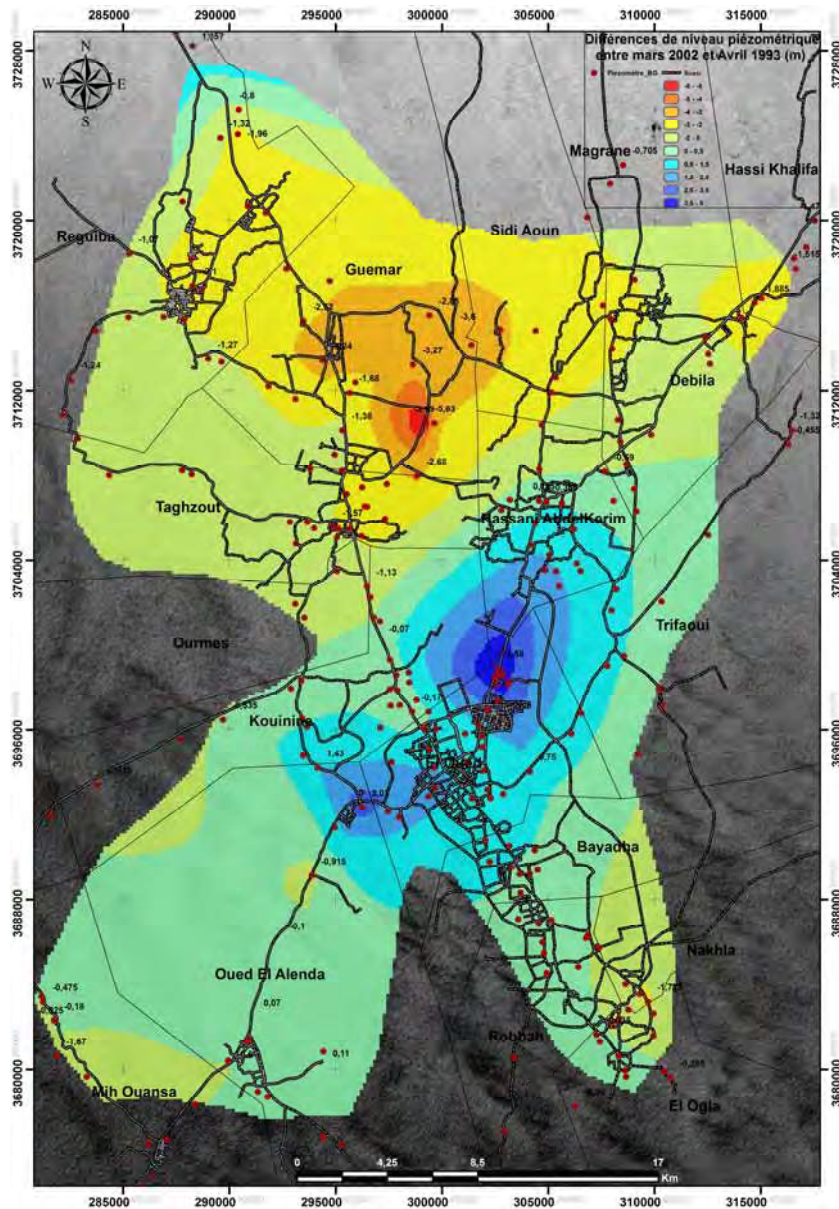


Figure 82. La carte de différence piézométrique entre 1993-2002.

La comparaison entre les mesures de Mars 1993 et Avril 2002 (Figure 82) 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 (1,2 m), du domaine Dhaouia (3 m) et du rejet de la ville d'El Oued (4,5 m au piézomètre H90, certainement plus au rejet lui-même)

➤ 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 mètre dans la région de Hassi Khalifa, 1,7 mètre au sud de Nakhla et 1,7 mètre dans la région d'Oued Turk.

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

118 points du réseau de surveillance, pour lesquels des mesures piézométriques ont été réalisées en Avril 2002 et en Avril 2001, ont servi à la réalisation de cette carte d'isovaleurs des différences du niveau piézométrique (Figure 83) entre Avril 2002 et Avril 2001.

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

- Au niveau des centres urbains

De 0,6 mètre à Reguiba ;

De 0,5 mètre à Robbah ;

De 0,4 mètre à El-Oued ;

De 0,3 mètre à Nakhla ;

De 0,2 mètre à Hassi Khalifa ;

De 0,1 mètre à Magrane ;

De 0,1 mètre à Oued Alenda Sud ;

De 1 mètre au niveau du rejet de la ville d'El-Oued ;

De 0,6 mètre au niveau de la plantation de Foulia, irriguée à partir de forages profonds au CT.

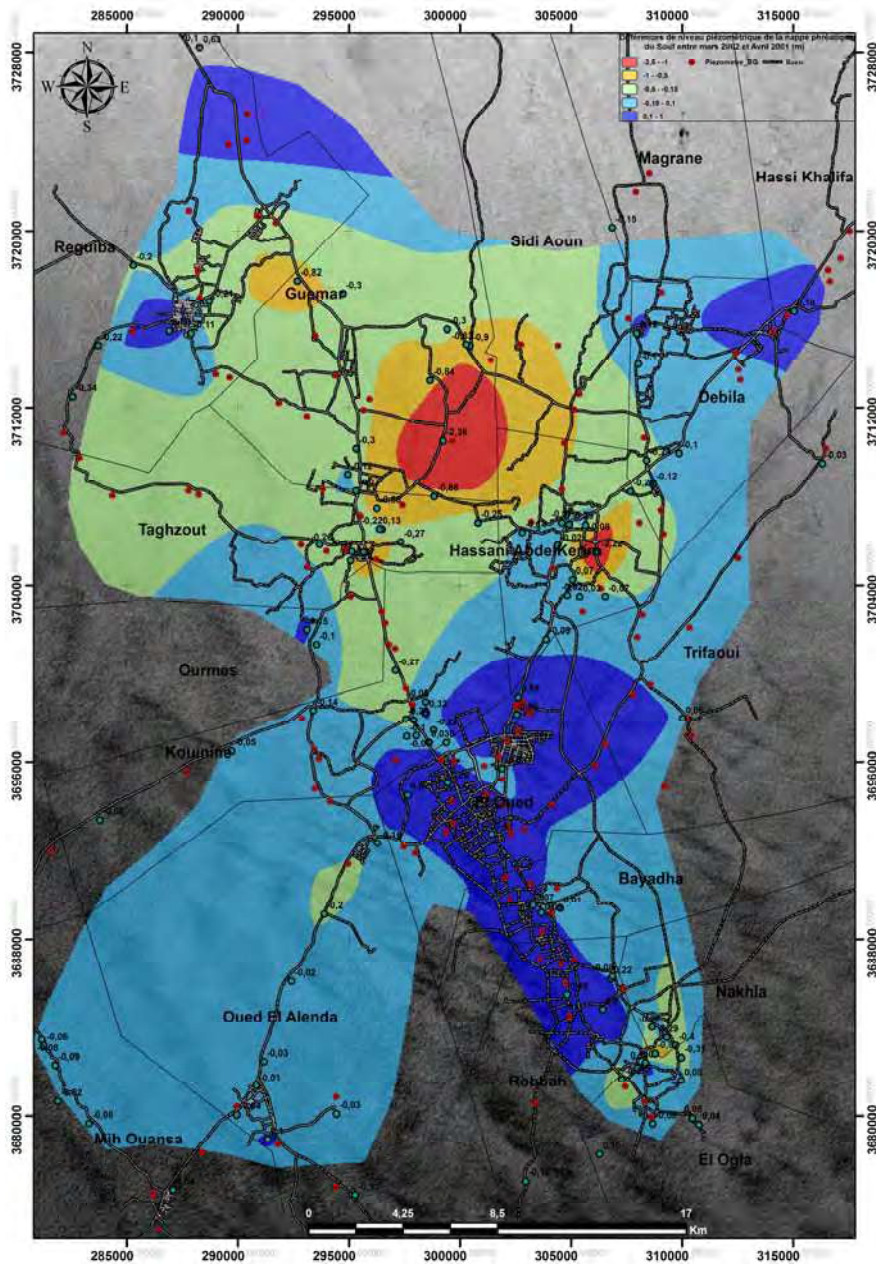


Figure 83. La carte de différence piézométrique entre 2001-2002.

- Un rabattement de la nappe phréatique a été constaté :
 - Au niveau des zones agricoles au nord d'El-Oued avec une descente de 2,4 mètres au Nord-Est de Guemmar et de 2,2 mètres à l'est de Zgoum
 - Au sud du domaine Dhaouia de 0,2 mètres et 0,16 m au Nord de celui-ci.
 - Dans la zone agricole aux alentours de Nakhla, Nakhla Gharbia, Hai Nasr et Hai Badr de 0,3 mètre.

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.

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 de façon suffisamment rapide.

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

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 ? diverses explications ont été avancées, tant par des techniciens que par les responsables locaux.

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

Conclusion :

Comme nous l'avons mentionné au début de ce chapitre que le système Ghout est un aménagement hydroagricole d'origine Soufi. C'est une technique qui s'adapte aux régions dunaires. La solution adoptée est, non de faire monter l'eau à la surface du sol et d'en irriguer les arbres, mais d'abaisser le niveau du sol, donc de creuser un trou afin que les racines du palmier qu'on plante soient au niveau de l'eau. Selon la nature du sol et l'hydrogéologie du site, trois types de Ghouts ont été inventés par les Soufis.

Le Ghout de forme d'un cratère permet au palmier de s'autoalimenter par les eaux souterraines. C'est ainsi que des milliers de palmiers dattiers se sont développées au cours des siècles.

L'exploitation des nappes profondes et le semi-profond: le Continental Intercalaire et le Complexe Terminal a provoqué vers les années quatre-vingt le remontée de la nappe dans tout la région de Souf. Un mégaprojet a été réalisé par les services publics pour

atténuer l'effet de la remontée. Il s'agit d'épurer les eaux usées pour ensuite les refouler avec celles de drainage vers la Chott Halloufa. Les premiers résultats montrent que certains Ghouts ont retrouvé leurs états initiaux. Dans d'autres endroits le niveau d'eau a beaucoup chuté. En se basant sur le dernier recensement des Ghouts effectué en 2015, une carte de l'évolution de l'état des Ghouts de la région de Souf a été établie.

Chapitre IV

*Remèdes de la
remontée des eaux et
son impact sur la
région du Souf*

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

* 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 Britanniques, et GEOSYSTEM Consulte (Alger) en 1997 ont réalisé 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 résiduaires, pluviales et d'irrigation des vallées du Souf et de Ouargla ;

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

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

Il est sûr que toute solution passe par un préalable, qui est l'assainissement des villes d'El Oued, c'est-à-dire la réalisation d'un réseau d'égouts, et l'évacuation des eaux usées de toutes les villes, vers un point bas (point de rejet ou exutoire) situé du 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.

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

IV.1- Situation de l'assainissement du Souf avant 2012 :

De très lourds travaux d'assainissement ont été engagés à El Oued depuis 1981 avec une faible efficacité (DRH. El Oued, 2016). La commune d'El Oued, la Seule à être assainie partiellement et la commune de Guemmar dispose d'un réseau non fonctionnel. Le taux de raccordement de la population au réseau d'assainissement ancien d'El Oued serait de l'ordre de 14% en 2010 d'après l'Office National d'Assainissement (ONA) d'El Oued. Les autres communes ne disposent pas de réseau d'assainissement.

IV.1.1- Assainissement collectif :

Le réseau d'assainissement se compose de collecteurs d'eaux usées et de collecteurs des eaux de drainage (Commune El Oued). Toutes les eaux sont évacuées en dehors de la ville (Figure 84), vers une cuvette où s'est formée une grande lagune. Et les ouvrages d'assainissement sont ainsi composés de :

*73 700 ml de collecteurs des eaux usées (réseau d'assainissement) (Figure 84) la grande partie non fonctionnelle, posés sans regard et sans branchement (COBA et al.1997).

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

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 longueur vers le Nord-Est de la ville, et 8 station de relevage, six en marche et deux en panne depuis les années 80 (DRH. El Oued, 2007).

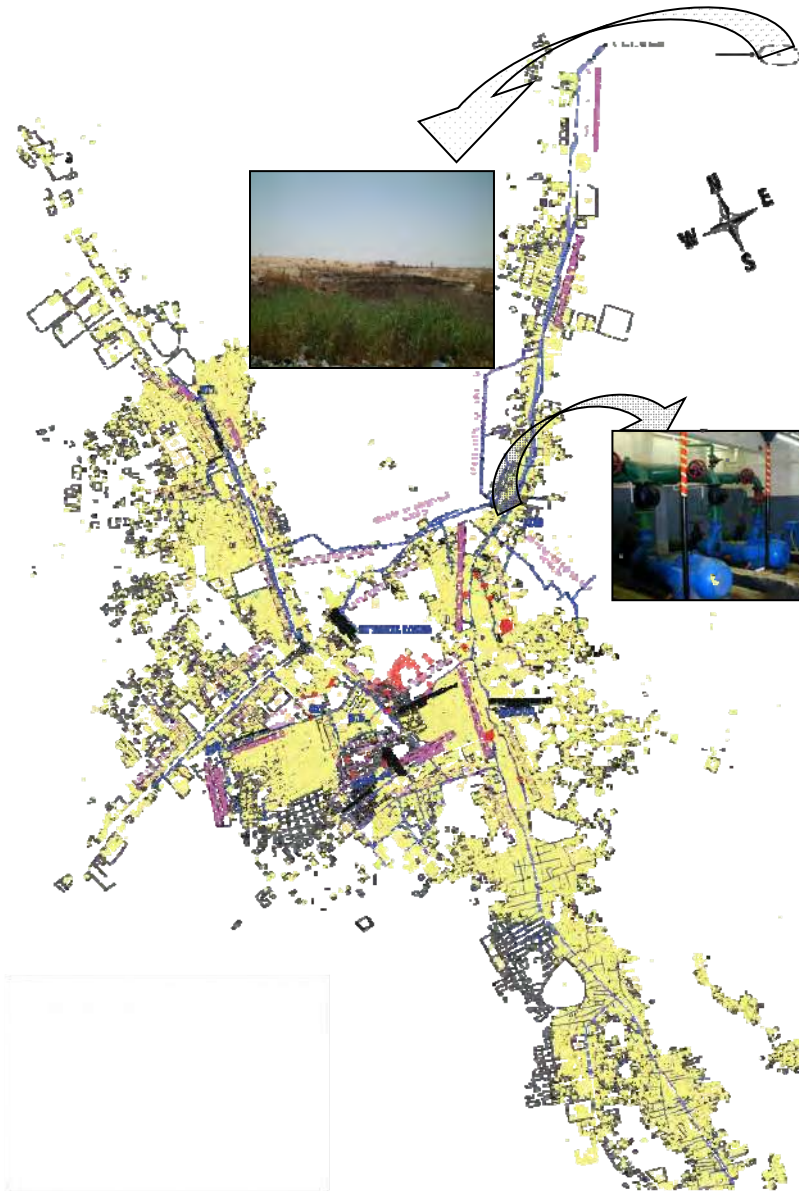


Figure 84. Le réseau d'assainissement ancien de la commune d'El Oued (Bonnard & Gardel, 2004c).

La situation générale des stations de pompage (Figure 85), est infectée et mauvaise ; que ce soit le génie civil, les équipements et surtout l'entretien des stations. Le paradoxe est que des stations avant 2010 n'ont pas été mises en service (comme la station une (ST-01). Et pour les autres stations : l'exploitant des stations a imaginé une solution transitoire consistant à fermer presque complètement la conduite d'arrivée, de telle sorte que les déchets solides de trop grande dimension se trouvent bloqués dans la conduite et n'entrent pas dans la bêche.

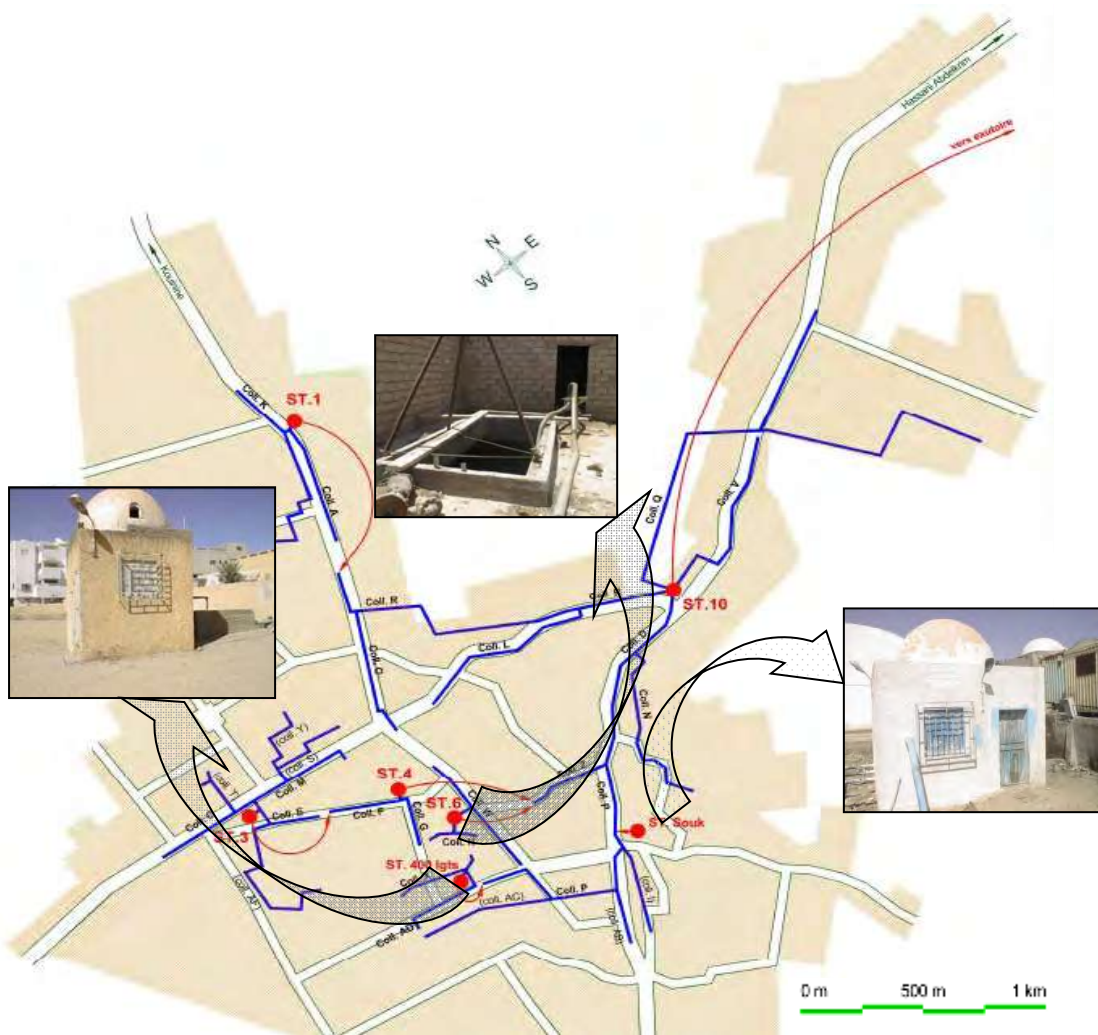


Figure 85. Localisation des stations de relèvement existantes (Bonnard & Gardel.2003b)

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

Le tableau IV-8 donne les caractéristiques de quelques stations de relevage existantes (Avant 2012) dans la région :

Tableau IV-8. *Caractéristiques de quelques pompes des stations de relevage (COBA et al.1997):*

Caractéristique Code de station	Débit de pompage Q (m ³ /h)		Hauteur manométrique (m)		Puissance (KV)	
	Station N° 1 (Tiksebt)	200	3*	30	9*	30
Station N° 3 (17 Octobre)	200	-	79	-	30	-
Station N° 4 (Nedjar)	200	3*	79	9*	30	0,45*
Station N° 6 (Cité l'emire 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).

Au cours des visites réalisées en 2010 au niveau de la station principale (ST-10), nous avons remarqué que le groupe électrogène n'aurait jamais été mis en service par son installateur (aussi pour la ST-03 et ST-04), les pompes de secours ont été relevées totalement. Le dispositif d'Anti-Bélier installé dans la station principale ST-10 seulement, était en mauvais état.

Le volume réel collecté par le réseau d'assainissement serait de 2026 m³/j (estimé après la campagne de mesures réalisée 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 (collecté par le réseau existant). Or, la dotation en eau par habitant est de 355 litres/j/hab, d'où une perte de 175 litres/jour/habitant. Ces pertes journalières représenteraient un volume total journalier de 19 753 m³ soit 721 000 m³/an.

Selon les analyses réalisées en 2002 par BG-HPO, la charge de pollution journalière exprimée en DBO₅ et générée par un habitant serait de 63,54 g ce qui équivaut à une charge totale de 7 172 kg.

IV.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 individuels et ne pas faire confiance au réseau collectif d'assainissement.

Ce système d'épuration individuel se compose généralement d'une fosse aménagée traditionnellement (Figure 86), ou d'un puits perdu aménagé au sein de l'habitation, Dans les jardins ou les cours intérieures. Nous avons dit puits parce que dans un certain nombre de cas le Soufi change le puits (qu'il a déjà utilisé pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation de son jardin) en fosse perdue pour évacuer directement les eaux

usées (domestiques) et le changement de qualité des eaux des puits (la salinité ou le rabattement de niveau des eaux) représentent les causes principales d'abandon du puits.

Le Soufi utilise dans la construction des fosses (ou puits) perdues les matières naturelles locales, essentiellement les roches de rose des sables, parce que la résistivité de ces roches à l'infiltration des eaux est très grande à cause de sa composition chimique qui est basée sur les cristaux de sable (quartz), qui ne présente aucune réaction chimique avec les eaux infiltrées, ce qui représente un bon support d'infiltration de ce dispositif d'épuration traditionnel (Figure 86).

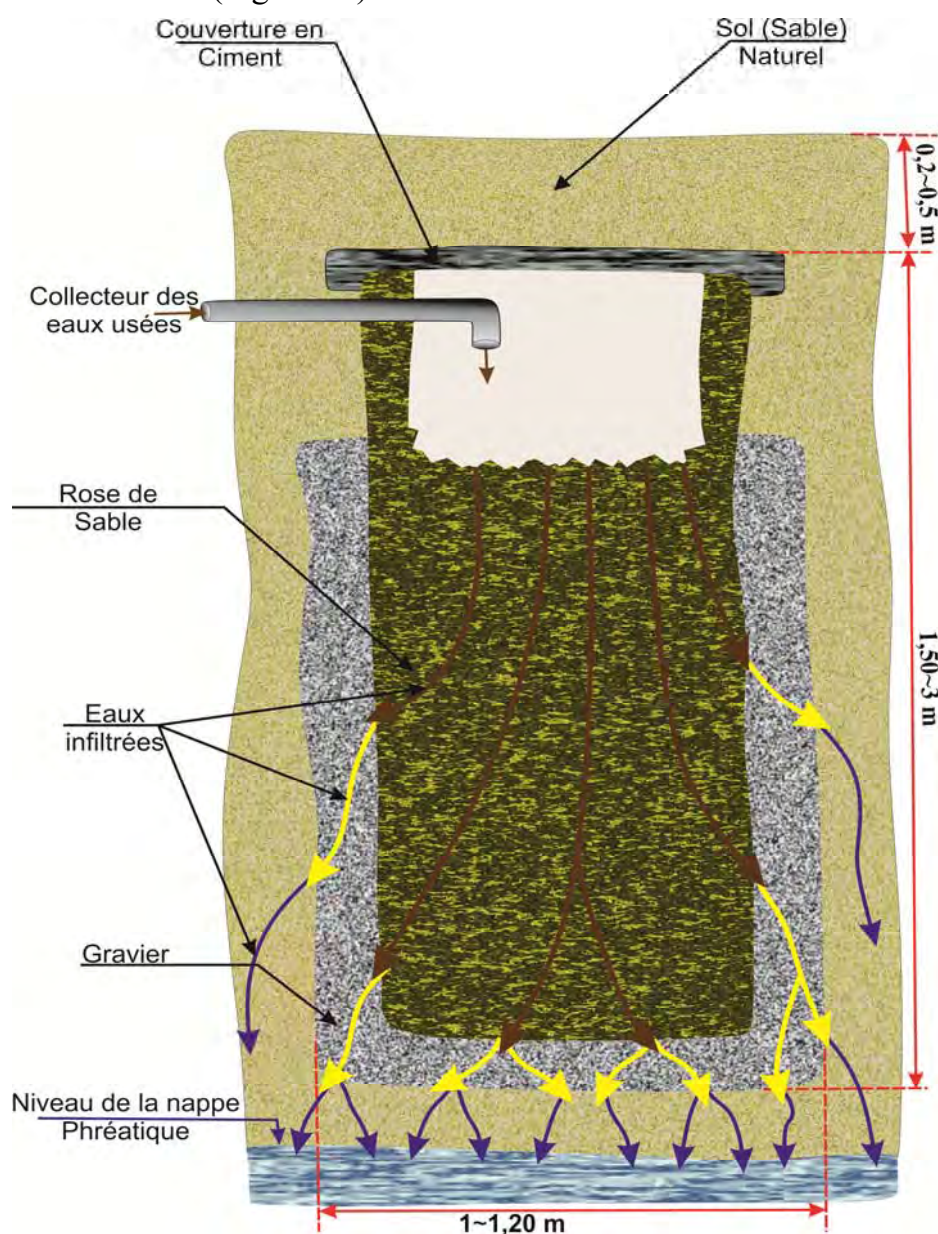


Figure 86. Le système traditionnel d'assainissement (la fosse perdue).

La pratique de la fosse perdue est privilégiée pour les 18 communes du Souf qui totalisent 36 265 fosses (Tableau IV-9).

Tableau IV-9. Répartition des fosses par commune (Bonnard & Gardel, 2002b).

Commune	Nombre de fosses
Bayadha	3051
Ogla	470
El Oued	1165
Debila	2011
Guemmar	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 souterraines après quelques années d'utilisation, où les fosses seront saturées par les matières organiques et les matières qui colmatent, et diminuent le rendement épuratoire de ce système d'épuration individuel.

IV.2- Le réseau de drainage d'El Oued avant 2012 :

Au début des années 90 les travaux de réalisation du réseau de drainage sont démarrés, et devenu opérationnel en 2001. Seule la commune d'El Oued possède particulièrement un réseau de drainage horizontal, qui dessert les zones basses de l'agglomération, c'est-à-dire essentiellement le quartier Nezla (Hai Nakhile) et une partie du quartier Chott et Sidi Mastour (les principales zones urbaines menacées 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 87B), 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 (les eaux de la nappe phréatique) présente 4050 m de longueur, les collecteurs sont des conduites d'amiante ciment de diamètres DN 200 perforées de trous de diamètre 2 cm, la distance entre deux trous d'environ 20 cm, distribuée sur un angle 120° orienté vers le haut (figure 87A), au-dessous de la conduite sont dépourvus de trous.

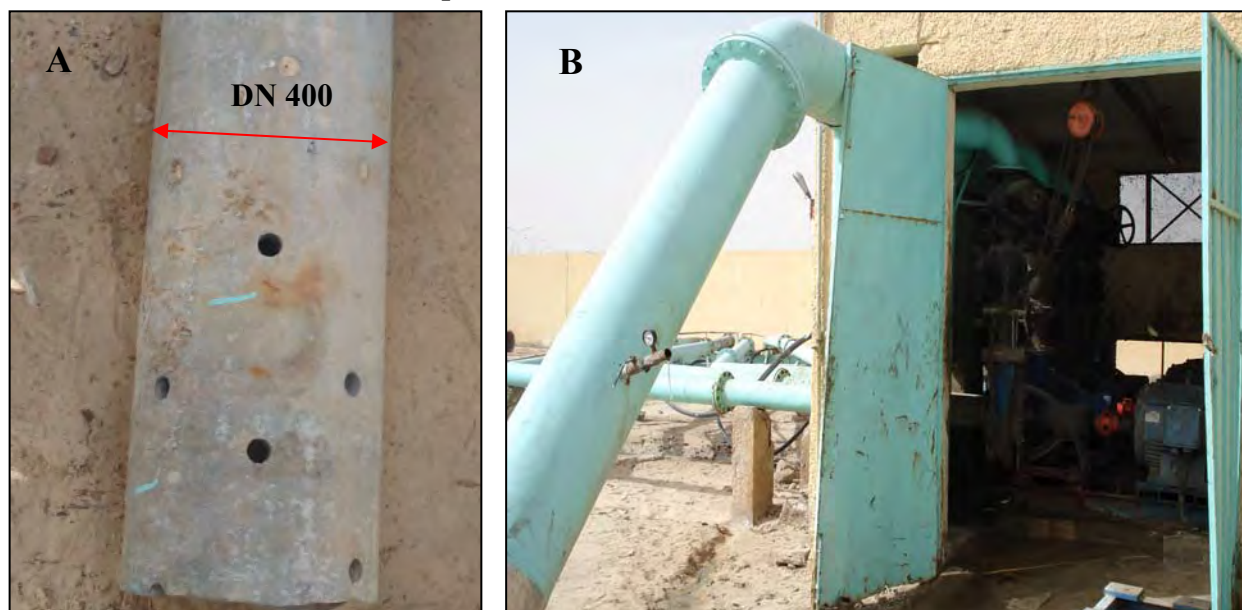


Figure 87. (A) Conduite d'amiante ciment utilisée dans le réseau drainage horizontal. (B) la station de pompage des eaux de drainage avant 2012.

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 ST-10.

IV.3- La zone de rejet d'El Oued avant 2012 :

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

Ces eaux sont acheminées au Nord-Est de la ville d'El Oued, évacuées et déversées sans traitement dans des dépressions que nous appellerons zones de rejet, formant une lagune. Cette lagune constitue avec la décharge un point noir (chaud) de pollution (Figure 88).

Cette zone qui couvre une superficie de 3,7 ha en 2001 (Bonnard & Gardel, 2001b) et qui s'étend progressivement, où en 2012 la surface des lacs pollue étalée jusqu'au d'environ 50 ha dans les dépressions. Le point de rejet est constitué d'une série de "mares" colonisée d'environ 85% par des roseaux (Figure 88).

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.

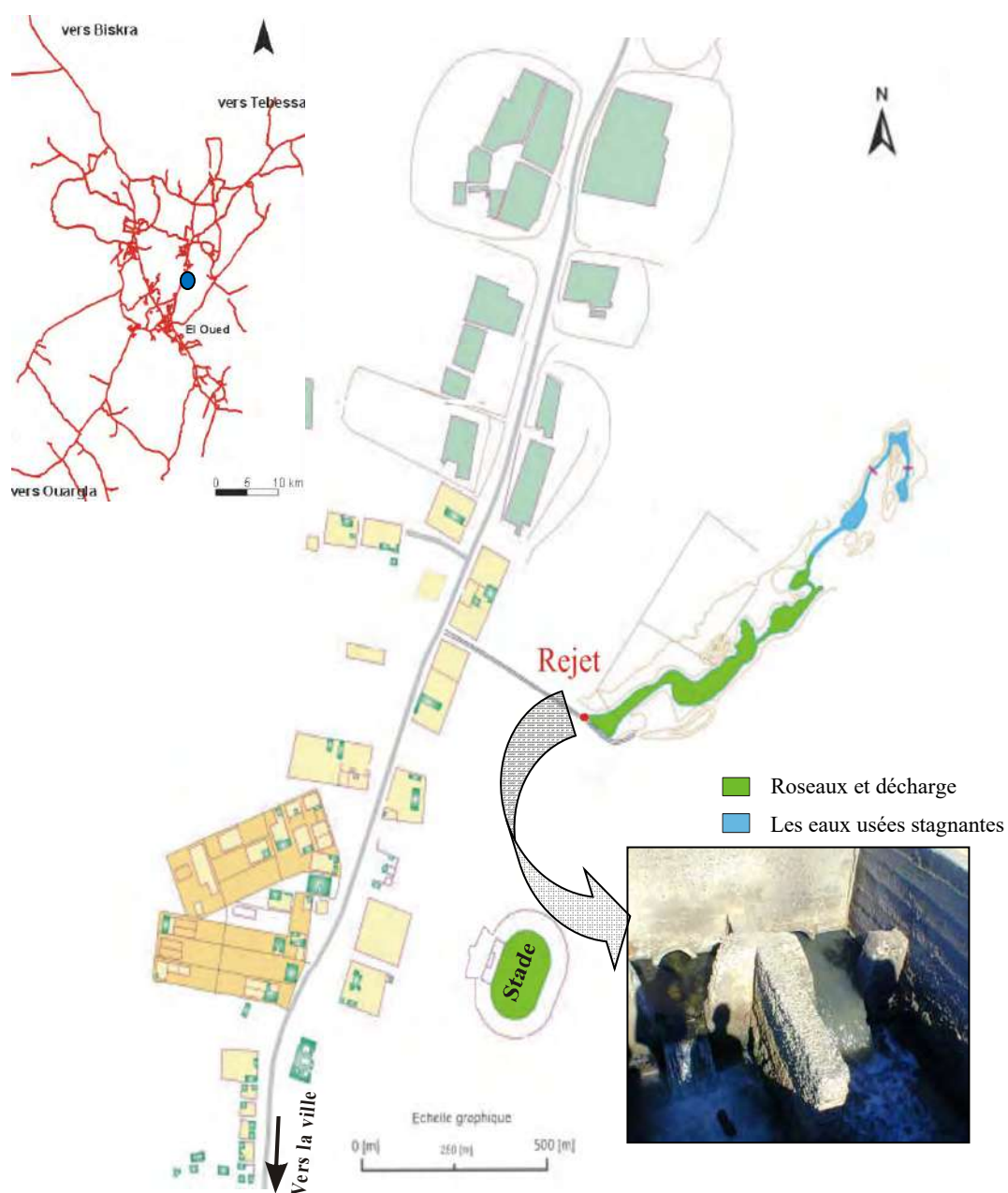


Figure 88. La zone de rejet ancienne d'El Oued (Bonnard & Gardel, 2001b) -Modifier-

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

IV.4- Les remèdes pour le phénomène de la remontée de la nappe phréatique :

Dans cette partie, nous essayons de résumer les solutions proposées ou déjà réalisées et leur impact sur la région du Souf, avec le rendement des ouvrages installés pendant la période de fonctionnement :

IV.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'évapo-transpirer de grandes quantités d'eau) est une méthode moins onéreuse, et qui peut être efficace quant à l'abaissement local du niveau piézométrique de la nappe phréatique.

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

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

Il s'agit de la gamme des plants présentée dans le tableau IV-10.

Tableau IV-10. *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	Observations
Arbres et arbustes cultivés - <i>phoenix dactylifera</i> - <i>phoenix canariensis</i>	Rejets - semis	Printemps	-Se développent bien même en zones très salées
- <i>Tamarix articulata</i>	boutures	Hiver	-S'accoutument à tous les sols, mêmes salés, racines profondes
- <i>Casuarina épuisetifolia</i> - <i>Parkinsonia</i>	Semis plants	Hiver	-S'adaptent bien aux conditions du milieu, poussent bien 2 m / 2 ans. -pour sols salés, et aux eaux salées pousse bien.
- <i>Peuplier de l'Euphrate</i>	Drageons boutures	Hiver	-S'adaptent 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 elianther</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. À El Oued, les arbres témoins de sa réussite, prospèrent à l'entrée de la ville de Guemmar jusqu'à 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 climatologique 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 celles qui sont 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 IV-11. *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 essentielles
**	*	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 l'on ne peut dire que 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 litres par jour soit 50 m³/jour. Connaissant le volume excédentaire, l'on procède à la multiplication de cette ceinture pour abaisser le niveau de la nappe. Donc, on peut dire que l'eucalyptus est une pompe magistrale, et réussit bien dans les routes d'El Oued (Figure 90B) ; le tamaris absorbe moins, mais résiste bien au sel ; l'acacia cyanophyla, le laurier-rose, saurait être associés.

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

Donc, on peut dire que la Solution de la ceinture verte est plus simple et la 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 sur une longueur de 150 km, une surface qui atteint 350 ha (Figure 89), de Reguiba passant par Guemmar, Taghzout, Kouinine et diverge a L'Est et au Sud-Est d'El Oued vers les communes des Hassani AbdelKarime, Debila, Hassi Khalifa, Trifaoui, Bayada et Robbah, et pour l'Ouest vers Oued Alenda, avec 21 espaces ou surfaces vertes soit une surface de 630 ha (DCF. El Oued, 2016).

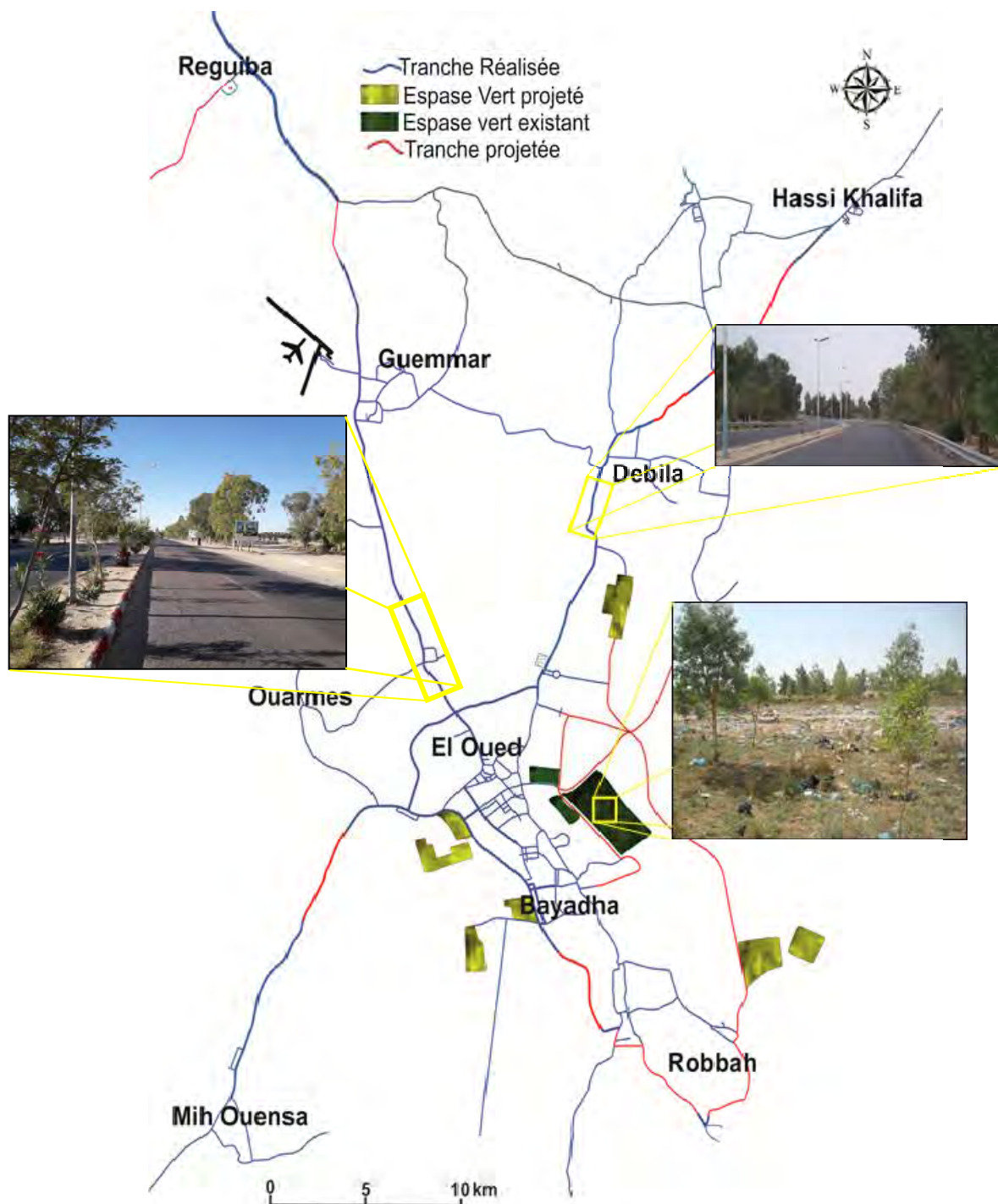


Figure 89. La ceinture verte de la région du Souf (DCF., El oued 2016) -Modifier-

Le projet a démarré en Novembre 2001, le volume programmé comme nous avons déjà dit est 150 km (350 ha), la partie réalisée jusqu'à 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** a programmé 250 forages, (88 forages ont été vraiment réalisés) qui alimentent 80 km de réseau d'irrigation. Pour protéger la ceinture verte de désertification, la **Direction de Conservation des Forêts** a réalisé 135 km parmi 300 km programmés de palissades à l'aide de feuilles de palmier (Figure 90A).



Figure 90. (A) La ceinture verte du côté des routes (B) Les espaces verts dans les zones inondées (Sidi Mestour).

Nous avons parlé beaucoup du côté technique sur la ceinture verte, mais malheureusement la solution biologique (ceinture verte) dans la région du Souf ne se base sur aucune étude. Malgré cela, on peut remarquer qu'elle est efficace pour rabattre le niveau de la nappe phréatique surtout dans les endroits menacés par la remontée de la nappe comme le quartier le plus menacé par ce phénomène (Sidi Mastour) à l'Est de la ville d'El Oued (Figure 90B).

Si l'on cherche l'efficacité et l'impact de cet ouvrage biologique sur l'environnement (Niveau statique de la nappe phréatique) de la région du Souf, on peut dire qu'il y a un rabattement remarquable dans le niveau de la nappe phréatique. Par l'utilisation des bases de données d'ANRH et BG-ENAHPO (Concernant les niveaux statiques des eaux -Profondeur des eaux- de la nappe phréatique en Mars 1993 et Mars 2002), nous avons extrait la carte de niveaux statiques des eaux de la nappe phréatique de la région du Souf ; pour connaître la situation générale de niveau d'eau de la nappe traditionnelle avant et au début de la réalisation du projet.

Où, nous avons utilisé des cartes dont les légendes les mêmes couleurs pour les classifications des profondeurs, et pour connaître aussi la variation du niveau des eaux de la nappe.

Lors de l'analyse de la carte de profondeur des eaux de la nappe traditionnelle du Souf en Mars 1993 (Figure 91A), nous avons trouvé que le niveau de la nappe libre est proche de la surface en deux zones; représente les périmètres agricoles d'Akfadou (Commune Debila) au Nord-Est du Souf, et celui des périmètres de Hobba au commune de Reguiba (Nord-Ouest du Souf), cette situation est le résultat de l'utilisation agressive des eaux de la nappe semi profonde (Complexe Terminal) pour l'irrigation, nous avons dit agressive parce que la méthode d'irrigation est basée sur l'irrigation par planches ; c'est-à-dire grande volume d'eau avec grand perméabilité donc alimentation de nappe libre.

A cause d'insuffisance des piézomètres au niveau des zones urbaines et les zones Sud du Souf (Ogla, Robbah, Oued Alenda, Mih Ouensa), l'interpolation dans la carte de niveau statique en Mars 1993 manque de précision, c'est-à-dire ne donne pas la situation réelle de niveau de la nappe.

Mais l'analyse de la carte de profondeur des eaux de nappe traditionnelle en Mars 2002 (Figure 91), donne un sentiment de confiance à cette carte, tout simplement parce que plus proche de la réalité. Où, les zones agricoles (d'Akfadou à Debila et Hobba à Reguiba) qu'utilisent les eaux du CT ont changé les méthodes d'irrigation par des moyens d'irrigation plus économiques et rentables (goutte à goutte, asperseur...etc.). Pour cela le niveau statique de la nappe traditionnelle est équilibré. On remarque ici qu'il y a des zones urbaines qui souffrent du phénomène de remontée des eaux de la nappe traditionnelle, comme la partie Nord de la Commune El Oued.

Et pour les zones Sud du Souf, généralement le système traditionnel du Souf (**ghout**) est conservé, sauf des dizaines d'hectares (mini-pivot de pomme de terre) présenté dans la carte par la couleur jaune.

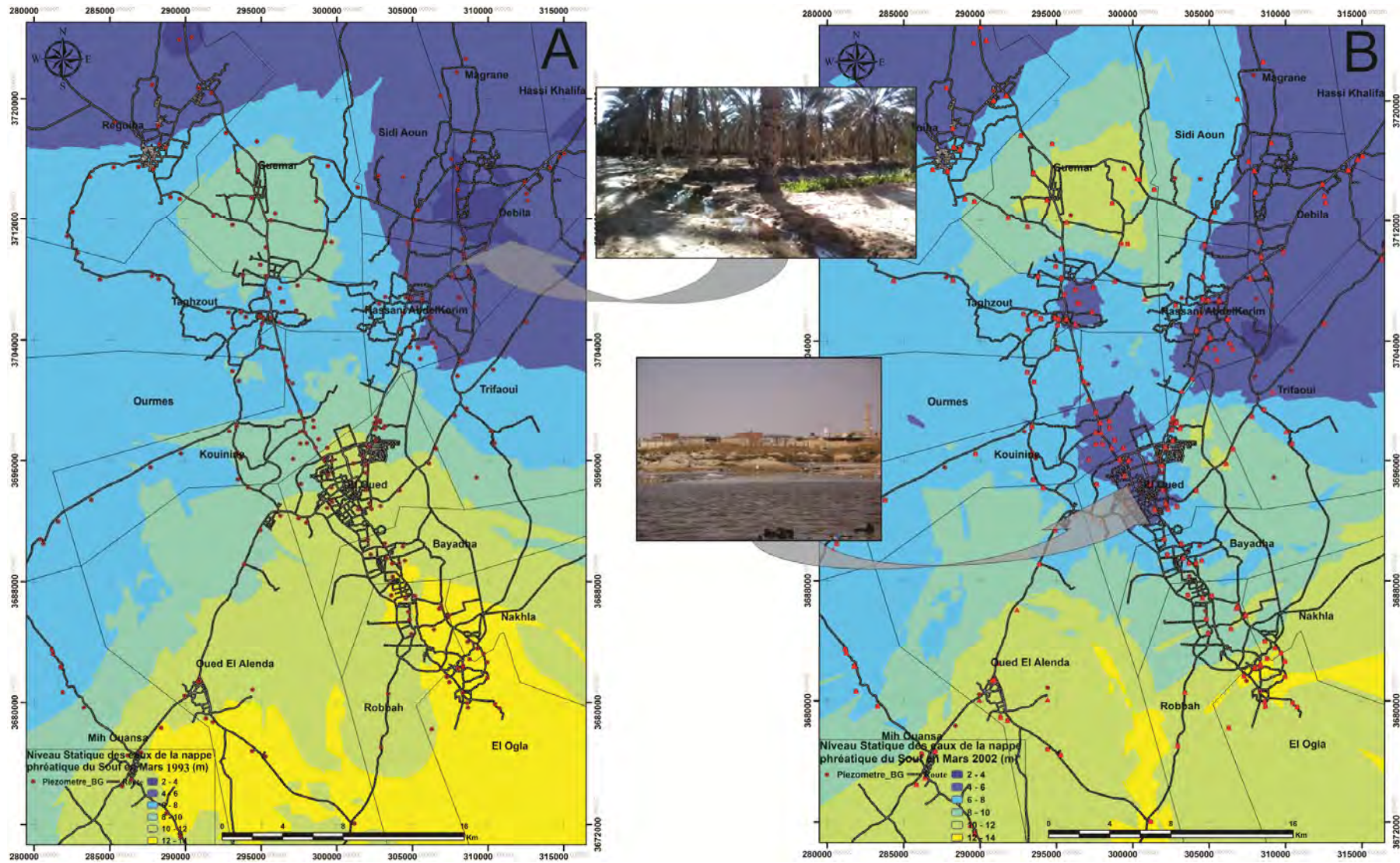


Figure 91. Profondeur des eaux (Niveau Statique) de la nappe phréatique du Souf en Mars 1993(A) et Mars 2002(B).

13 ans Après le démarrage du projet de la ceinture verte, nous avons fait une campagne de mesure de niveau piézométrique de la nappe phréatique avec le groupe d'ANRH Touggourt (Mars 2014) (Figure 92). Où, nous avons pris les mesures de tous les points disponibles (piézomètre, puits, ghout inondée...etc.) dans la région du Souf ; pour créer un nuage de points présentatifs.

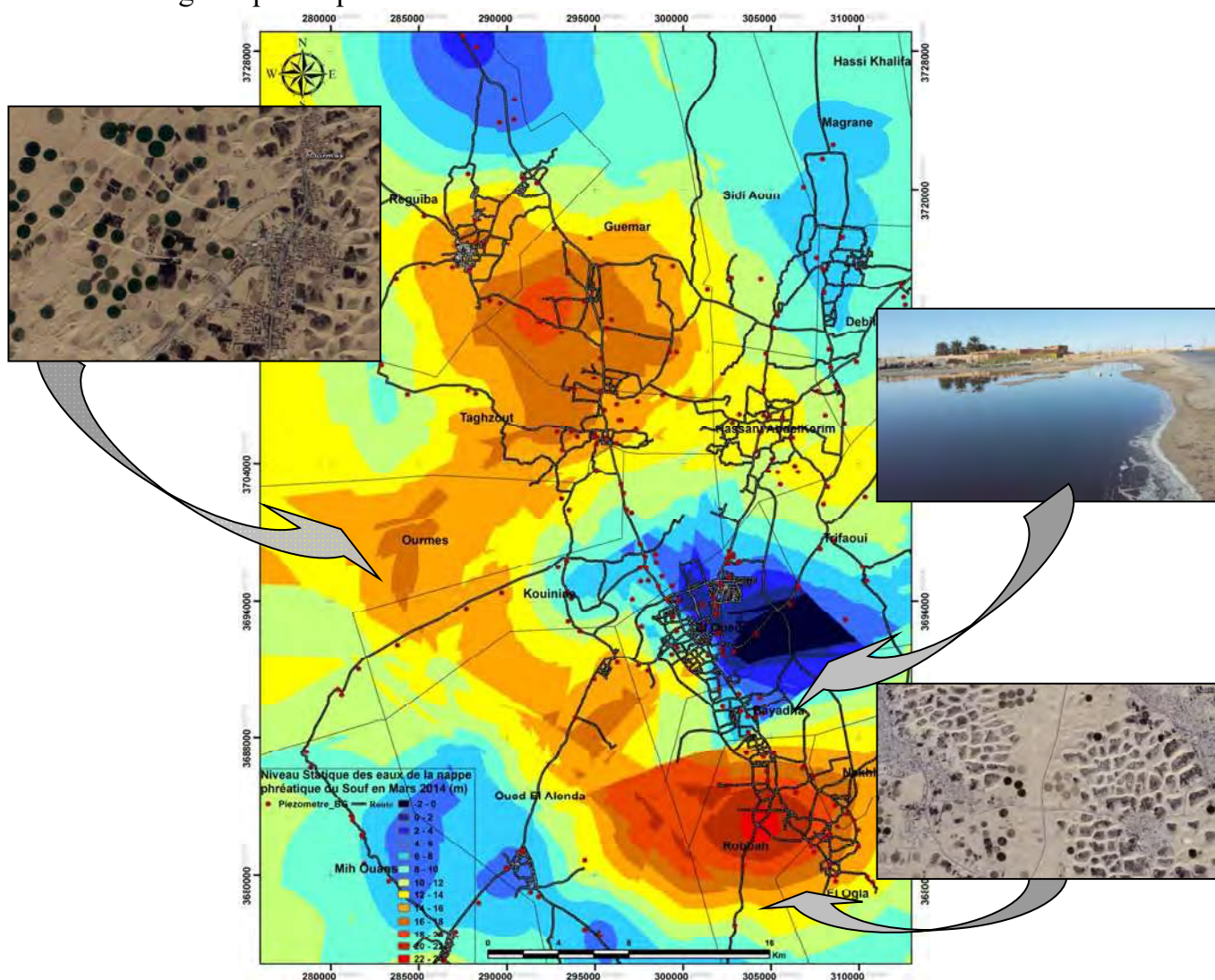


Figure 92. Profondeur des eaux (Niveau Statique) de la nappe phréatique du Souf en Mars 2014.

Cette carte est très précise par rapport aux précédentes cartes, car notre campagne de mesures en Mars 2014 couvre presque la totalité de la région. À première vue de la carte vous met en contradiction ; cela est dû à l'existence de zones qui souffrent de rabattement et d'autres zones qui souffrent de remontée. On peut expliquer ce paradoxe comme suit ; les communes agricoles (Guemmar, Taghzout, Ourmes, Oued Alenda, Robbah, Oglia) caractérisées de production considérable de tous les types de légumes (pommes de terre, carottes, oignons...etc.), c'est-à-dire l'irrigation des périmètres

presque tous les jours de l'année par environ 32 100 puits. Cela résulte de la descente des pompes d'environ 2 m (Niveau dynamique) chaque année par l'agriculteur. Et pour les zones inondées (couleur bleu foncé) (Figure 92) sont les zones urbaines dont la commune El Oued (Cité Chott et Sidi Mestour...etc).

Les zones totalement inondées par les eaux naturelles de la nappe, se situent entre le chott d'El Oued et le quartier de Sidi Mestour à l'Est de la ville d'El Oued, où avant la réalisation de cet ouvrage la hauteur des eaux atteint environ 40 cm au-dessus de la surface du sol, mais après l'installation des pompes biologiques (Ceinture verte) le niveau des eaux diminue, et la figure 93 (A et B) montre la différence entre les deux périodes (Avant et après la réalisation de la ceinture verte).



(A) Avant la réalisation de ceinture verte. (B) Après la réalisation de ceinture verte.

Figure 93. Présente la différence entre deux périodes.

Pour être réaliste, le pouvoir public ne prend pas en considération l'ouvrage de pompe biologique, qui est très important dans notre vie. Et n'oublions pas le rôle négatif du citoyen dans le sabordement de la ceinture verte pour transformer les zones vertes en zones de décharge publique (Figure 93).

IV.4.2- Plantation d'un réseau d'assainissement :

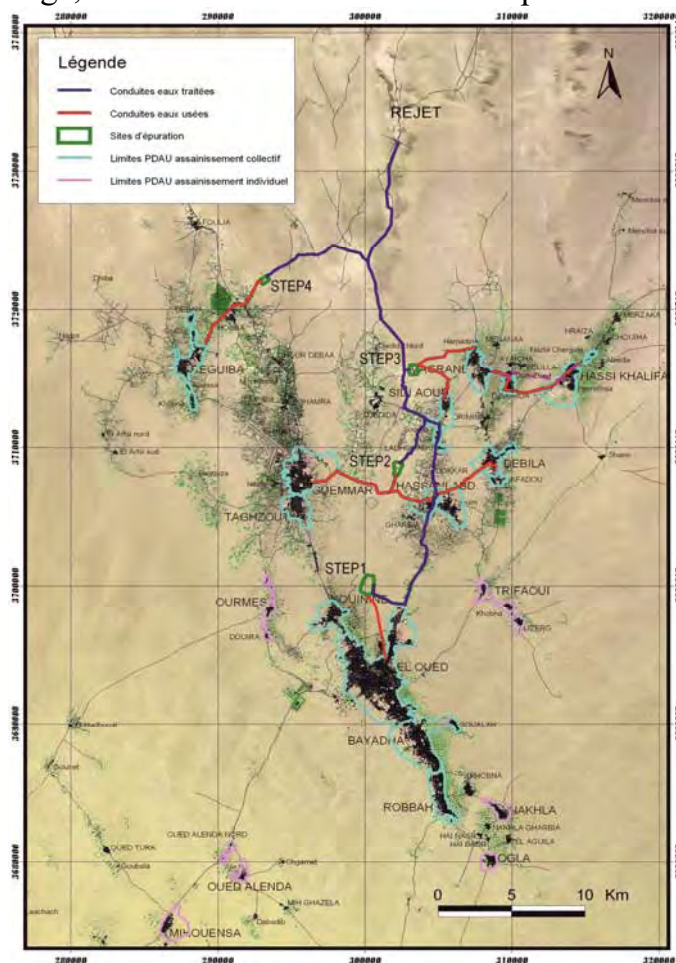
Un mégaprojet est lancé en 2004 par les pouvoirs publics, pour endiguer ce phénomène, après l'étude réalisée par l'Entreprise Nationale des Projets Hydrauliques de l'Ouest (E.N.H.P.O) et par la convention avec le bureau d'études Suisse du Bonnard & Gardel en 2000, pour assainir les eaux usées (domestiques et industrielles) et drainer les eaux excédentaires, en évacuant vers le chott au Nord du Souf (Figure 94). 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 du 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 existants,
- 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 (Et les eaux de drainage) 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,

La figure 94 synthétise ces éléments. Elle comporte les limites PDAU (Plan Directeur d'Aménagement Urbain) des assainissements collectifs en bleu clair, celles de l'assainissement autonome en gris, les sites de stations d'épuration (STEP 1 à 4) délimités en vert, les tracés de canalisations de transfert des eaux brutes jusqu'aux stations indiquées en rouge, et ceux des collecteurs de transport des eaux traitées en bleu.



IV.4.2.1- Assainissement collectif :

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

Concevoir et réaliser un réseau de collecte des eaux usées de la grande partie des localités importantes du Souf et un collecteur principal longeant le Souf du Sud au Nord pour recevoir toutes les eaux des localités et les évacuer hors du Souf (au Nord) vers le chott (Figure 94).

Le 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 d'environ 480 000 habitants en 2010 et d'environ les 670 000 habitants, en 2030. Parmi ces agglomérations, la ville d'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 d'environ 820 km avec 62 stations de pompage (55 nouvelles stations), 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 aux standards habituels, à cause du gaspillage dû d'une part aux fuites dans le réseau interne des abonnés, d'autre part à un usage sans retenue du fait que l'eau est facturée au forfait pour une large partie des abonnés, et non au mètre cube consommé. Aussi ils n'ont pas augmenté cette consommation jusqu'en 2030, en présumant que suite à une politique

fortement incitative, la diminution du gaspillage compensera l'augmentation des besoins réels.

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.

a) Les problématiques générales avant la réalisation du réseau :

Les caractéristiques topographiques et pédologiques de la vallée du Souf, celles des eaux consommées et rejetées conditionnent la conception des réseaux de collecte ou de transfert comme indiqué ci-dessous.

➤ La pente très faible (au mieux de l'ordre de 0,001 m/m à 0,003 m/m) du terrain oblige à implanter 62 stations de pompage, dont le fonctionnement est garanti par : pompes de secours, système de protection contre les coupures de courant constitué généralement d'un groupe électrogène, rejet dans le milieu naturel, 45 km au Nord du Souf.

➤ Pour éviter la formation de H₂S, mais aussi la formation d'acide sulfurique en présence d'oxygène, le réseau est aéré au niveau de chaque regard ; et les temps de séjour dans les canalisations en charge sont réduits en 1h à 2 heures, par rapport au temps de séjour du réseau ancien qui dépasse plusieurs jours.

➤ L'introduction de sable dans les réseaux conduit à l'obturation des regards, et s'il est chassé jusqu'aux stations de pompage, à l'abrasion des organes électromécaniques. Dans ces conditions, les réseaux sont conçus avec des ouvrages de fermeture aussi hermétiques que possible (capots de regard, fermetures de station de pompage, etc...) et avec une aération assurée par des événements à embout recourbé, fixé sur les façades au niveau des toitures.

➤ Les canalisations seront réalisées en matériaux insensibles à la corrosion : PVC pour les diamètres inférieurs à 600 mm, voire 700 mm en gravitaire, et matériaux adaptés pour les grands diamètres qui correspondent au réseau de transfert (matériaux inertes ou protégés à justifier et garantir par l'Entreprise, par exemple Polyester Renforcé de fibres de Verre « PRV », avec revêtement interne en résine).

➤ Les ouvrages réalisés sont construits avec du béton CRS (Ciment Portland pour milieux agressifs), et les parties en contact avec les effluents ou leurs émanations gazeuses recouvertes d'un enduit adapté.

b) Les contraintes pendant la réalisation du réseau :

Les obstacles qui paraîtraient, en cours de réalisation du réseau d'assainissement, surtout dans les zones menacées par la remontée des eaux de la nappe phréatique sont très différés et compliqués. Les plus graves qui influencent sur les travaux, sont les poses des conduites et les regards de réseau d'assainissement, où le niveau statique des eaux de la nappe libre est très proche de la surface du sol (Figure 95).



Figure 95. *Les travaux des poses des conduites d'assainissement au niveau des zones menacées par le phénomène de remontée en 2008. (Photo Miloudi A.M, 2008)*

Le problème du niveau d'eau de la nappe, influence sur la qualité d'exécution des travaux aux chantiers de zone menacée par la remontée (pose des conduites dans le sable humide), il en résulte aujourd'hui des conséquences, négatives. Surtout au niveau du collecteur principal de Φ 700 mm à la commune d'El Oued qui collecte le débit d'assainissement de trois communes (Robbah, Bayadha, El Oued), où les contraintes topographiques obligent de passer la conduite principale dans les zones inondées, comme Sidi Mestour, Nezla...etc. Ces conséquences présentes dans plusieurs phénomènes comme le débordement, les odeurs et le plus grave sont les tassements, près des regards

du collecteur principal ; c'est-à-dire il y a des fuites au niveau des regards. En effet d'après notre enquête sur terrain, on a confirmé qu'il y a des fuites ou plutôt infiltrations des eaux de la nappe phréatique arrivée de scellement de regards (Figure 96).

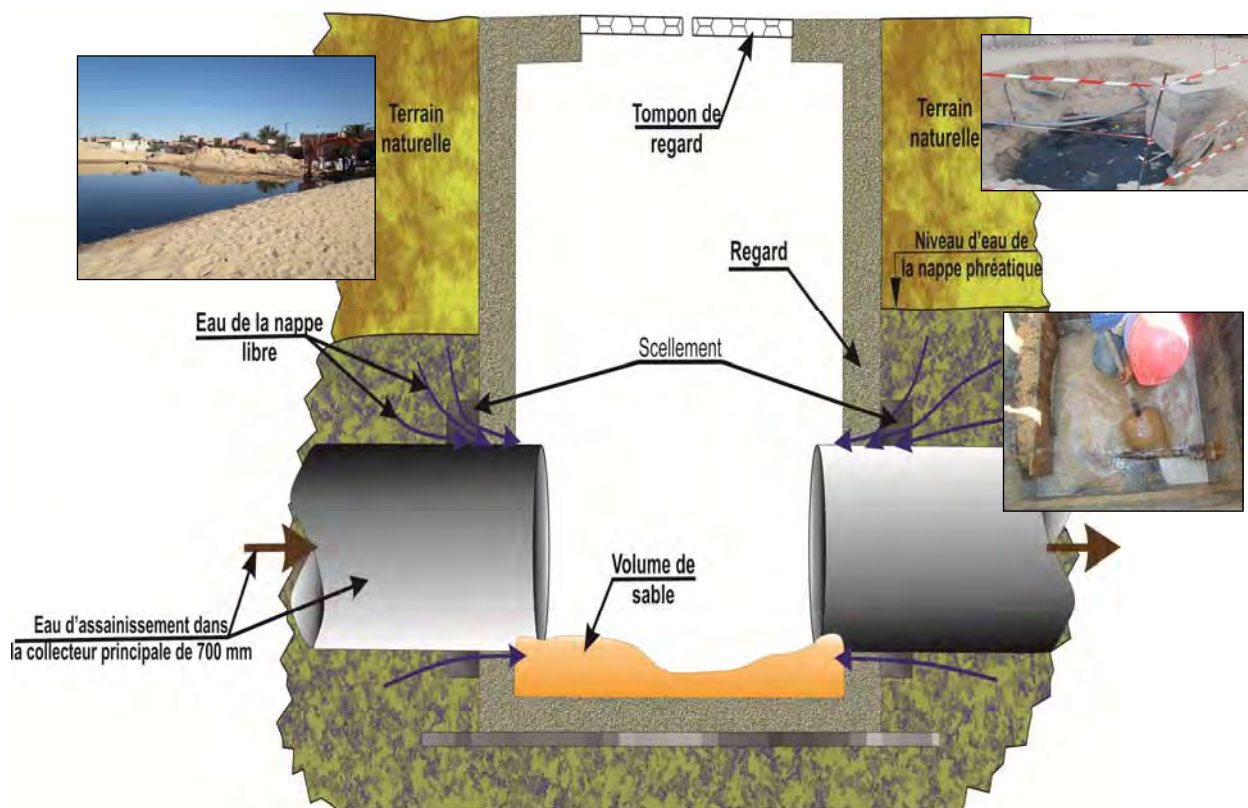


Figure 96. L'état Actuel du collecteur principal (Φ 700) de la commune d'El Oued.

Lorsqu'on on compare le débit estimé avec le débit réel, surtout les trois communes d'El Oued, Bayadha et Robbah (assainir les eaux usées dans le même collecteur vers le SPEU10), on trouve d'après ONA, le débit entré aujourd'hui (en 2017) est d'environ 24187,23 m³/j (Débit d'estimation en 2016 est 33 500 m³/j), dû au taux de raccordement.

IV.4.2.2- Epuration des eaux usées dans l'assainissement collectif :

Les ouvrages d'épuration des eaux usées répondent à deux préoccupations :

➤ S'affranchir des contraintes liées à l'absence d'exutoire et à une dépendance trop importante vis-à-vis de la réutilisation agricole directe notamment pour El oued où les conditions d'une infiltration dans la nappe ne sont pas réunies vu les débits en jeu.

➤ Permettre une gestion à long terme de la nappe phréatique en ayant la possibilité d'évacuer si nécessaire les excédents. Ce schéma consiste globalement à:

- Regrouper les principaux centres de production d'eaux usées en 4 ensembles et traiter les effluents sur 4 stations d'épuration.
- 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.
- Permettre théoriquement, 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 4500 km². Les communes restent assez dispersées sur le territoire du Souf. Cependant certaines communes proches entre elles, offrent des possibilités de regroupement pour un traitement commun.

Tableau IV-12. *Les débits estimés d'eaux usées collectées 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 ALENDIA	8 133	4 461	803	12 085	6 628	1 193
OURMES	6 646	4 221	760	9 129	5 798	1 044
REGUIBA	39 927	20 713	3 729	54 845	28 451	5 121
ROBBAH	22 653	17 790	3 202	31 117	24 438	4 399
SIDI AOUN	13 161	7 261	1 307	18 079	9 974	1 796
TAGHZOUT	15 527	11 356	2 044	23 072	16 874	3 037
TRIFAQUI	8 860	6 638	1 194	13 165	9 862	1 775

La taille des communes (la surface et le nombre d'habitants, ce qui se traduit par le volume des eaux usées générées, influe sur les modes de traitement.

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

-Le système d'assainissement individuel (fosse septique, puits d'infiltration) ;

-Le lagunage aéré : Combinaison de la technique rustique du lagunage naturel optimisée par une aération artificielle sur les premières lagunes qui permet de réduire les contraintes de surface d'emprise et les risques de nuisance.

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

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

Le regroupement des communs conduits à des capacités de traitement importantes. Les ensembles (Stations) raccordés par un réseau de quatre (4) stations d'épuration (STEP) est prévu :

- STEP 1: El Oued, Bayada, Kounine, Robbah; (Figure 97)
- 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 (Figure 97) 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 97). 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.



Figure 97. Schéma de principe (plan d'implantation) la station d'épuration (Bonnard & Gardel, 2004e).

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 naturel), qui est une zone humide classée. Et le tableau 13 donne les caractéristiques techniques pour les quatre stations de lagunage.

Tableau IV-13. *Les caractéristiques des stations d'épuration (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 m³/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 géo-membrane,
- Alimentation électrique pour les aérateurs (très coûteux).

La station de lagunage aéré, constituée des éléments suivants :

a) - Relevage et prétraitement des effluents bruts :

Première étape est le près traitement Poste de relevage, dégrillage et dessablage (dimensionné sur le débit de pointe) (Figure 98)



Figure 98. Ouvrage de prétraitement de STEP 1.

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 DBO_5 en kg/j par m^3 de bassin et du temps de séjour.

Généralement, la charge volumique est inférieure ou égale à $25 g DBO_5, m^3/j$ 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 $25 g DBO_5 m^3/j$ du fait des conditions favorables (Température) à l'élimination de la matière organique.

D'après l'ONA d'El Oued, la hauteur d'eau dans ces lagunes est généralement fixée à 3 à 4 m. Le dispositif d'aération est dimensionné pour satisfaire les besoins en oxygène des micro-organismes. L'apport spécifique brut en oxygène pour dégrader les substances polluantes est fixé à $1,5 kg O_2 / kg DBO_5$. Les aérateurs généralement utilisés pour les bassins de lagunage fournissent $1 kg O_2 / KWh$. Les dispositifs d'aération mis en place devront également assurer une puissance volumique de 1 à $3 W/m^3$ de bassin afin d'assurer une homogénéisation et une circulation des effluents.

c) - Etage de finition :

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

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

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

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

d) - Traitement des boues par lits de séchage :

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

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

Les paramètres de dimensionnement de ces lits sont nombreux :

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

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

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

Une production de boues de 120 l/Eh/an. Ces boues se déposent et se minéralisent grâce à l'activité de micro-organismes. Elles atteignent en fond de bassin une siccité de 10% ramenée 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 (Figure 99A). 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.

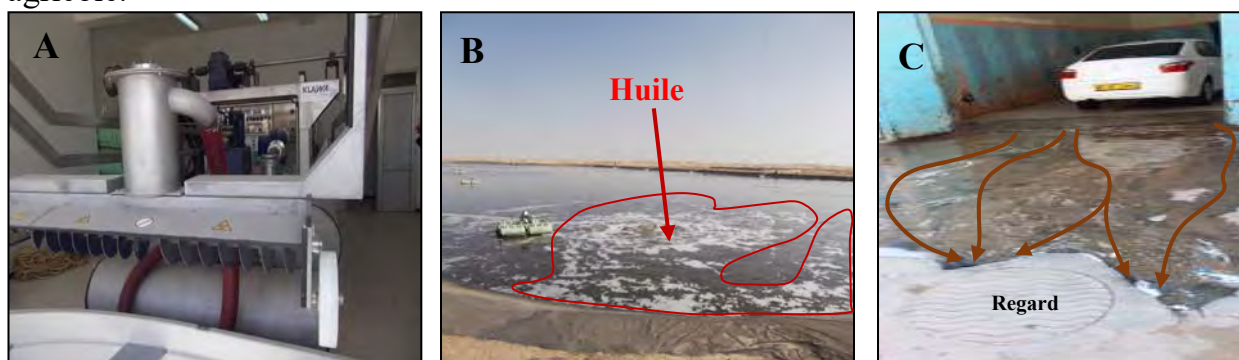


Figure 99. (A) barge flottante (B) Couche des Huiles dans les bassins de lagune (C) Rejet de lavage vers le réseau d'assainissement.

De 2013, les STEP souffrent de rejet des lavages auto, où chaque jour les bassins des lagunes recevaient un débit important des graisses, qui forment des couches flottantes, ayant une influence sur les mécanismes d'épuration des eaux usées. Où d'avant l'apparition des couches des graisses le rendement épuratoire des STEP atteignait

les 95 % (Pour DBO₅, DCO et MES), et après l'apparition des couches, le rendement diminue jusqu'à 65 % !

En fin des procédures d'épuration, les eaux traitées dirigées vers les points de refoulement (SPET : Station de **P**ompagement des **E**aux **T**raitées) de chaque STEP, pour la refouler vers le collecteur de transfert, qui collecte les eaux traitées et les eaux de drainage vers le Nord du Souf, au chott Halloufa (45 km Nord d'El Oued), qui forme aujourd'hui un lac de 10,67 km² (Environ 11 ha), est considéré milieu de biodiversité de plusieurs oiseaux et d'autres êtres vivants (Figure 100).

Pour l'ancienne point de rejet est disparu totalement, où la **D**irection de l'**I**ndustrie et des **M**ines d'El Oued changée la localisation de point de rejet ancienne après la remblayée au Centre de récupération technique.

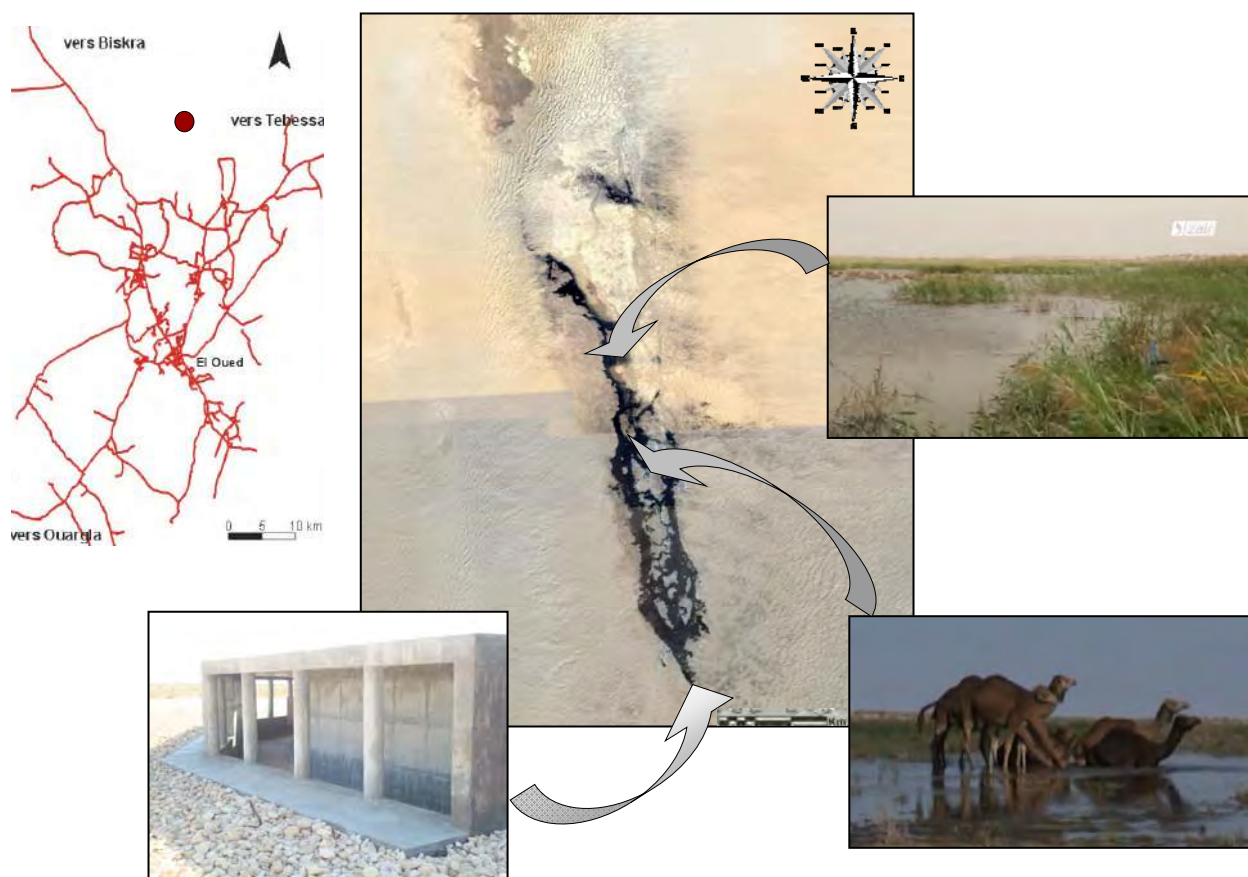


Figure 100. *Nouveau point de rejet des eaux usées traitées et les eaux de drainage.*

Il faut signaler, qu'il y a plusieurs points d'interrogation sur le nouveau point de rejet, on peut émettre les suivants:

- D'après les cartes géographiques anciennes et les indigènes du Souf ; La position géographique du point de rejet s'appelle localement **Bir Idrisse**, et le point

exact de rejet s'appelle *Ain Mayassa*. Et pour le Chott Halouffa localisé au Nord à environ 70 km de chef-lieu de Wilaya d'El Oued ; c'est-à-dire plus 30 km au Nord du point de rejet actuel.

➤ La localisation actuelle du point de rejet est un ancien pâturage (avant 2012) des chameaux. Où d'après d'anciens grands éleveurs de cette région ont réclamé devant les responsables de DSA d'El Oued et la Wilaya ; que les eaux traitées rejetées sur cette surface la perte d'un nombre considérable de têtes de chameaux.

IV.4.2.3- 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.

D'après l'ONA d'El Oued, L'assainissement autonome de 06 localités (Figure 94) consistant en 542 puits de prétraitement précédés chacune fosse septique.

L'assainissement individuel qui consiste à traiter les effluents au niveau de chaque habitation. Cette solution est adaptée aux zones rares où la densité de l'habitat est réduite. Les caractéristiques des sols devront toutefois permettre la mise en place de tels dispositifs (Figure 101).

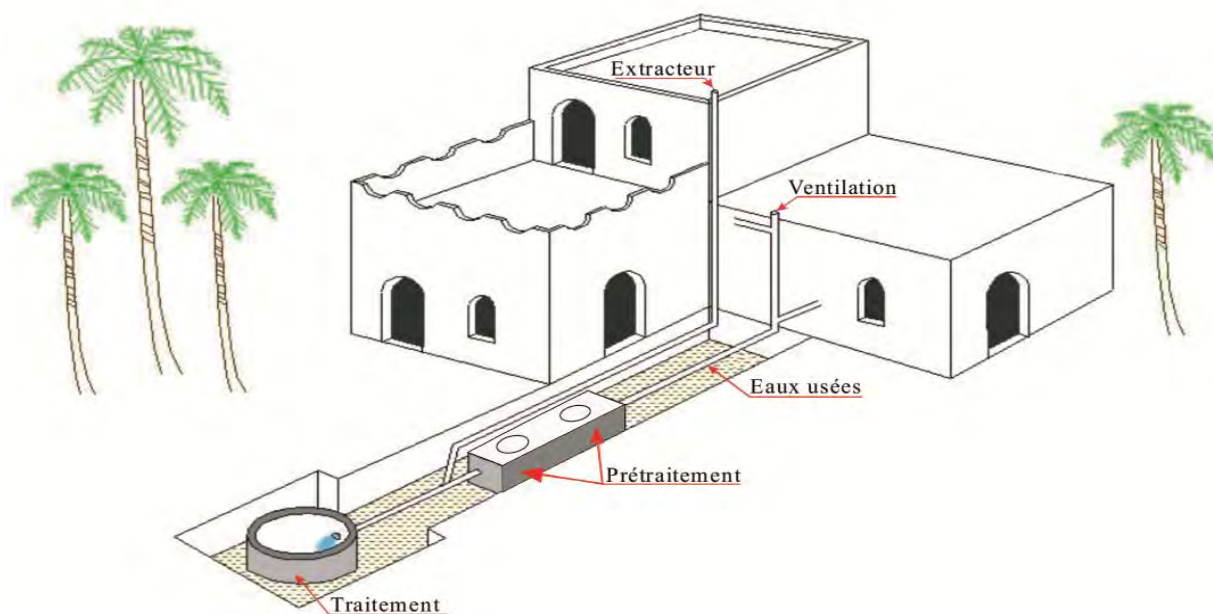


Figure 101. Schéma d'une installation type d'assainissement individuel (Bonnard & Gardel, 2003a).

Les étapes des traitements pour l'assainissement individuel sont simples et bien organisées se présentent comme suit :

a) - La fosse septique :

Ce système met en jeu deux processus :

- Un phénomène physique de décantation qui permet de retenir les matières en suspension contenues dans les eaux usées.
- 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 (Figure 102A). 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.

D'après l'ONA El Oued, La fosse septique est construite en matériaux étanches : elle est 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 série ; cette décomposition en deux compartiments permet d'éviter les remises en suspension et ainsi améliorer la décantation (Figure 102A). Une cloison siphonide assurera la rétention des matières flottantes (graisses).

L'ensemble des eaux usées (eaux vannes et eaux ménagères) sera dirigé 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 sont respectées :

- La fosse est à moins de 10 m de l'habitation ;
- La pente de la conduite d'amenée des eaux usées est comprise entre 2 et 4% pour éviter tout colmatage ;
- La fosse est équipée d'une ventilation haute en sortie permettant l'évacuation des gaz issus de la fermentation ;
- La fosse est 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 :

À 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.

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 101B). Les parois situées au-dessus du tuyau d'amenée des effluents sont 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 (Figure 102B) ; le diamètre du puits est de 0,9 à 1,5 mètre.

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

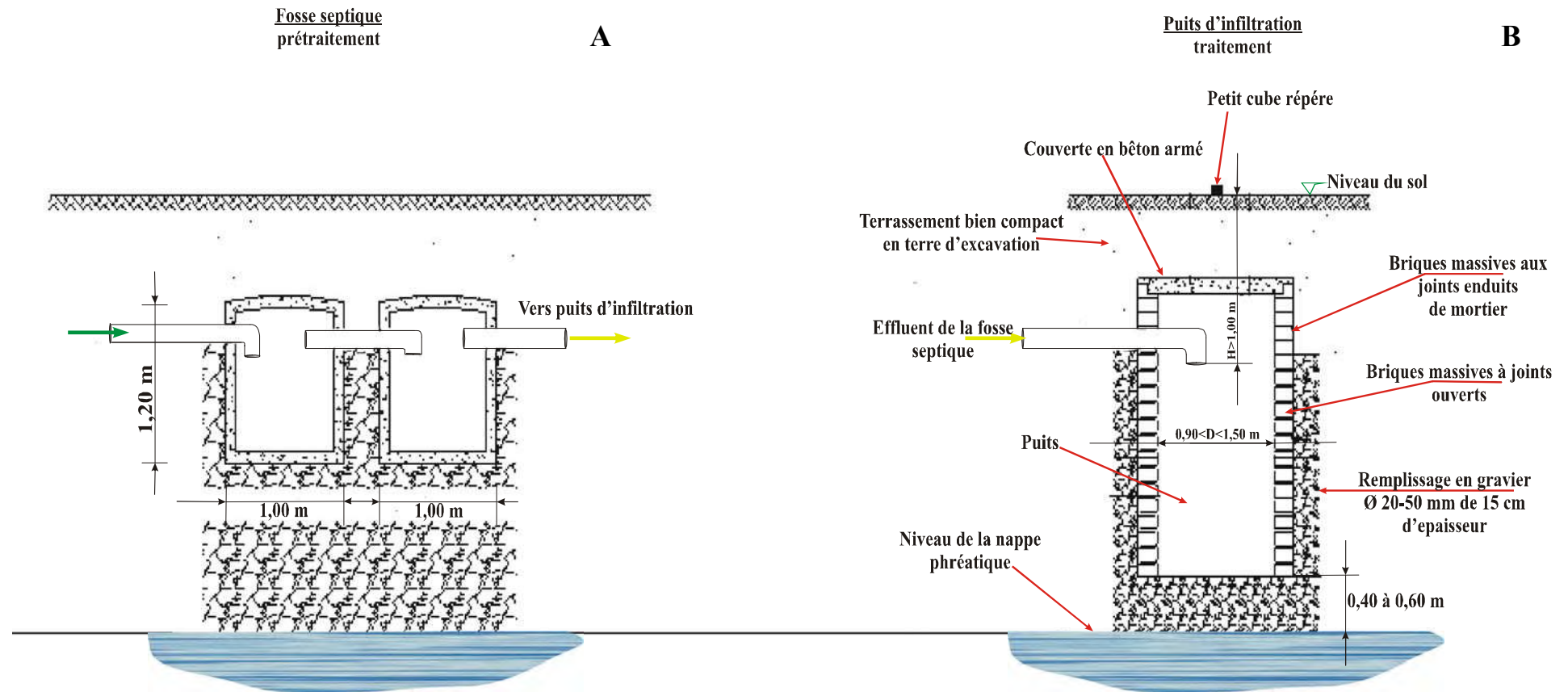


Figure 102. Les dispositifs d'épuration pour l'assainissement individuel (Bonnard & Gardel, 2003b).

IV.4.3- Les réseaux de drainage des eaux de la nappe phréatique :

Il est bien entendu impossible d'assurer une couverture en assainissement, très importante et efficace pour assainir ou plutôt drainer les eaux stagnantes de la nappe phréatique (Dans les zones urbaines). Donc les eaux restantes non assainies par réseaux doivent être récupérées en zones basses (inondées) par un système où le réseau de drainage 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 (Figure 103), par l'utilisation d'une part aussi grande que possible de ces eaux sur place pour l'irrigation d'espaces verts (Théoriquement), de collecter le solde des eaux au niveau de la station de pompage ST10, puis de les refouler sur environ 4200 m jusque dans le Collecteur des Eaux usées Traitées (CET), au point ET01 où ce dernier collecteur, en provenance de la station d'épuration STEP 1 (Kouinine), entame son tracé sur la route principale.

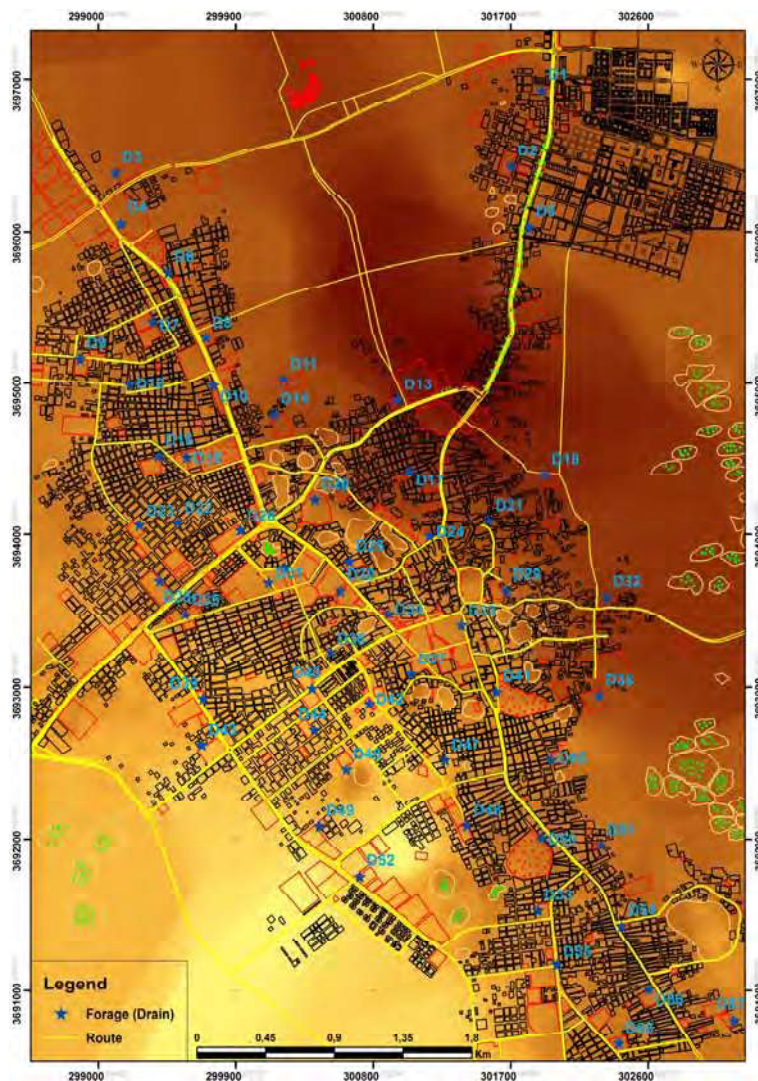


Figure 103. Localisation des 58 forages de drainage à El Oued.

D'après Bonnard & Gardel (2004a) La quantité d'eau à drainer serait de 22 185 m³/jour (débit des drains varie entre 3,5 à 10 l/s). Le réseau de drainage est constitué des drains verticaux équipés de pompes immergées. 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 présentent 37 500 m de conduites (Figure 104).

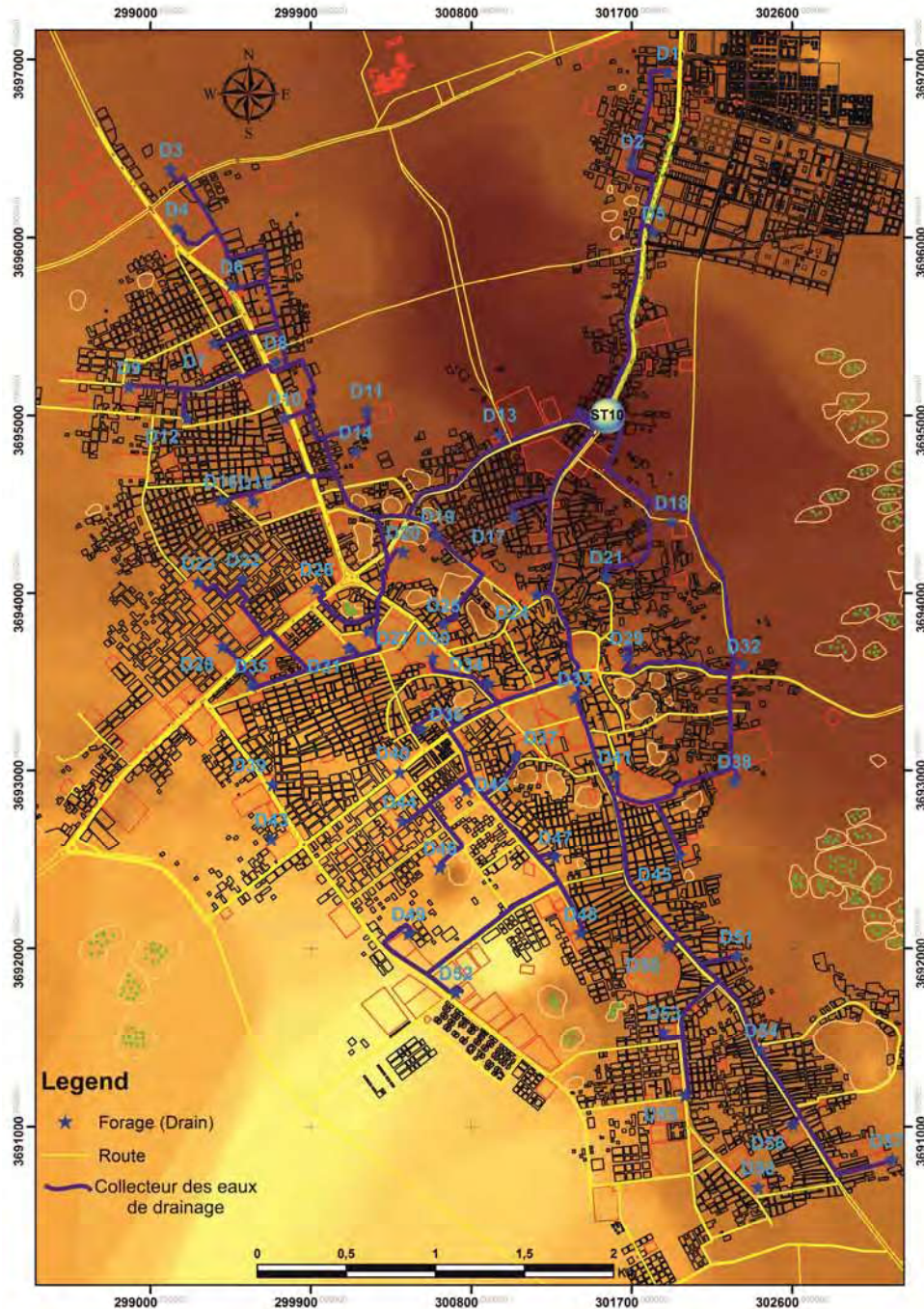


Figure 104. Réseau de drainage vertical de la commune d'El Oued.

Le système de drainage est limité au périmètre du PDAU. D'éventuels développements de l'agglomération hors de ce dernier dans des parties basses ne sont pas

pris en compte, notamment dans le Chott, à Sidi Mestour et dans le périmètre du nouveau pôle universitaire.

Ces zones, si elles devaient être construites, bien qu'en dehors du PDAU, devraient faire l'objet d'un drainage spécifique par drains horizontaux.

D'après l'ONA d'El Oued, La profondeur des forages est déterminée par la côte du terrain à l'emplacement des forages et la côte de l'eau dans le Chott. Cette dernière est d'environ 64 m. Il est prévu qu'un niveau dynamique de pompage à la côte 60 m puisse être atteint pour éviter que l'eau continue à s'écouler vers le Chott et permettre que ce dernier finisse par s'assécher. Une garde de 1 m au-dessus de la pompe définit le niveau de celle-ci à la côte 59 m et celui du sommet des crépines à la côte 58 m. Les crépines d'une longueur de 8 m s'arrêtent à la côte 50 m. Elles se poursuivent par un tube décanteur aveugle de 2 m. La côte de la fin du forage s'établit ainsi à 48 m.

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

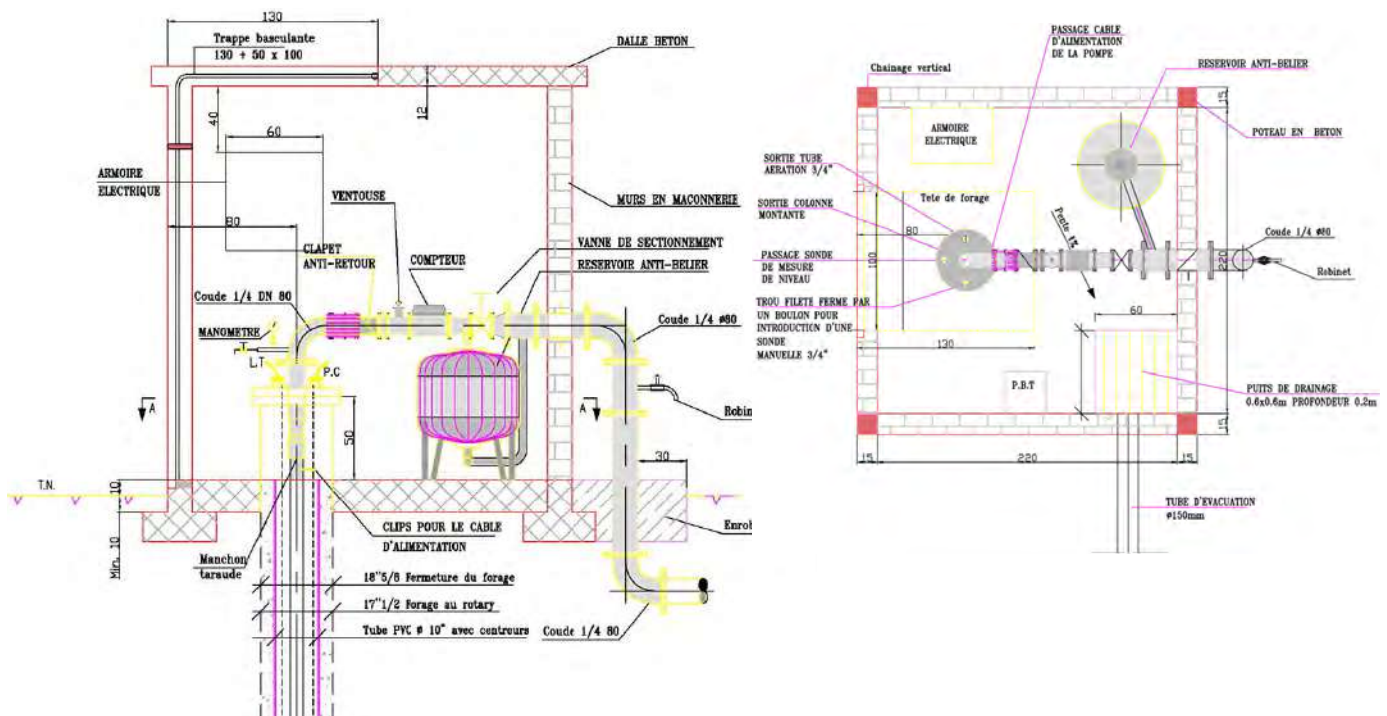


Figure 105. Coupe type de la station de pompage (Drain vertical) (Bonnard & Gardel, 2004a).

La tête de forage et les équipements sont protégés par un local de 2,2 m x 2,2 m en parpaings (Figure 105), avec porte d'accès métallique et trappe métallique de toit à la verticale du forage (pour permettre l'entretien et l'extraction de la colonne d'exhaure et de la pompe de forage).

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

Depuis le temps de mise en service du réseau de drainage, les forages drainent et refoulent les masses d'eau vers la ST10 ; pour les transférer au point de rejet vers le Nord du Souf.

* Dans notre étude ; parmi les axes que l'on a choisit d'étudier, sont la rentabilité et le rendement des ouvrages installés pour remédier la région du Souf du phénomène de la remontée. Surtout dans la commune d'El Oued ; occupée de 58 Drains pour abaisser le niveau des eaux de la nappe phréatique dans les zones urbaines inondées.

IV.5- Rentabilité des réseaux de drainage vertical et réseaux d'assainissement:

Depuis le temps de la lancée du réseau d'assainissement collectif et le réseau du drainage vertical pour évacuer les eaux usées urbain et les eaux de nappe superficielle; la nature du Souf réagira avec ces nouveaux intrus.

Pour connaître l'impact de ces ouvrages sur la région du Souf, nous avons réalisé des campagnes de mesures hydrogéologiques pour extraire les cartes piézométriques et les niveaux statiques de la nappe phréatique, avec des analyses physico-Chimiques de eaux de la nappe de quelques éléments.

Mais pour connaître l'impact de ces ouvrages, et les variations qu'ils amenées au niveau piézométrique et la qualité des eaux de la nappe phréatique ; il faut des références pour le comparer ; pour cela on à utiliser les bases des données de l'Office Nationale d'Assainissement (ONA) d'El Oued en 2008 (Mesures piézométriques, analyses physico-Chimiques des eaux), et des quelques chercheurs qui ont travaillé sur la région du Souf avant 2012.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- Des dômes piézométriques : au niveau de la partie Sud-Ouest de la commune d'El Oued (Cités El GARRA -D23- et 17 Octobre -D28-D35-,

Moudjahidine -D39-D43- jusqu'à El REMMAL -D40-D44-D46- et les cités 19 mars -D52- et SAHANA I -D48-), correspondent à des aires privilégiées d'infiltration, et une autre zone au Nord-Est de la ville d'El Oued (Cités 01 Novembre 1954 et 08 Mai 1945), donc des zones d'alimentation.

➤ Dépressions piézométriques au niveau du Chott d'El Oued (Nord de la Commune d'El Oued), donc exutoire naturel dans la zone urbaine.

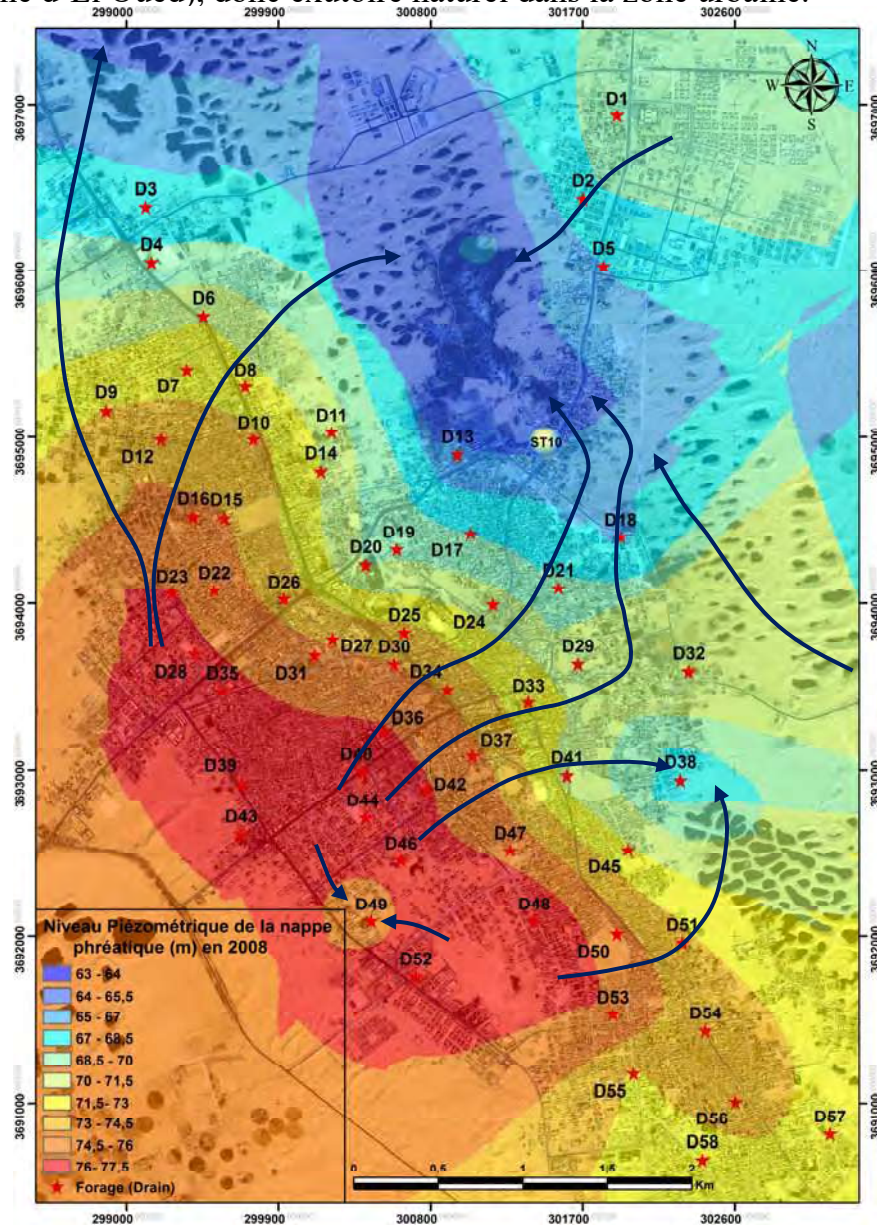


Figure 106. Carte piézométrique de la commune d'El oued en Mars 2008.

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

➤ Le drain 38 (CM Bachir Djaballah) au Sud-Est de la ville, où la surface piézométrique forme une dépression due au pompage pour l'irrigation.

➤ Le drain 49 (Direction de conservation des forêts) au Sud de la commune d'El Oued, montre la carte une dépression piézométrique résulte de débit extrait pour l'irrigation les espaces verts.

Les cartes piézométriques montrent pas les zones inondées ou humides, pour cela on à réaliser la carte de niveau statique et la carte de zones inondée (Figure 107).

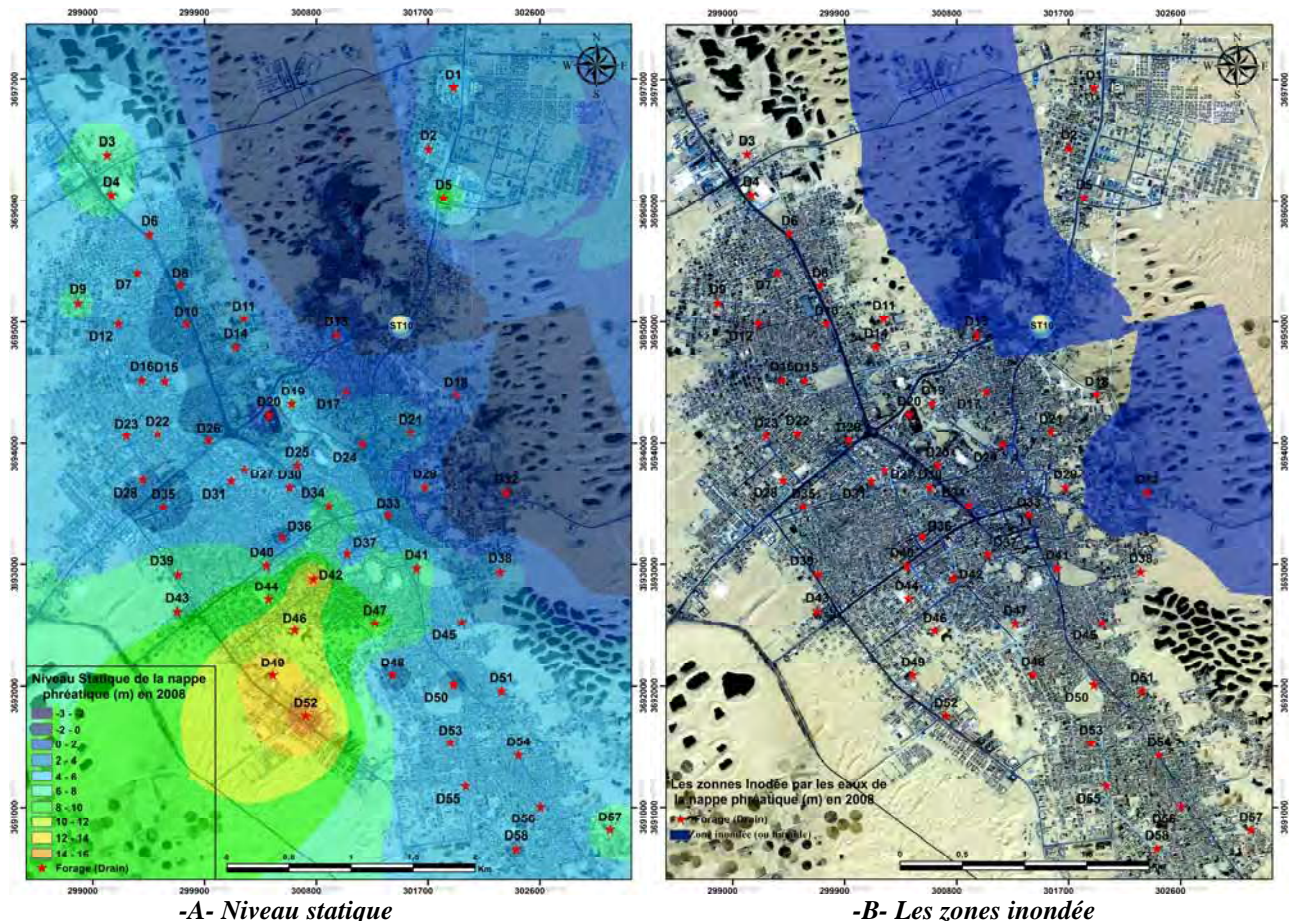


Figure 107. Carte de niveau statique et la carte des zones inondée dans la commune d'El Oued en Mars 2008.

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

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

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

L'analyse de la carte piézométrique des eaux de la nappe phréatique de la commune d'El Oued (zone urbaine) en mars 2011 (Figure 108), montre qu'il n'y a pas beaucoup changement entre les deux surfaces piézométriques (2008 et 2011).

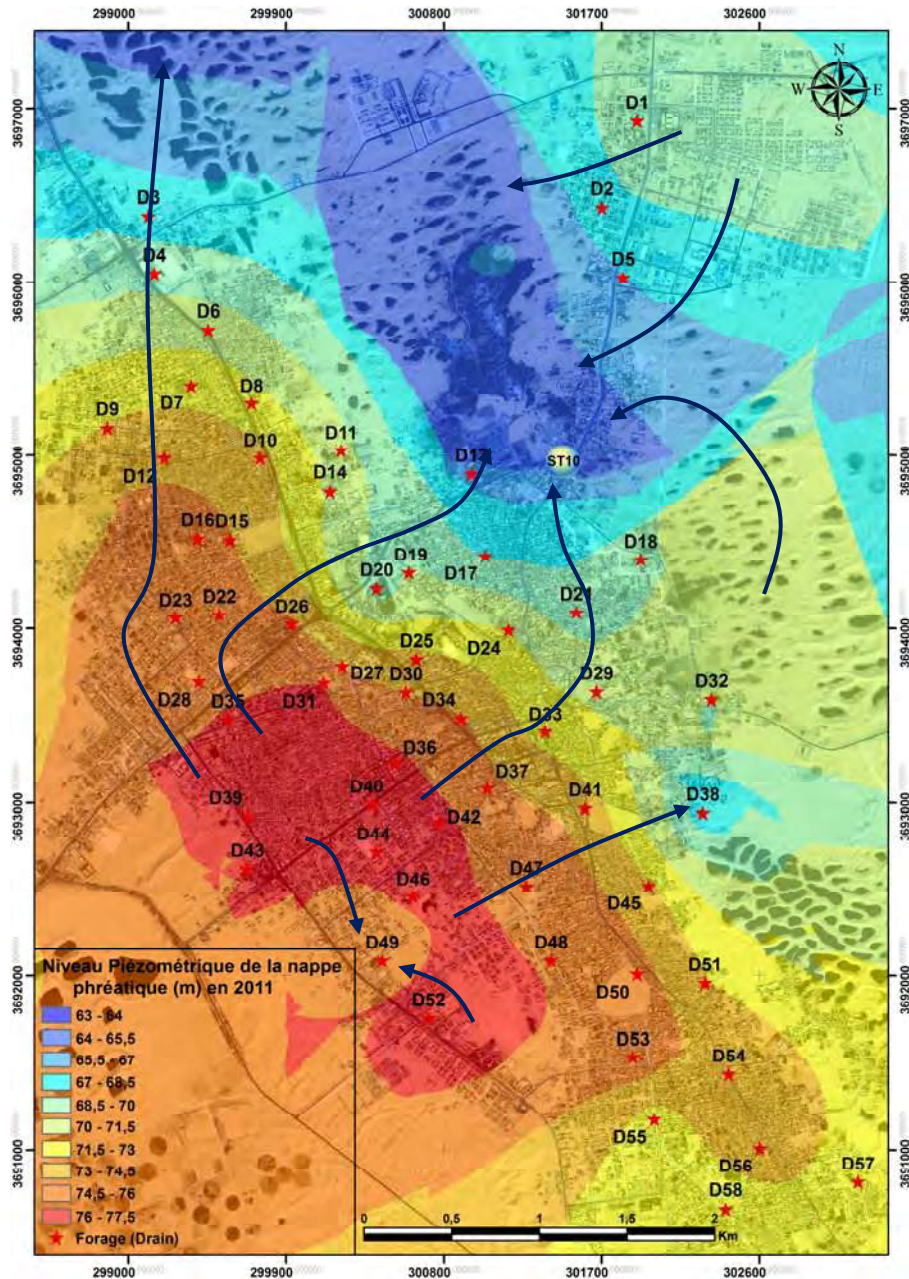


Figure 108. Carte piézométrique de la commune d'El oued en Mars 2011.

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

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

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

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

Comme on l'a dit avant la réalisation de la carte de niveau statique et la carte de zones inondées nous donne une autre vue au niveau des eaux de la nappe (Figure 109).

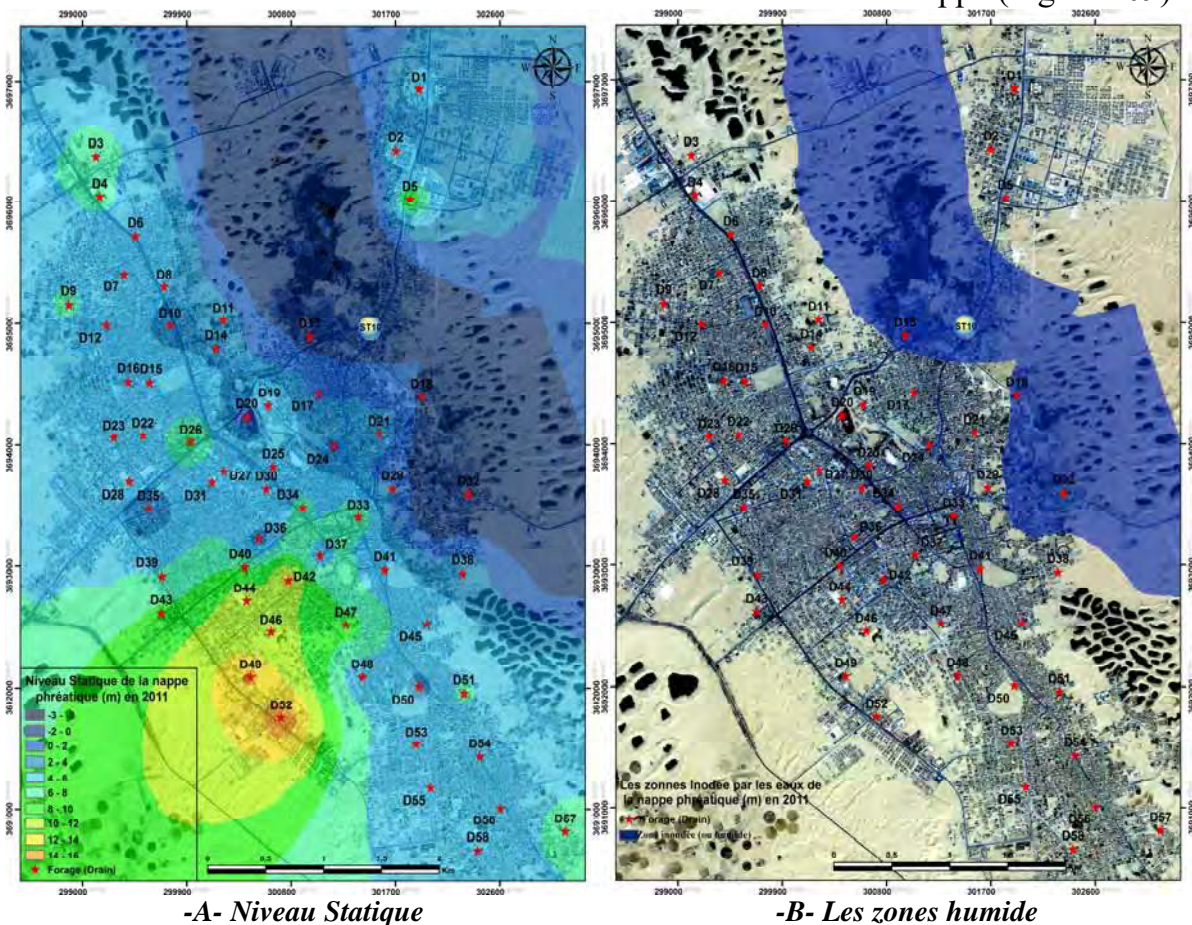


Figure 109. Carte de niveau statique et la carte des zones inondées dans la commune d'El Oued en Mars 2011.

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

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

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

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

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

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

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

- La sonde électrique (50 m de longueur) : pour déterminer le niveau statique dans chaque forage et points d'eau (Figure 110).
- Une tarière : Cet outil est utilisé pour créer de nouveaux points de mesure (piézomètres) surtout dans les zones inondées où l'eau se trouve près de la surface du sol (Figure 110).



Figure 110. La sonde électrique de 50 m de longueur et La tarière.

- **Le théodolite** : En topographie, le théodolite est utilisé dans les mesures d'un levé du territoire. Nous avons utilisé cet appareil topographique pour déterminer les côtes terrain naturelles (z) pour les nouveaux points (piézomètres) d'eau (Figure 111).

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



Figure 111. *Théodolite et un appareil **GPS** GARMIN.*

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

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

L'analyse de la carte piézométrique des eaux de la nappe phréatique de la commune d'El Oued (zone urbaine) en Mars 2014 (Figure 112), montre qu'il y a beaucoup de changement entre les deux surfaces piézométriques (2011 et 2014).

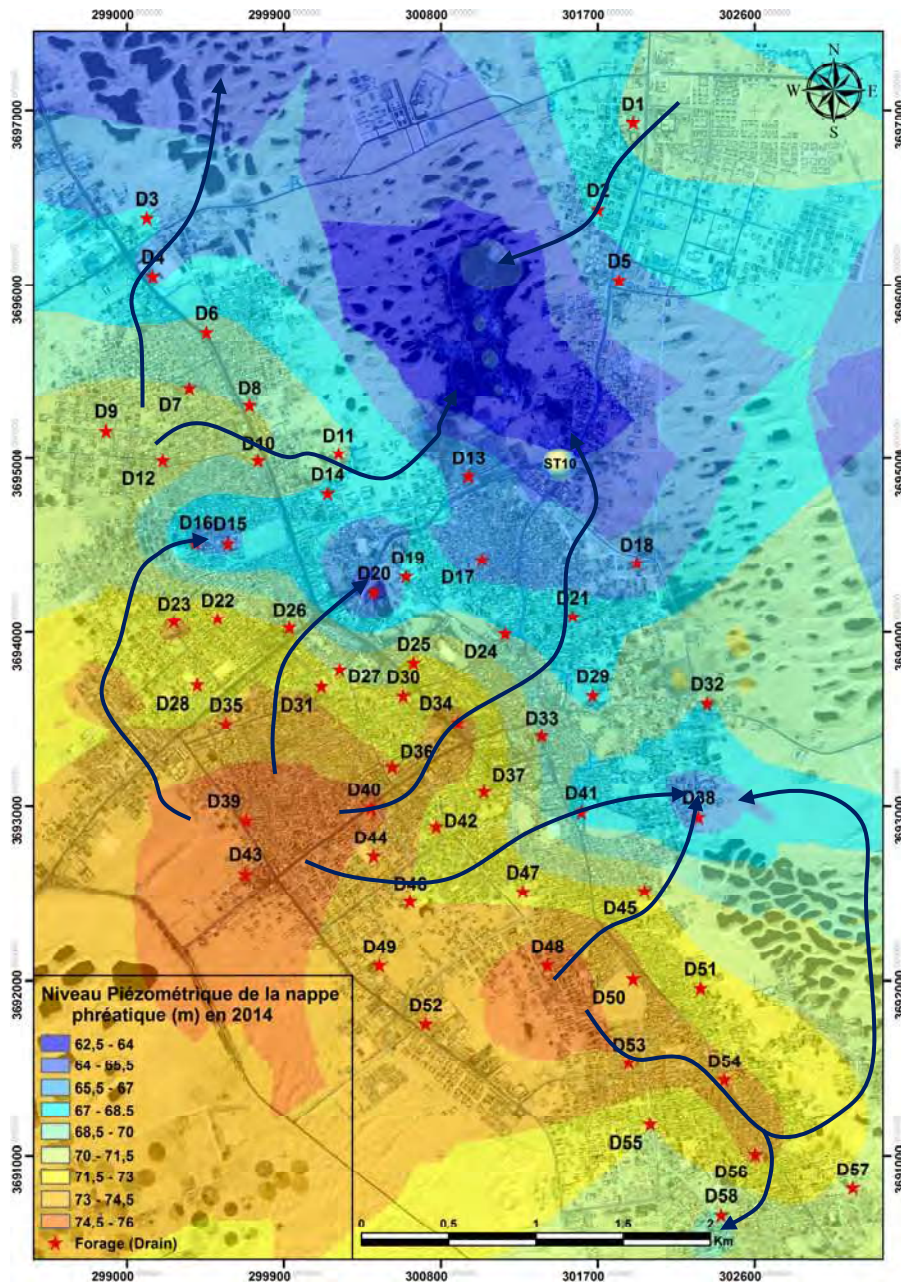


Figure 112. Carte piézométrique de la commune d'El oued en Mars 2014.

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

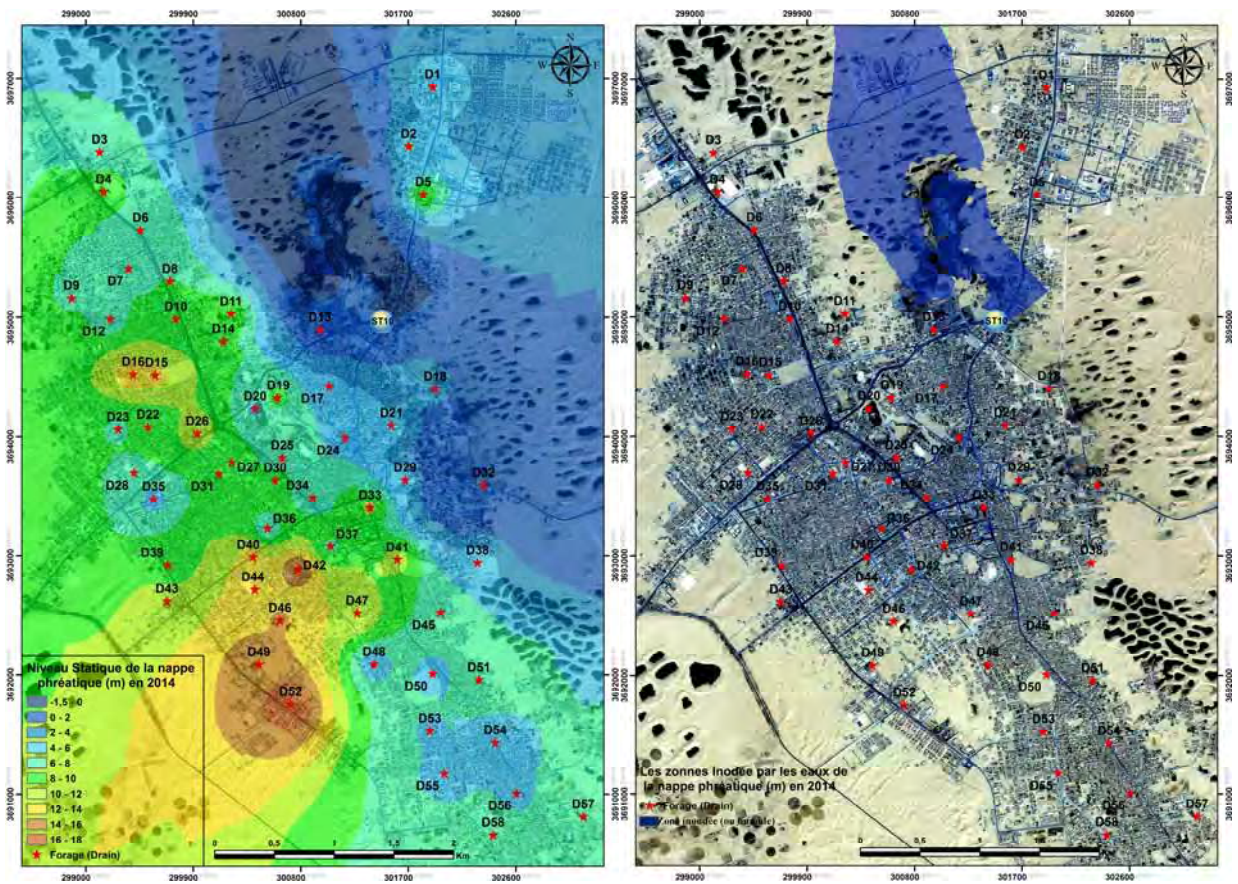
➤ Dômes piézométriques (74,5 m-76 m) : deux zones formées des dômes au niveau de la partie Sud-Ouest de la commune d'El Oued, le premier de la cité Moudjahidine -D39-D43- jusqu'à la cité EL-RIMMAL -D40- , et pour le deuxième dôme au niveau de la cité EL SAHNE I -D48-. Par rapport la campagne de mars 2011 on remarque de battement de 1,5 m du niveau des eaux dans cette zone.

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

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

➤ Drain D38 au Sud-Est de la ville et les drains D20 ; D15 et D16 la surface piézométrique forme une dépression (Figure 112) à cause du pompage pour l'irrigation.

La carte de niveau statique et la carte de zones inondées nous donnent une autre interprétation pour le niveau des eaux de la nappe (Figure 113).



-A- Niveau Statique

-B- Les zones humides

Figure 113. Carte de niveau statique et la carte des zones inondées dans la commune d'El Oued en Mars 2014.

La carte de profondeur d'eau (Niveau statique); nous dit que les zones de pompage au niveau du drain D52 (DRH; El Oued) et du drain D49 (DCF; El Oued) au Sud de la ville d'El Oued ça grandie (Figure 113A) avec le drain D42 (Centre de formation III) au centre de la ville d'El Oued, à cause du débit extrait par les forages distingués

spécialement à l'irrigation des jardins dans les directions de la **DRH**, la **DCF** et du centre de formation III.

La surface moyenne des zones inondées (et humides) au niveau du Chott de la ville d'El Oued diminue presque de 3 km² (Figure 113B) c'est-à-dire la moitié de la surface précédente enregistrée en Mars 2011 (Figure 109B).

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

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

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

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

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

L'analyse de la carte piézométrique des eaux de la nappe libre de la ville d'El Oued en Mars 2016 (Figure 114), montre un changement dans la géométrie de la surface piézométrique. On remarque de disparition de zones d'alimentation anciennes et l'apparition d'autres.

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

- Dômes piézométriques (74,5 m-76 m) : trois zones forment des dômes ; premièrement au niveau du drain D34 dans le centre-ville (ADE, Centre-ville), deuxième dôme au Sud-Ouest de la ville d'El Oued près des drains D39 et D43 de la cité Moudjahidine, et le troisième dôme au niveau du drain D51 (cité SAHNE I) de Sud de la ville (Figure 114).

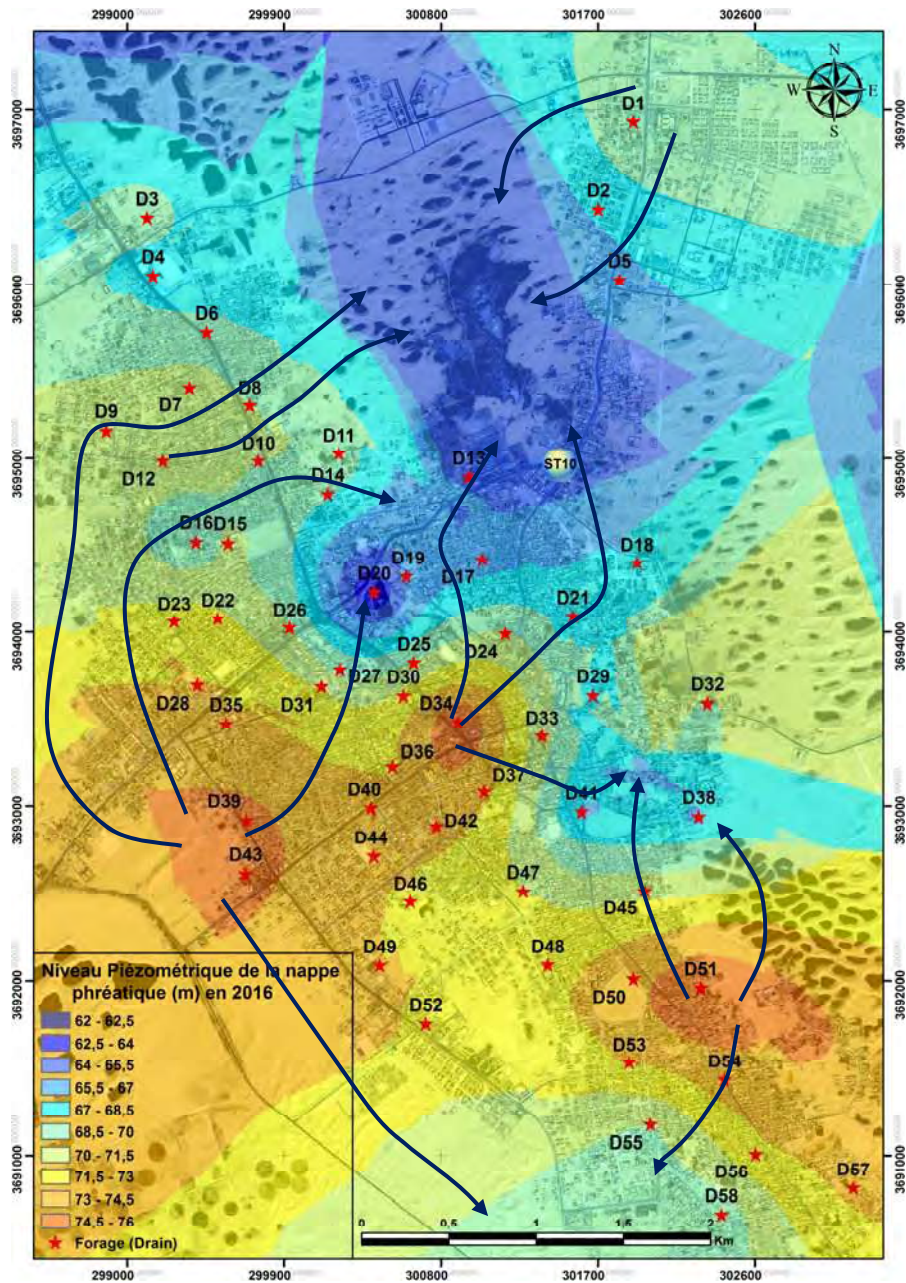


Figure 114. Carte piézométrique de la commune d'El oued en Mars 2016.

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

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

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

Comme on l'a dit avant, les cartes piézométriques ne montrent pas les zones inondées ou humides, pour cela la carte de niveau statique et la carte de zones inondées sont importantes (Figure 115).

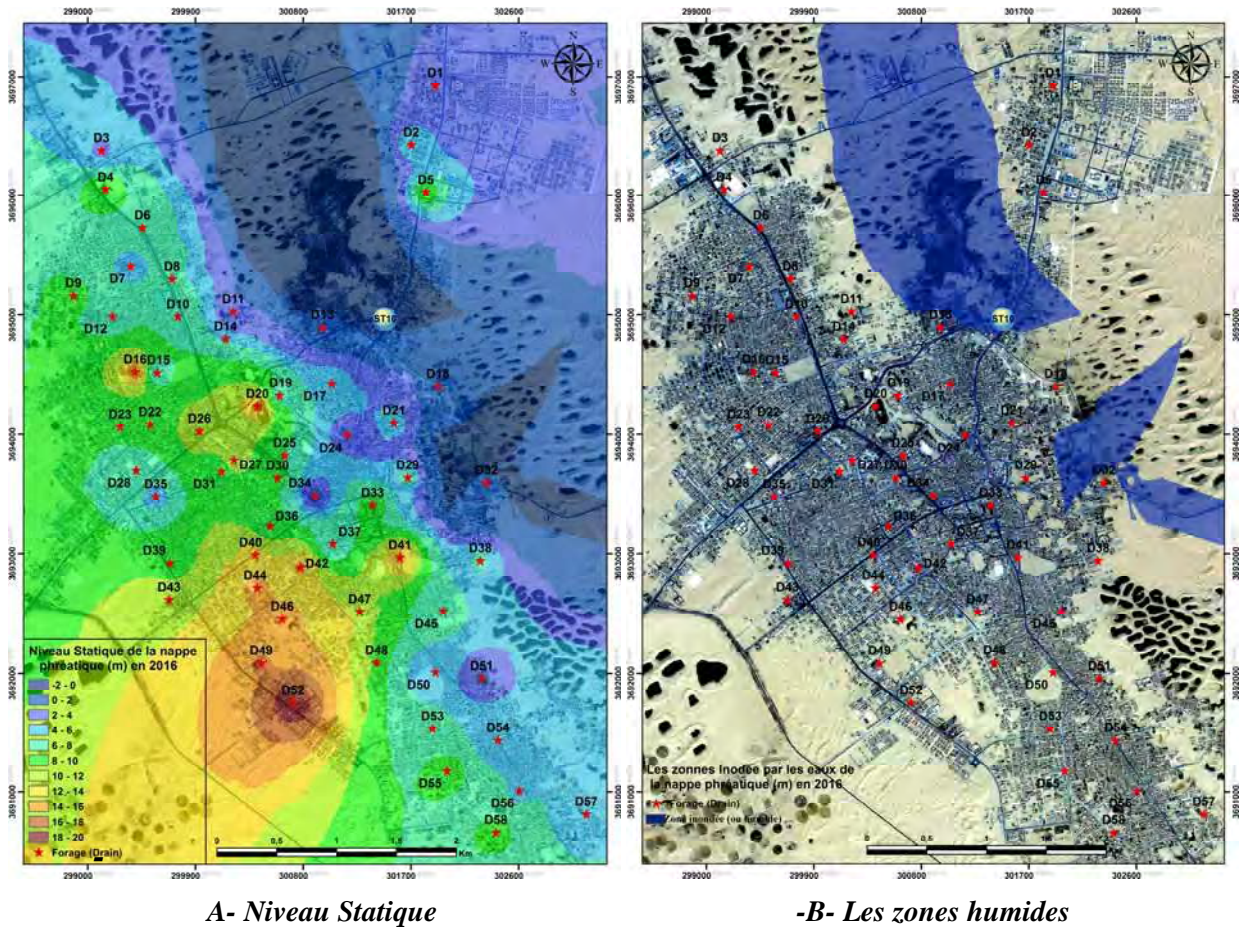


Figure 115. Carte de niveau statique et la carte des zones inondées dans la ville d'El Oued en Mars 2016.

La carte de niveau statique; montre que le débit d'irrigation au niveau du drain D52 (DRH; El Oued) au Sud de la ville d'El Oued ça grandit (Figure 115A) et le drain D49 (DCF; El Oued) reste avec un débit stable. Nous conduisons a de ce fait une petite enquête au niveau des deux directions de DRH et DCF d'El Oued, où nous avons trouvé que la méthode d'irrigation par tuyau et l'arrosage, explique l'agressivité de pompage au niveau du drain D52. Mais avec le drain D42 (Centre de formation III) au centre de la ville d'El Oued, moins sévère à cause de la méthode d'irrigation qui est basée sur le goutte-à-goutte. C'est-à-dire débit calculé et constant.

La surface moyenne des zones inondées (et humides) au niveau du Chott de la ville d'El Oued rallongée d'environ 4,5 km² (Figure 115B), c'est-à-dire augmentation de la moitié de la surface précédente enregistrée en Mars 2014 (Figure 113B).

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

Tous ces forages (Figure 116) destinés totalement pour l'irrigation des espaces verts où les arbres forestiers dans les directions (les directions de la DCF, la DRH ...etc.), les écoles et les jardins étatiques ou publics. Le but de réalisation de tous ces forages au niveau de la nappe phréatique est d'éviter l'irrigation par les eaux du réseau d'AEP et les factures très élevées facturées par la direction d'ADE d'El Oued.

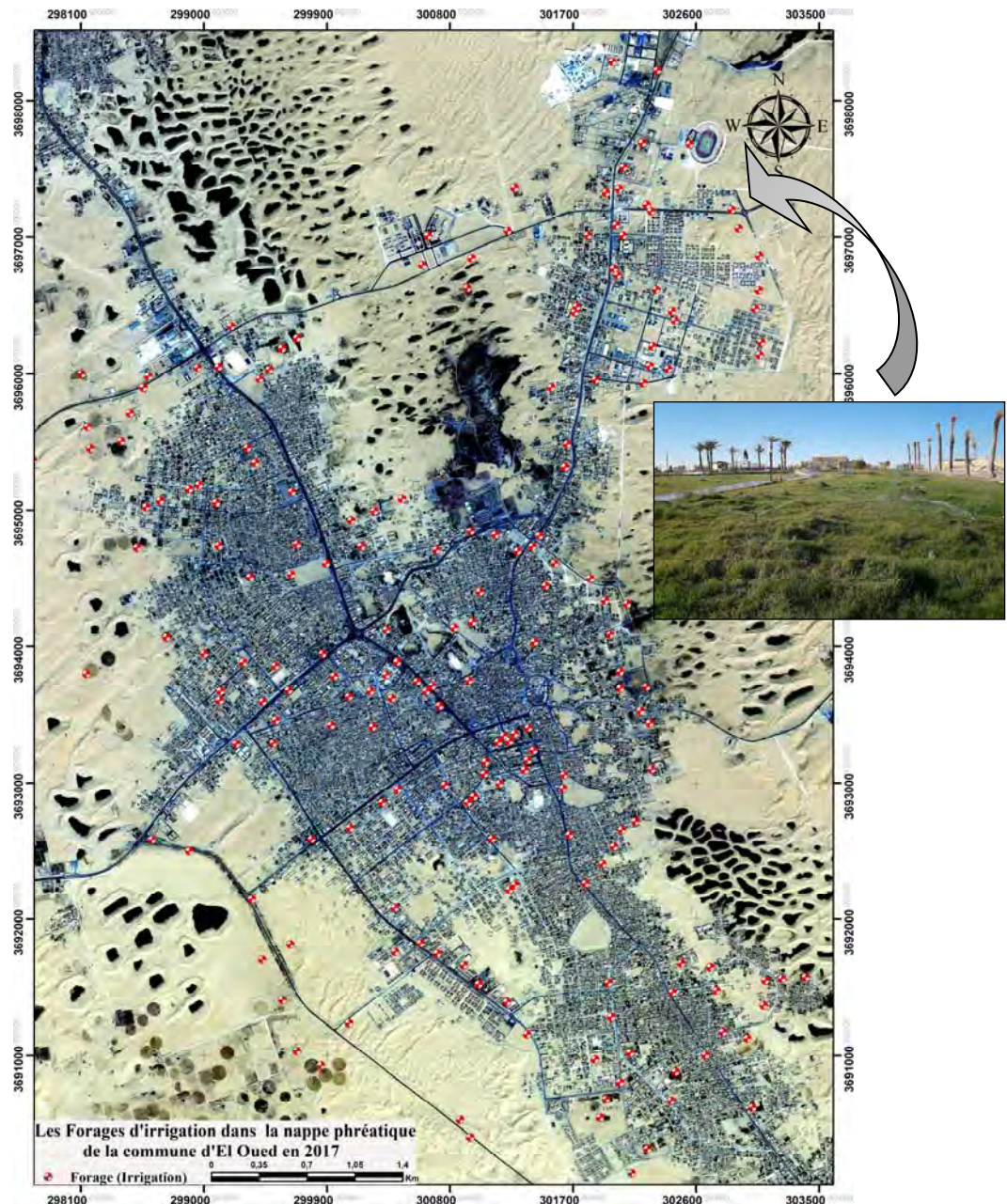


Figure 116. Carte d'inventaire des forages d'irrigation de la commune d'El oued.

IV.5.2- La variation qualitative de la nappe phréatique de la commune d'El-Oued:

Les paramètres à analyser sont choisis en fonction de l'objectif recherché, et fonction de la disponibilité du matériel.

Les différentes analyses des paramètres physico-chimiques des eaux de la nappe phréatique de la commune d'El Oued ont été effectuées au laboratoire d'analyses physico-chimiques de l'Algérienne Des Eaux d'El Oued et laboratoire d'analyses au sein des **STEP I** et **STEP III** d'Office National d'Assainissement d'El Oued.

Tous les prélèvements d'eau sont effectués dans des flacons en verre stérile par remplissage en sub-surface. Les échantillons, conservés à 4 °C, sont transportés au laboratoire dans un délai ne dépassant pas 4 heures (Rodier, 2009). Sur ces échantillons nous avons déterminé, selon les normes AFNOR et ISO.

IV.5.2.1- La température de la nappe phréatique de la commune d'El-Oued:

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

La mesure de la température des eaux, sur le terrain, permet d'ajuster les valeurs de la conductivité, d'apprécier l'origine plus ou moins profonde de l'eau et de calculer les équilibres de dissolution. Globalement, les valeurs de température des eaux des nappes phréatiques de la commune d'El Oued oscillent entre 17 et 26 °C avec une moyenne de 21,5 °C, les valeurs les plus fréquentes sont comprises entre 20 et 25 °C (Figure 117).

Malgré que la corrélation entre la température des eaux et les profondeurs de captage ne montre pas une relation très nette, on peut déduire le caractère peu profond des eaux surtout au voisinage des Chotts et des sebkhas, influencé par la température atmosphérique. Cette variation des valeurs de température est due au fait que les mesures ont été effectuées dans un intervalle de temps assez important. Donc la température des eaux des nappes phréatiques, qui dépend de la profondeur du plan d'eau, du lieu et de la date et l'heure de mesure, est fortement influencée par le climat de la région d'étude.

Lors de la campagne de 2016, nous avons remarqué que les températures un peu élevées (de 24,5 à 26 C°) enregistrées au niveau des drains D23, D30, D38 et D41, D46.

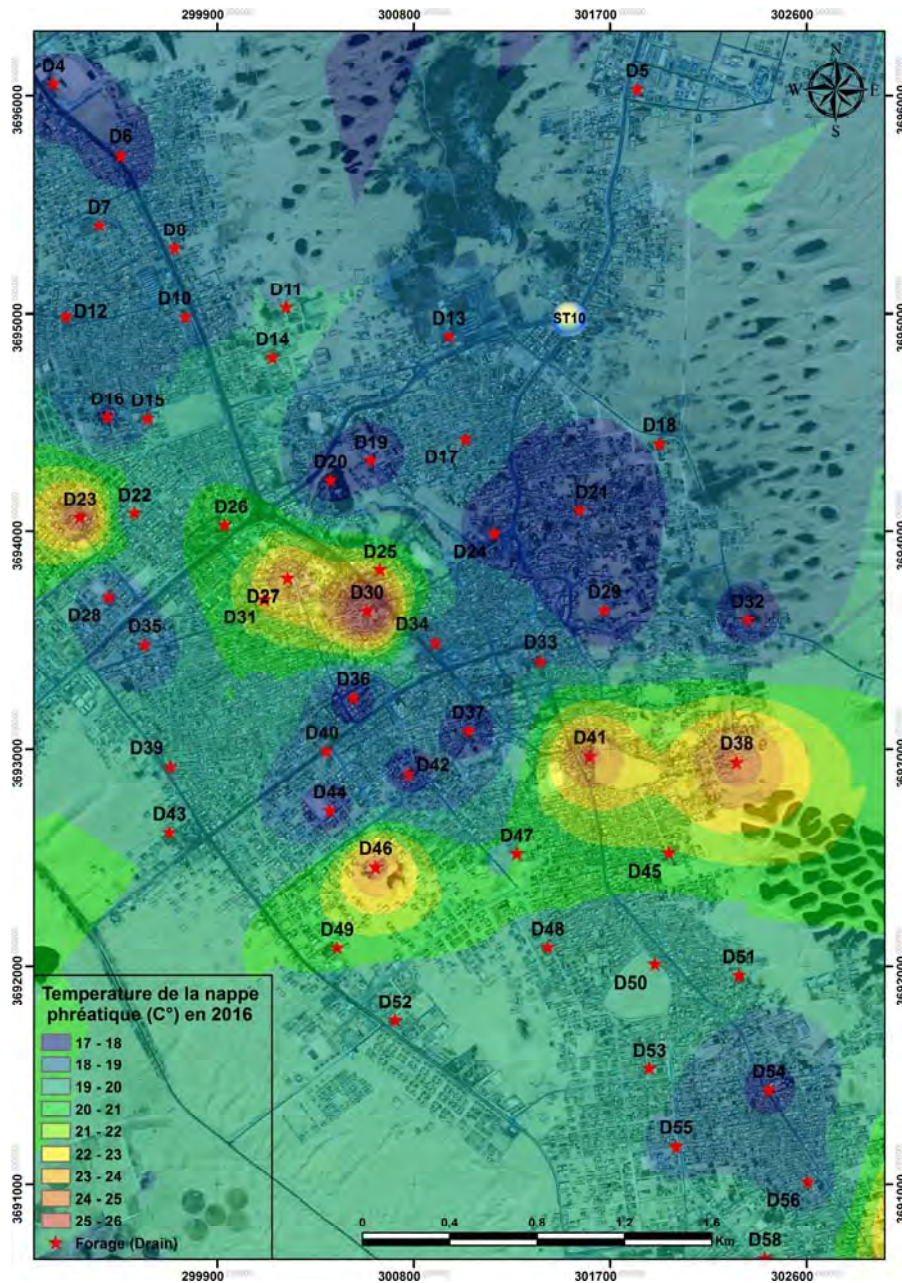


Figure 117. Variation spatiale de la température des eaux de la nappe phréatique de la commune d’El oued en Mars 2016.

IV.5.2.2- Variation de conductivité des eaux de la nappe libre de la ville d’El-Oued:

L’eau peut être considérée comme une solution électrolytique, car presque tous ses constituants dissous, majeurs et mineurs, sont présents sous la forme ionique. Grâce à la présence de ces ions, l’eau devient susceptible de se laisser traverser par un courant électrique. Cette caractéristique s’appelle la Conductivité Electrique (CE) (Smida H., 2008). La Conductivité Electrique est naturellement influencée par le pH du milieu, la valence des ions et leur degré d’ionisation. Elle est étroitement liée à la nature et à la concentration des éléments chimiques en solution, donc à la nature des terrains traversés et le temps de séjour des eaux dans les formations géologiques

Ce paramètre est très intéressant pour toute étude hydrogéochimique car il donne directement une estimation de la minéralisation totale. La conductivité électrique de l'eau de la nappe phréatique informe sur le degré de la salinité et les risques de salinité des sols. Les mesures de la conductivité pendant le mois de mars 2011 et mars 2016 montrent un dépassement de la norme recommandée pour les eaux d'alimentation en eau potable.

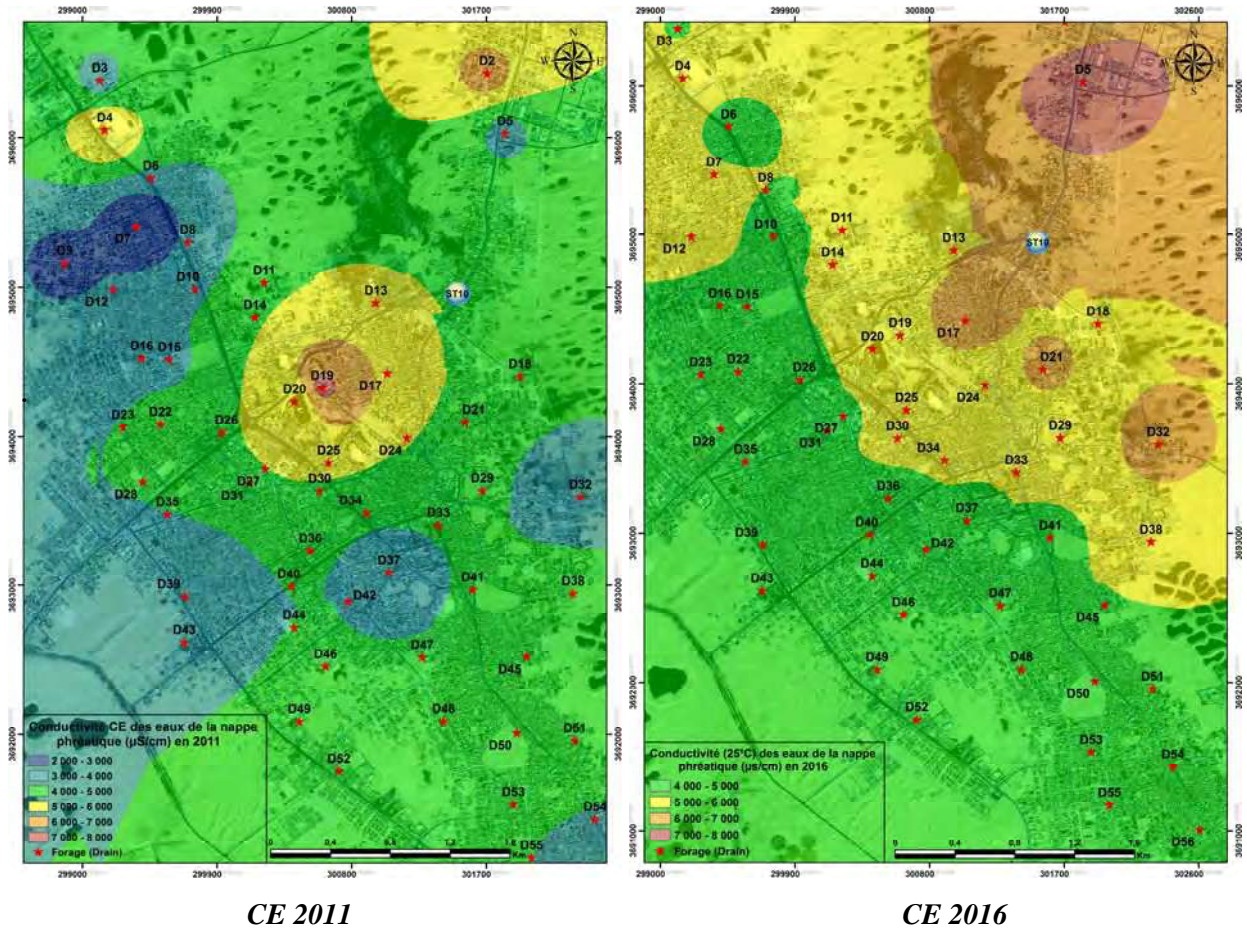


Figure 118. La Variation spatio-temporelle de la conductivité (25 C°) des eaux de la nappe phréatique de la commune d'El oued entre Mars 2011 et Mars 2016.

En Mars 2011 la conductivité des eaux de la nappe libre (Figure 118) de la ville d'El Oued varie dans l'intervalle de 2170 $\mu\text{S}/\text{cm}$ enregistré au niveau du drain D07 (Lycée de Tiksebt) au Nord-Ouest de la ville, a 7250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ enregistré dans du drain D19 (Ecole Djebeli Djbeli) avec une moyenne de 4710 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Pour Mars 2016 les valeurs de la conductivité varient entre 3950 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au Sud de la ville au niveau du drain D55 (Résidence Universitaire), a d'environ 8100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au Nord-Est de la ville d'El Oued au niveau du drain D05 (Parc Wilaya) (Figure 118) avec une moyenne de 5039,25 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

On remarque des différences entre les deux cartes de conductivité des mois de Mars 2011 et Mars 2016. Présence, sur la carte 2011 (Figure 118) de zones de classes d'intervalles 2000-3000 et 3000-4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Celle disparaissent sur celle de 2016. Ce qui fait que la conductivité moyenne des eaux de la nappe a augmenté.

Il faut signaler que la base de données de la carte de CE Mars 2011 composée de 20 points de mesures, mais la carte de CE Mars 2016 extrait par 41 points de mesures ; c'est-à-dire la carte de Mars 2016 est plus fiable et plus proche de la réalité.

IV.5.2.3- La variation du TDS des eaux de la nappe libre de la ville d'El-Oued:

TDS (Total Dissolved Solids) signifie en français Total des Solides Dissous et représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. Le **TDS** est composé de sels inorganiques et de quelques matières organiques. Les sels inorganiques communs trouvés dans l'eau incluent le calcium, le magnésium, le potassium et le sodium qui sont tous les cations et des carbonates, nitrates, bicarbonates, chlorures et sulfates qui sont tous des anions. Les cations sont des ions chargés positivement et des anions sont des ions chargés négativement.

Ces minéraux peuvent provenir d'activités humaines. Les eaux de ruissellement agricoles et urbaines peuvent provoquer un surplus de minéraux dans les sources d'eaux comme les bassins d'eaux usées, et les eaux usées industrielles.

L'infiltration de l'eau douce et son écoulement dans le sol et le sous-sol sont les vecteurs de transport des solutés dans les eaux souterraines. Au cours de leur cheminement, les eaux souterraines sont en contact direct avec des minéraux solides figurant dans les sédiments, les sols et les roches. De ces interactions peuvent résulter des phénomènes de dissolution et de précipitation, mais aussi d'autres phénomènes importants tels l'adsorption et les réactions d'échange ionique. Par ailleurs, les solutés peuvent aussi interagir avec d'autres éléments en solution ou en suspension dans l'eau, et se complexer avec ceux-ci (Banton, 1997).

Dans une étude réalisée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), un jury de dégustateurs est venu à la conclusion sur la quantité de **TDS** préférable dans l'eau :

Tableau IV-14 : Goût de l'eau avec différentes concentrations de TDS (OMS, 1996);

Niveau de TDS (mg.l ⁻¹)	Evaluation
Moins de 300	Excellent
300 - 600	Bien
600 - 900	Acceptable
900 - 1200	Faible
Plus de 1200	Inacceptable

D'après la carte de Mars 2011 (Figure 119), nous avons enregistré une valeur maximum 4390 mg.l⁻¹ au niveau du drain D19 (Ecole Djebeli Djbeli) (Figure 119) et qui diminue jusqu'au le minimum 1160 mg.l⁻¹ au drain D09 (Ecole nouvelle Tiksebt ouest) au Nord-Est de la ville, avec une moyenne de 2640 mg/l.

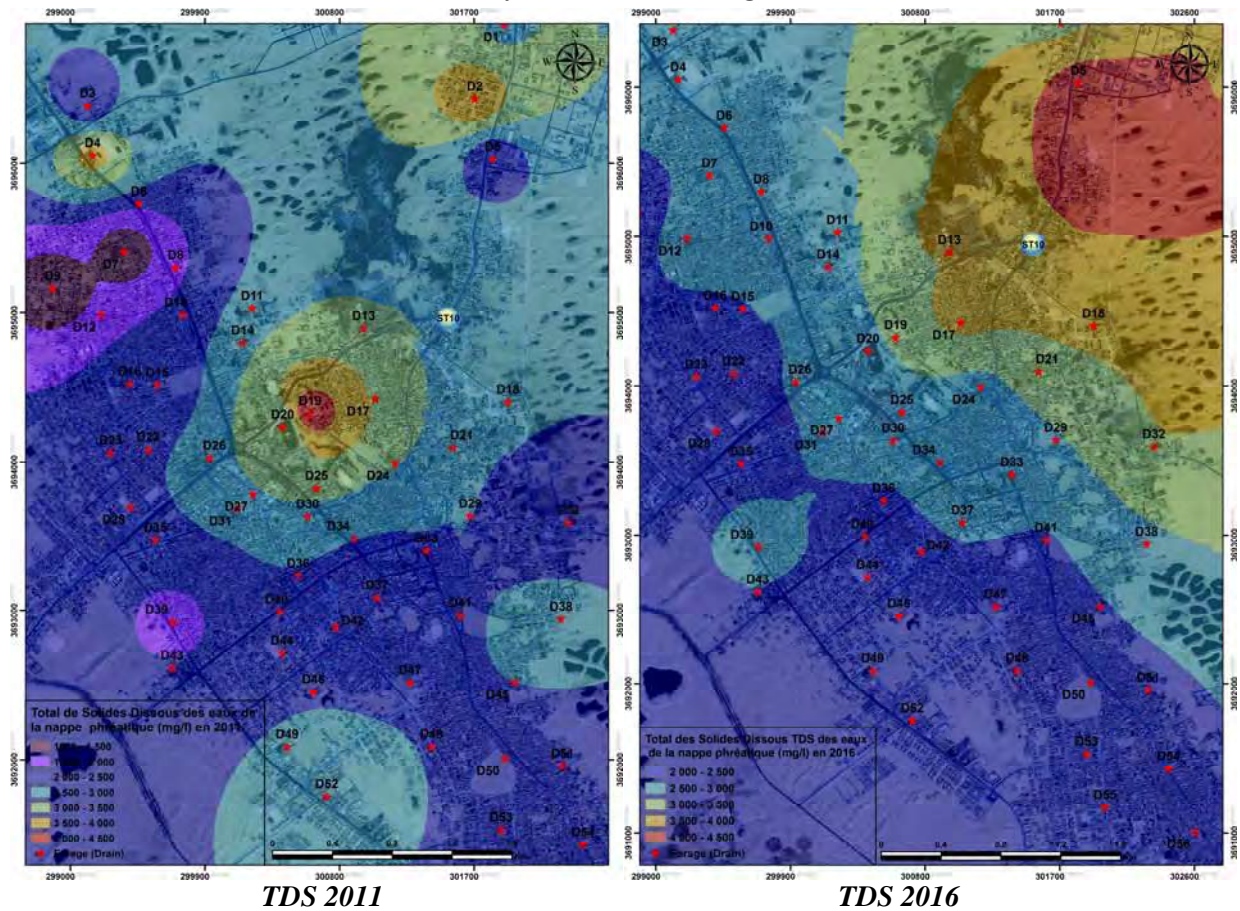


Figure 119. La Variation spatio-temporelle du TDS des eaux de la nappe phréatique de la commune d'El Oued entre Mars 2011 et Mars 2016.

La carte de TDS en Mars 2016 (Figure 119) de la nappe phréatique de la commune d'El Oued montre que les valeurs varient entre 4330 mg.l⁻¹ et 2060 mg.l⁻¹, avec une moyenne de l'ordre de 2640 mg.l⁻¹. Cette carte montre des zones très marquées des eaux saumâtres sur la totalité de la zone d'étude. Au voisinage des Chotts d'El Oued (Cité 01 Novembre 1954 et Cité 08 mai 1945 au Nord-Est de la ville, Cité Nezla à l'Est et Nezla

Ouest et cité Sidi Mestour et Ouled Ahmed) on note un **TDS** supérieur à 3000 mg.l⁻¹ (Figure 119). Ceci est dû aux évaporations des eaux des surfaces qui caractérisent ces régions.

On remarque ici qu'il y'a deux classes (1000-1500 et 1500-2000) sont ont disparu dans la carte de 2016 ; c'est-à-dire une augmentation pour la valeur moyenne.

IV.5.2.4-Variation de la MES des eaux de la nappe phréatique de la ville d'El Oued:

La notion de **Matière En Suspension** (ou **MES**) désigne l'ensemble des matières solides insolubles visibles à l'œil nu présentes dans un liquide. Plus une eau en contient, plus elle est dite turbide. Les particules fines en suspension dans une eau sont soit d'origine naturelle, en liaison avec les précipitations, soit produites par les rejets urbains et industriels (MEDD & *al.*, 2003).

La détermination des matières en suspension dans l'eau s'effectue par filtration ou par centrifugation. Dans notre cas l'eau est filtrée et le poids de matières retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle.

Les valeurs de la matière en suspension enregistrées dans les eaux de la nappe phréatique, donnent une idée générale sur l'infiltration des particules minérales, organiques et des micro-organismes vers la nappe (Rodier, 2009).

Les valeurs de la matière en suspension dans la nappe phréatique de la commune d'El Oued sont situées entre 0,5 et 71 mg.l⁻¹ (Figure 120), La valeur maximale est enregistrée au niveau du drain D39 (Ecole Mohamed serouti) à l'Est de la ville, et la minimale au niveau du drain D35 (Station 03 voisine de la direction de l'éducative). La teneur de la **MES** des eaux de la nappe traditionnelle est inférieure (≤ 30 mg.l⁻¹) à la norme dans la majorité de la ville d'El Oued.

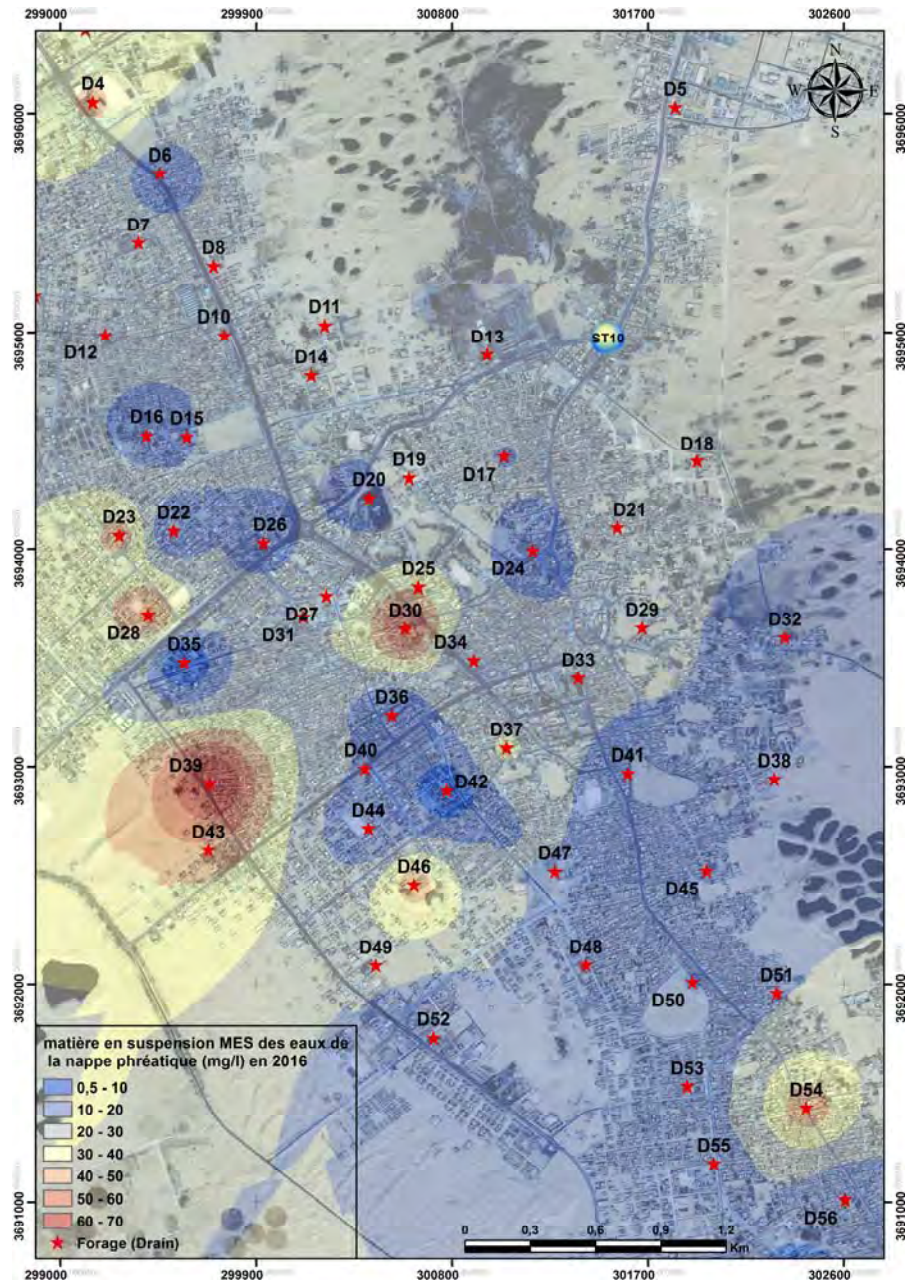


Figure 120. Carte de répartition de la MES en Mars 2016 des eaux de la nappe phréatique de la commune d'El Oued.

IV.5.2.5-La Variation spatiale des matières organiques et oxydables dans les eaux:

a) L'Oxygène dissous (O₂) des eaux de la nappe phréatique en Mars 2016 :

La présence d'oxygène dans l'eau est indispensable à la respiration des êtres vivants aérobies. L'oxygène de l'eau permet également le processus d'oxydation des matières organiques.

La concentration en oxygène dissous est un paramètre essentiel dans le maintien de la vie, et donc dans les phénomènes de dégradation de la matière organique et de la photosynthèse. C'est un paramètre utilisé essentiellement pour les eaux de surface. Au niveau de la mer à 20°C, la concentration en oxygène en équilibre avec la pression

atmosphérique est de $8,8 \text{ mg.l}^{-1}$ d' O_2 à saturation. Une eau très aérée est généralement sursaturée en oxygène, alors qu'une eau chargée en matières organiques dégradables par des micro-organismes est sous-saturée. En effet, la forte présence de matière organique, dans un plan d'eau par exemple, permet aux micro-organismes de se développer tout en consommant de l'oxygène (Montgomery M., 1964)

La carte de concentration d'Oxygène dissous O_2 (Figure 121), montre qu'il y a trois classes présentes dans la commune d'El Oued :

➤ Première classe de 2 à 5 mg.l^{-1} d' O_2 (En rouge) : zone caractérisée de faible à moyenne concentration d' O_2 dissous à l'Est de la commune d'El Oued, telles que la cité El Nour et une partie de la cité 17 octobre et El Garra-Ouest (Figure 121) ; Avec les points (drains) D10, D21, D27, D30, D54.

➤ Deuxième classe de 5 à 7 mg.l^{-1} d' O_2 (En vert) : cette classe est de moyenne à de forte concentration d' O_2 dissous, présente dans la majorité de la commune.

➤ Troisième classe de 7 à 8 mg.l^{-1} d' O_2 (En bleu) : classe de fortes à très forte concentration d' O_2 dissous, on remarque ici des zones au Sud de la commune caractérisées de forte concentration au niveau des drains D52 et D49 (zones d'irrigation) avec les points D55 (Résidence universitaire) et D56 (Ecole Touati Ahmed Mustapha1). Au centre de la commune d'El Oued au niveau du D42 (Château d'eau 300 logements) et D37 (CFPA III) avec les drains D46 (Ecole 300 logements) et D36 (Station 400 logements), nous avons enregistré une très forte concentration (Figure 121) avec le drain D22 (Espace vert cité Nour) à l'Est et D06 (Station 01 de Tiksebt).

L'oxygène dissous est un paramètre important utile dans le diagnostic biologique du milieu eau.

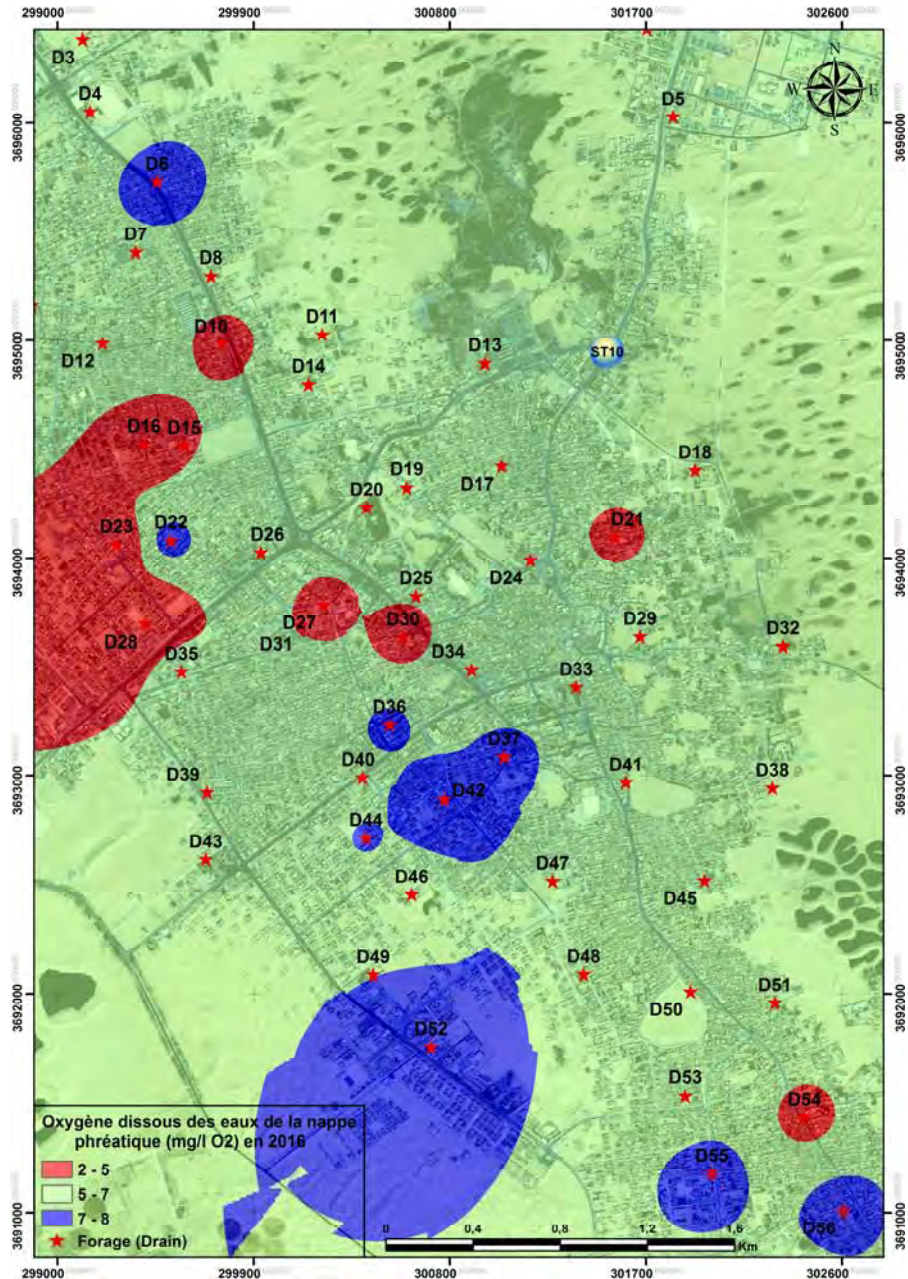


Figure 121. Répartition d'Oxygène dissous (O_2) des eaux de la nappe phréatique de la commune d'El Oued en Mars 2016.

b) Demande biochimique en oxygène (DBO_5) :

La DBO_5 ou Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours, représente la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour oxyder (dégrader) l'ensemble de la matière organique présente dans un échantillon d'eau maintenu à 20°C, à l'obscurité, pendant 5 jours.

La mesure de la DBO_5 est très utilisée pour surveiller les rejets et le fonctionnement des stations d'épuration. (Elle est trop peu précise pour qualifier les eaux naturelles).

La demande biochimique en oxygène (DBO_5) est une expression pour indiquer la quantité d'oxygène qui est utilisée pour la destruction de matières organiques décomposables par des processus biochimiques.

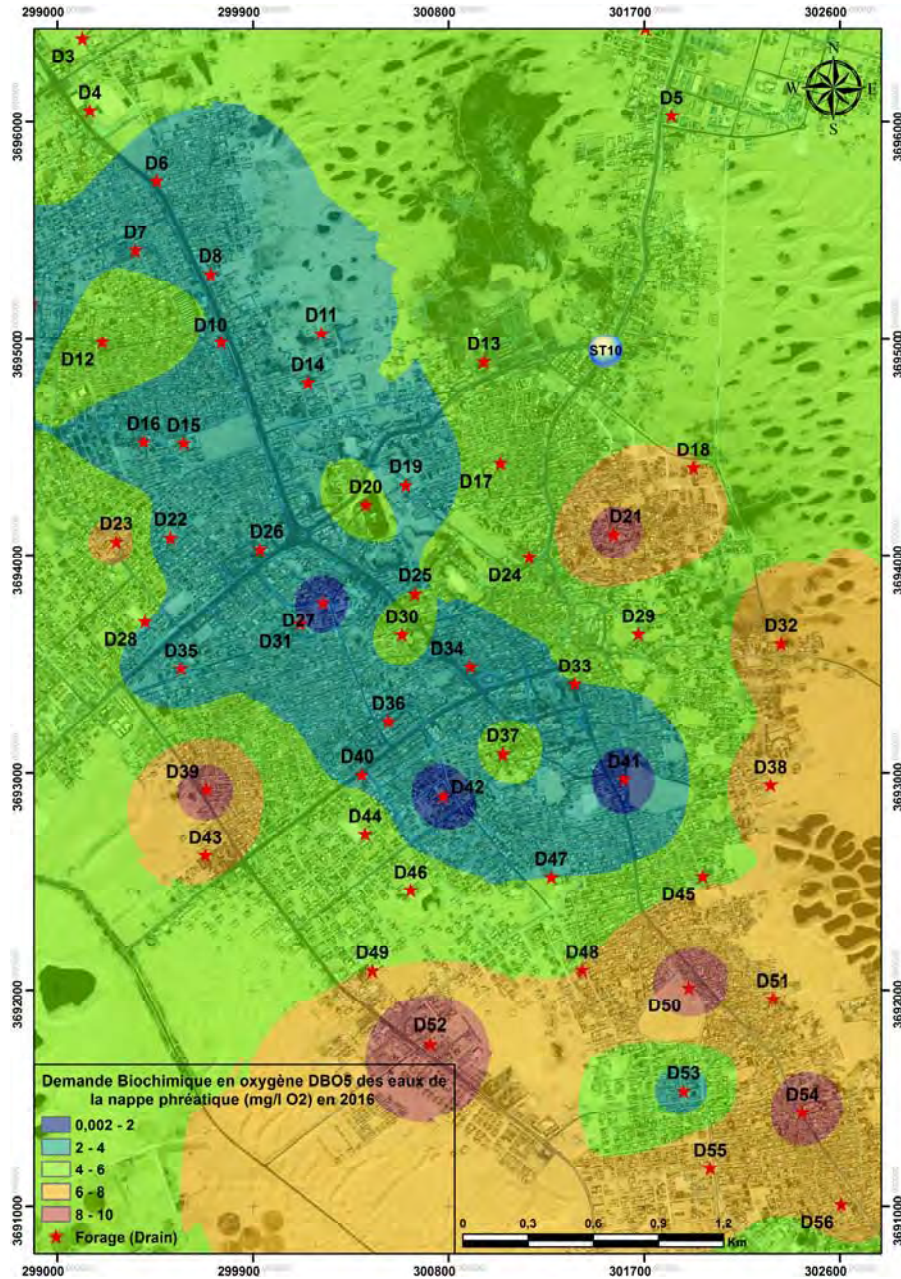


Figure 122. DBO_5 des eaux de la nappe phréatique de la ville d'El Oued en Mars 2016.

Les teneurs en DBO_5 , dans les eaux du système phréatique de la commune d'El Oued, sont très faibles à acceptables ($\leq 10 \text{ mg.l}^{-1} \text{ d'O}_2$). En effet les concentrations varient entre $0,002 \text{ mg.l}^{-1}$ à 10 mg.l^{-1} (Figure 122), dans la majorité de la ville d'El Oued ces concentrations ne dépassent pas 6 mg.l^{-1} . Où la nappe forme une bande par la classe de $0,002$ à 2 mg.l^{-1} et le classe 2 à 4 mg.l^{-1} (En bleu clair et bleu foncé), limitée du D47 (Annexe universitaire ElOued auparavant, cité Bab El Oued) et D41 (Ecole Ouinissi El

Hachmi, cité Ouled Ahmed) jusqu'au D06 (Station 01 TIKSEPT) au Nord-Est de la ville. Les fortes concentrations (Entre 6 et 10 mg.l⁻¹) sont enregistrées dans plusieurs points (D21, D39, D50, D52, D54) séparés (Figure 122).

c) Demande Chimique en Oxygène (DCO) des eaux de la nappe en mars 2016:

Contrairement à la **DBO₅**, qui ne prend en compte que les matières organiques biodégradables, la **DCO** est une mesure globale des matières organiques et de certains sels minéraux oxydables (pollution organique totale) présents dans l'eau. Cette technique mesure en laboratoire la quantité d'oxygène consommée par l'oxydation chimique (à l'aide d'un oxydant et à chaud, pendant 2 heures) des matières organiques ou minérales présentes dans l'eau. Le résultat est donné en mg.l⁻¹ d'O₂.

La demande chimique en oxygène (**DCO**) est la quantité consommée par les matières oxydantes présentes dans l'eau quelle que soit leur origine organique ou minérale. La mesure de la **DCO** est surtout utilisée pour la surveillance des eaux usées urbaines et industrielles.

La pollution par les matières organiques est provoquée par les rejets industriels (industries chimiques, pétrolières, agro-alimentaires, ...etc.) et les rejets des populations urbaines. L'importance de cette pollution dans un effluent peut être évaluée par la demande chimique en oxygène (**DCO**). La **DCO** permet d'apprécier la concentration en matières organiques ou minérales, dissoutes ou en suspension dans l'eau, au travers de la quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation chimique totale (Cheick T., 2007).

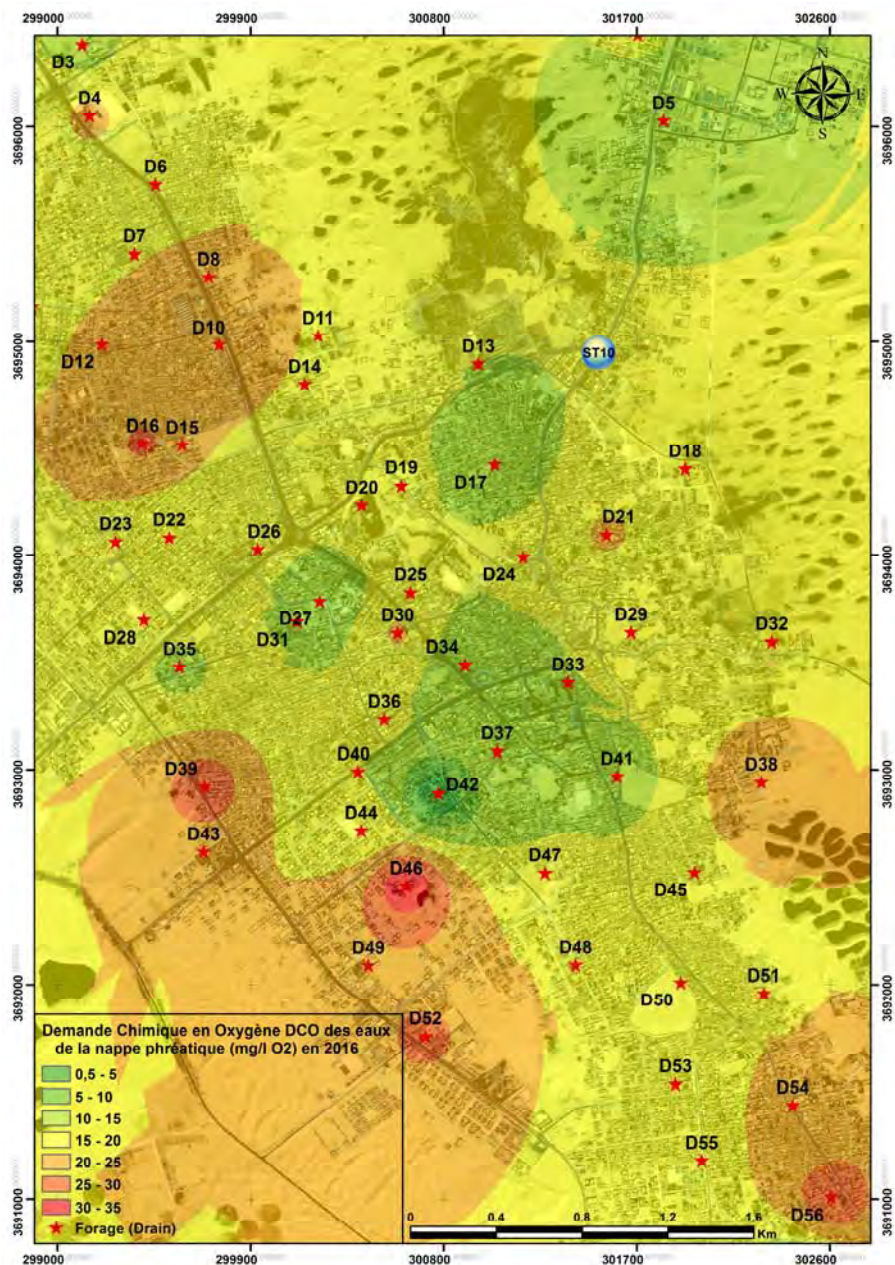


Figure 123. DCO des eaux de la nappe phréatique de la ville d'El Oued en Mars 2016.

Les valeurs de la **DCO** (Figure 123), dans les eaux de la nappe phréatique de la commune d'El Oued, sont très faibles à moyennes (≤ 35 mg.l⁻¹ d'O₂). Les concentrations varient entre 0,51 mg.l⁻¹ et 34 mg.l⁻¹, dans la majorité de la Commune d'El Oued, ces concentrations ne dépassent pas 20 mg.l⁻¹, la plus faible valeur enregistrée au niveau du drain D42 (Château d'eau 300 logements) par 0,51 mg.l⁻¹ et la valeur maximale au niveau du drain D46 (Ecole 300 logements) par 33,9 mg.l⁻¹.

d) Les Matières Oxydables (MO) des eaux de la nappe en 2016:

Défini par les agences de l'eau pour une évaluation globale d'une pollution organique des eaux usées dans un objectif de taxe à la pollution, le terme « matières oxydables » (MO) correspond à une moyenne pondérée des 2 paramètres globaux DCO et DBO₅, en attribuant un coefficient double à la DBO₅ (Rodier, 2009).

La relation empirique suivante lie la DBO₅, la DCO et la matière organique de l'échantillon (MO) :

$$MO = \frac{(2DBO_5 + DCO)}{3}$$

L'oxydabilité est une mesure similaire à la DCO, utilisée dans le cas de faible concentration en matière organique (DCO < 40 mg/l d'O₂). L'oxydant requis est le permanganate de potassium (Rodier, 2009). Comme la DCO et la DBO₅, les Matières Oxydables (MO) s'expriment en g/L (ou en mg/L d'O₂) d'oxygène O₂.

Dans les effluents urbains, les matières oxydables représentent une charge polluante importante et elles sont prises en compte dans la définition de l'équivalent habitant. Mais ce paramètre s'avère également très utile pour évaluer la charge polluante d'établissements industriels, et selon la branche d'activité, il permet d'étudier les possibilités de raccordement de cet établissement industriel à un réseau d'assainissement communal (Rodier, 2009).

Les teneurs en Matières Oxydables MO (Figure 124), dans les eaux de la nappe phréatique de la commune d'El Oued, sont très faibles à très forte concentration. Les concentrations varient entre 0,17 mg.l⁻¹ et 15,2 mg.l⁻¹ d'O₂. Dans la plupart de la ville d'El Oued, ces concentrations ne dépassent pas la norme (< 8 mg.l⁻¹), la plus faible valeur enregistrée au niveau du drain D42 (Château d'eau 300 logements) par 0,17 mg.l⁻¹ d'O₂ et la valeur maximale au niveau du drain D52 (DRH, Sud de la ville) par 15,2 mg.l⁻¹ d'O₂. On remarque dans la carte de Matières Oxydables des eaux de la nappe phréatique de la ville d'El Oued, que la partie Sud de la ville caractérisée par de fortes concentrations de MO présentées par les classes de 10 à 12 mg.l⁻¹ d'O₂, 12 à 14 mg.l⁻¹ d'O₂ et la classe 14 à 16 mg.l⁻¹ d'O₂. La forte teneur en MO, à ces endroits, est due au fait que les habitants utilisent les fosses septiques (perdues) en parallèle avec le réseau d'assainissement collectif.

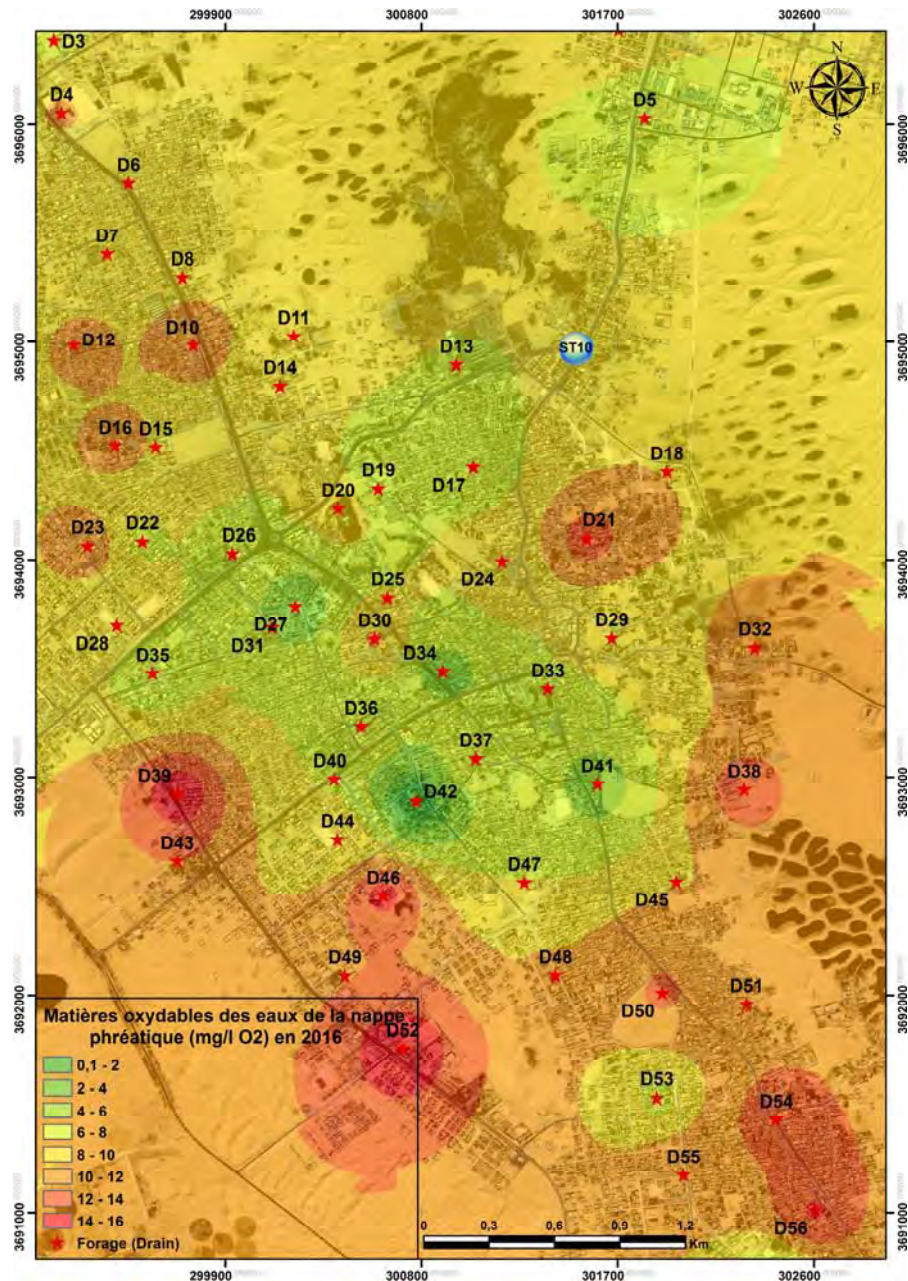


Figure 124. MO des eaux de la nappe phréatique de la ville d'El Oued en Mars 2016.

e) Le Carbone Organique Total (COT) des eaux de la nappe en Mars 2016 :

COT est le Carbone Organique Total dissous dans l'eau, Le principe de la mesure repose sur l'oxydation des composés carbonés contenus dans les eaux en les transformant en dioxyde de carbone (CO₂) qui est ensuite dosé à l'aide d'un analyseur infrarouge. Le carbone d'origine inorganique étant éliminé préalablement par dégazage en milieu acide, la détermination conduit directement à la teneur en carbone organique de l'échantillon (Rodier, 2009).

Le COT (Carbone Organique Total) est l'un des plus importants paramètres composites dans l'évaluation de la pollution organique de l'eau. Comme il inclut tous les

composés carbonés en une seule masse, il est exactement défini et représente une quantité absolue.

Le COTmètre permet la quantification du **Carbone Total (CT)** et du **Carbone Inorganique (CI)** d'une eau préalablement filtrée. Le **CT** est mesuré par un détecteur infrarouge, après oxydation à haute température (680°C) du carbone en CO₂. Le **CI** est extrait par purge gazeuse de l'eau acidifiée puis analysée par le même détecteur. Le **COT**, exprimé en mg de C/L, est alors déterminé par soustraction du **CI** au **CT**.

Le terme **Carbone Organique Total (COT)** est utilisé pour décrire la teneur en contaminants organiques à base de carbone présents dans les systèmes de purification d'eau. Une contamination organique peut avoir plusieurs origines. En effet, les matières organiques sont des composés tels que le sucre, le saccharose, l'alcool, le pétrole, le ciment, PVC, les dérivés à base de plastique, etc.

D'après Kebiche (1999) les normes admises algériennes du **Carbone Organique Total** dans les eaux de rejet sont inférieures à 6 mg.l⁻¹, et d'après l'**Organisation Mondiale de la Santé** la norme du **COT** dans les eaux naturelle ne dépasse pas 2 mg.l⁻¹.

Les valeurs de **Carbone Organique Total** enregistrées dans les eaux de la nappe phréatique (Figure 125) varient de 0,19 à 10,4 mg.l⁻¹, et la majorité de la surface de la commune présente une teneur de **COT** supérieur à la norme (≥ 2 mg.l⁻¹) (présentée dans la carte par les classes 2-4, 4-6, 6-8 et 8-10) dû au taux de raccordement du réseau d'assainissement et l'ancien réseau d'assainissement dans quelques points surtout les cités El-Garra-Ouest (Nord-Est de la ville). Les drains D41 El (Ecole Ouinissi Hachmi) et D42 (Château d'eau 300 logements) (Figure 125) présentent des valeurs (1,24 mg.l⁻¹, 0,19 mg.l⁻¹ respectivement) inférieurs à la norme (≤ 2 mg.l⁻¹).

Donc on peut dire que la présence du carbone organique au niveau de la nappe phréatique indique une contamination d'origine organique.

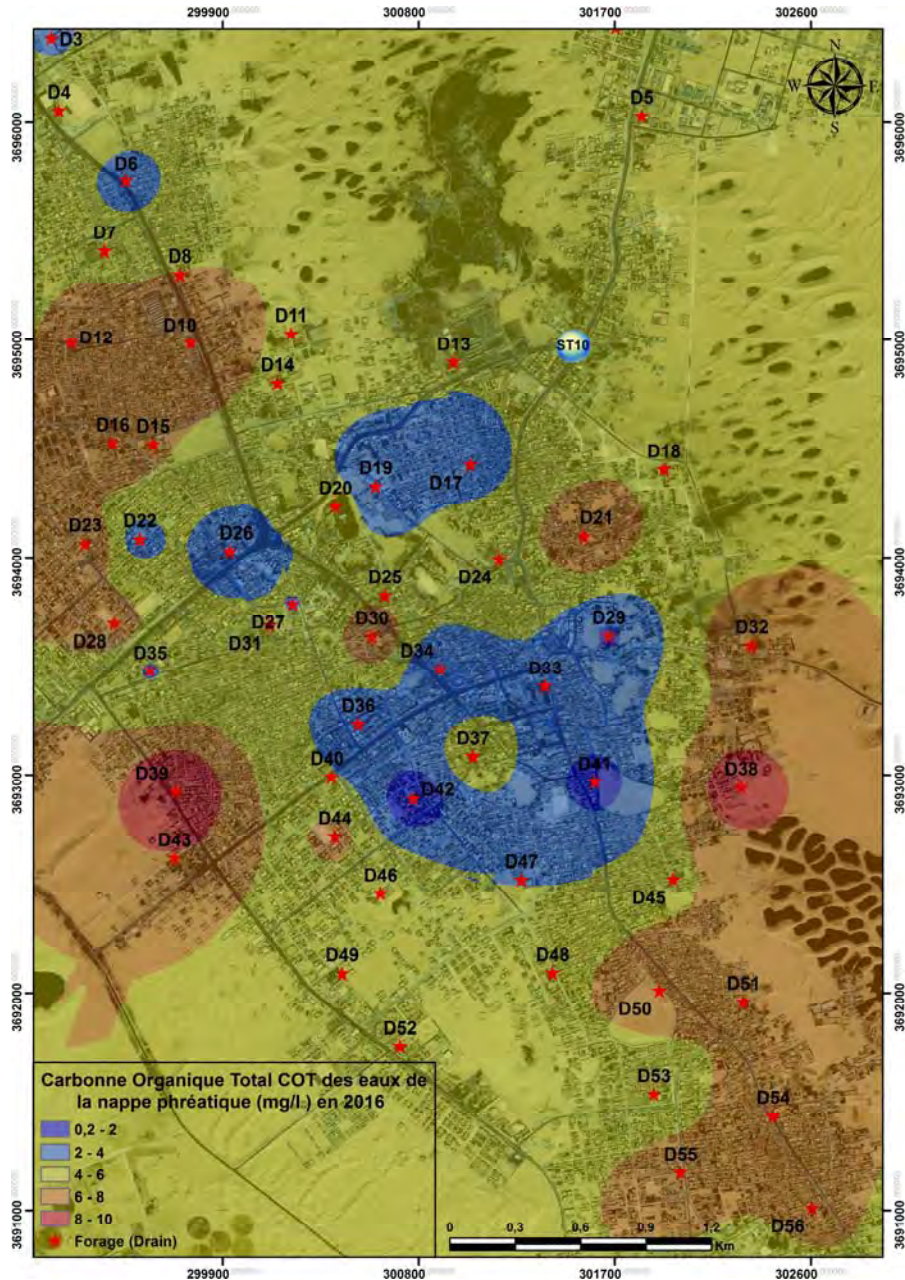


Figure 125. COT des eaux de la nappe phréatique de la ville d'El Oued en Mars 2016.

IV.5.2.6-Variation des matières azotées dans les eaux de la nappe de la ville:

a) L'azote ammoniacal (NH_4^+) des eaux de la nappe phréatique en Mars 2016 :

Les concentrations d'ammoniaque dans les fleuves et les réservoirs d'eau potable indiquent la présence de pollution agricole et urbaine. Une haute concentration d'ammoniaque peut changer l'odeur et le goût de l'eau.

L'azote ammoniacal est assez souvent rencontré dans les eaux et traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique (Rodier, 2009; Derradji *et al.*, 2005; Polan *et al.*, 1998).

La présence d'azote ammoniacal dans la nappe phréatique doit être soulignée, une origine géologique est exclue, cette pollution azotée peut provenir soit des fertilisants utilisés dans les périmètres irrigués, soit d'une contamination par les matières organiques humaines (Chippaux et *al.*, 2002). L'habitude a été prise de désigner sous le vocable ammoniac des formes ionisées (NH_4^+) et non ionisées (NH_3). L'azote ammoniacal est assez souvent rencontré dans les eaux et traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique.

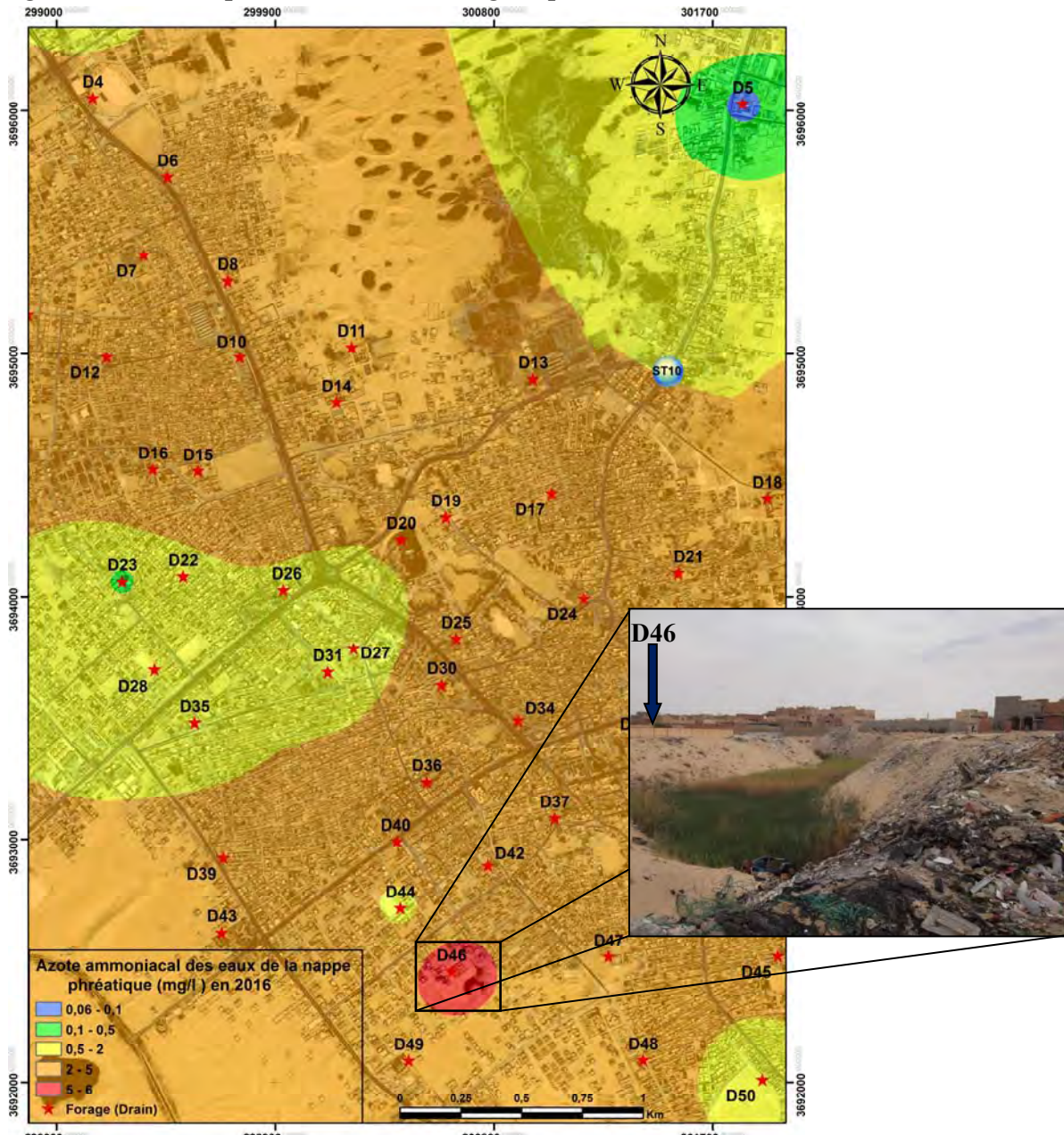


Figure 126. Azote ammoniacal (NH_4^+) des eaux de la nappe phréatique de la ville d'El Oued en Mars 2016.

La majorité des teneurs en azote ammoniacal (NH_4^+) des eaux de la nappe traditionnelle de la commune d'El Oued ont dépassé la norme ($\leq 0,5 \text{ mg.l}^{-1}$), qui

présentées dans la carte (Figure 126) par les couleurs des classes jaune, orange et rouge. La valeur maximale enregistré au niveau du drain D46 (Ecole 300 logements) par une valeur de 6,05 mg.l⁻¹, dû que le ghout à proximité du drain D46 considéré comme un point de décharge public et point de rejet des eaux domestiques, malgré qu'il soit dans le centre-ville d'El Oued. On remarque ici dans la carte (Figure 126) qu'il y a une zone caractérisée des eaux à faible teneur en NH⁴⁺ (de 0,06 à 0,5 mg.l⁻¹) localisée autour du drain D05 (parc de wilaya) au Nord-Est de la ville.

b) La variation spatio-temporelle de Nitrite (NO₂⁻) des eaux de la nappe :

D'après l'OMS, le nitrite est extrêmement toxique pour les animaux car il bloque la fixation et le transport d'oxygène par l'hémoglobine du sang. (Il ne doit pas y avoir de nitrite dans l'eau potable). L'effet de toxicité des nitrites est plus rapide que par celle de l'ammoniaque, car elle entraîne la dégradation de l'hémoglobine des globules rouges.

L'Organisation Mondiale de la Santé a clarifié aussi que les nitrites réagissent avec l'hémoglobine dans les érythrocytes pour former la méthémoglobine, affectant la capacité du sang à transporter suffisamment d'oxygène jusqu'aux cellules de l'organisme. Les nouveau-nés âgés de moins de trois mois nourris au biberon sont particulièrement menacés. L'hémoglobine des nouveau-nés est plus sensible et l'affection est aggravée par une infection gastro-intestinale. Les personnes plus âgées courent également un risque du fait de la diminution de la sécrétion d'acide gastrique.

La carte de taux de nitrite en Mars 2011 (Figure 127) caractérisée de dépassement de la norme, dans la majorité du surface de la commune d'El Oued (> 0,1 mg.l⁻¹). Où presque les 70 % de la surface de la ville la teneur de nitrite varie entre 0,1 mg.l⁻¹ à d'environ 3 mg.l⁻¹. Les valeurs maximales enregistrées au niveau des drains : D51 (Ecole Maraghni Khalifa Sahane I) au Sud-Est de la ville d'El Oued (Figure 127) par une teneur de 2,84 mg.l⁻¹, et le drain D09 (Ecole Nouvelle Tiksebt Ouest) au Nord-Ouest de la commune par 2,16 mg.l⁻¹. Les zones enregistrées une teneur inférieure ou égale à la norme (≤0,1 mg.l⁻¹), sont :

- La partie Nord-Est de la commune les drains D05 (Parc Wilaya) par une teneur de 0,01 mg.l⁻¹ et D02 (Ecole Hazla Tahar) de valeur 0,02 mg.l⁻¹. Et au Nord-Ouest de la ville ont enregistré une trace de nitrite (≤10⁻⁴ mg.l⁻¹) autour du drain

D03 (CM Taksebt Nord) et une concentration de $0,026 \text{ mg.l}^{-1}$ au niveau du drain D04 (Complexe sportif Tiksebt).

➤ Centre-ville d'El Oued, au niveau des drains : D17 (Mosquée El Kauthar) cité Nezla par une concentration de $0,07 \text{ mg.l}^{-1}$, D19 (Ecole Djbeli djbeli) avec une teneur $0,05 \text{ mg.l}^{-1}$ et le drain D20 (Hotel LOUSS) par $0,01 \text{ mg.l}^{-1}$ de nitrite. Avec une trace ($\leq 10^{-4} \text{ mg.l}^{-1}$) de nitrite au niveau du drain D15 (Ecole pratique A/Ayadi), et une concentration de $0,086 \text{ mg.l}^{-1}$ autour du drain (Figure 127).

➤ La partie Sud de la commune d'El Oued, nous avons enregistré au niveau du drain D39 (Ecole Mohamed Serouti) une teneur de $0,02 \text{ mg.l}^{-1}$, et $0,08 \text{ mg.l}^{-1}$ pour le drain D43 (Hôtel des Finances) avec le drain D37 (CFPA 3) de teneur nitrite $0,07 \text{ mg.l}^{-1}$ et le drain D52 (DRH, El Oued) de concentration faible de $0,01 \text{ mg.l}^{-1}$ de nitrite.

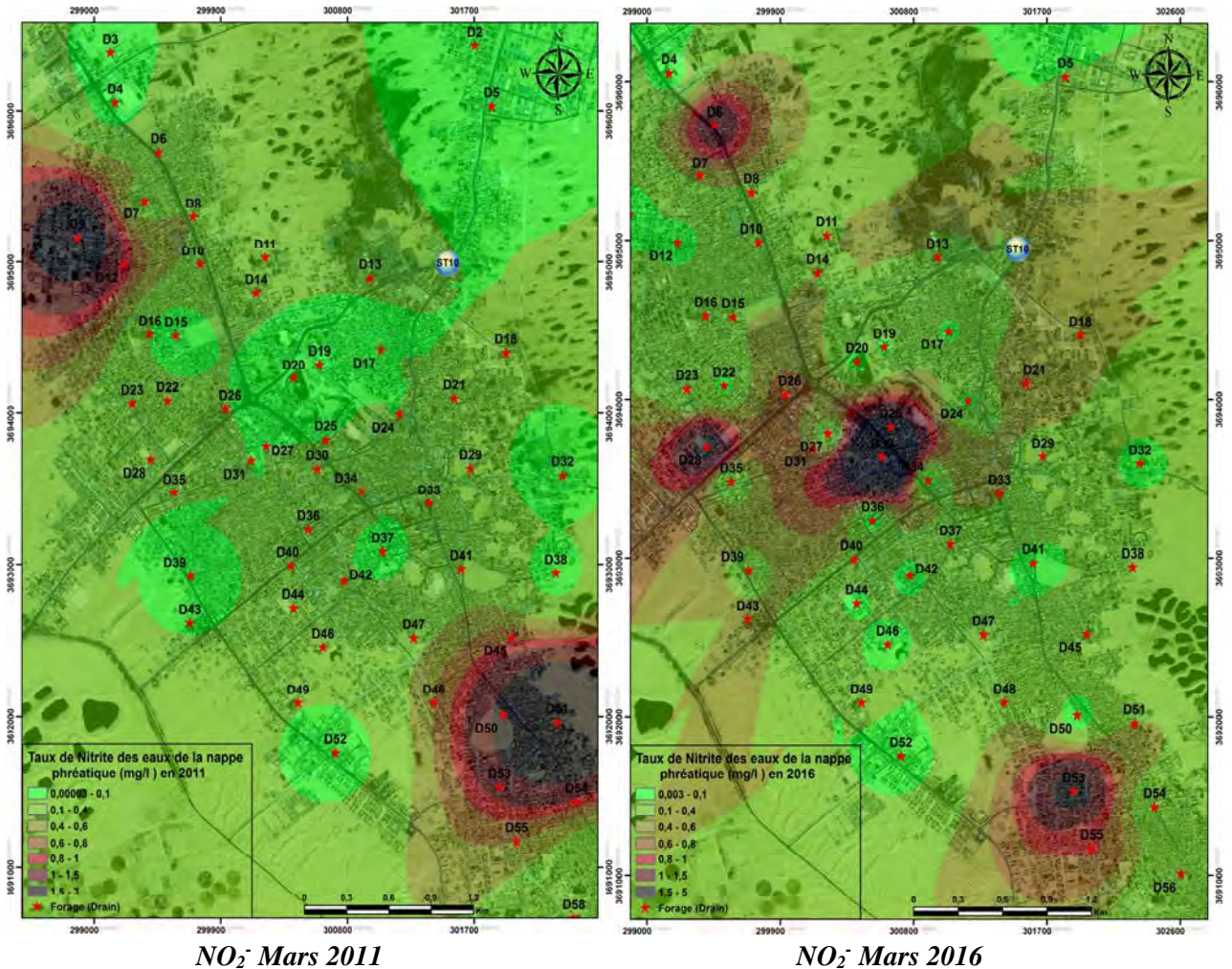


Figure 127. La Variation spatio-temporelle de Nitrite (NO_2^-) des eaux de la nappe phréatique de la commune d'El oued entre Mars 2011 et Mars 2016.

➤ A l'Est de la ville d'El Oued, le drain D32 (Château d'eau Sidi Mestour) enregistre une valeur de 0,01 mg.l⁻¹ de nitrite et le drain D38 (CM Bachir DjabAllah) de teneur de 0,02 mg.l⁻¹ (Figure 127).

Pour la carte de taux de nitrite des eaux de la nappe traditionnelle en 2016 donne un autre scénario, dans la majorité du surface de la commune d'El Oued (> 0,1 mg.l⁻¹). Où presque les 90 % de la surface de la ville la teneur de nitrite varie entre 0,1 mg.l⁻¹ à d'environ 5 mg.l⁻¹. Les valeurs maximales enregistrées au niveau des drains : D30 (APC El Oued) au centre de la ville d'El Oued (Figure 127) par une teneur de 2,84 mg.l⁻¹, dû des travaux d'aménagement le ST-06 (APC El Oued) où pendant les travaux au février 2016 nous avons enregistrée une grande fuite des eaux usées de la bêche à eau de la station.

Dans le drain D06 (Station 01 Tiksebt) au Nord-Est de la commune d'El Oued le teneur de nitrite est 1,24 mg.l⁻¹ et à l'Est de la ville le drain D28 (CM Ahmed Tidjani 17 Octobre) de taux de nitrite 1,81 mg.l⁻¹, au Sud-Est de la commune d'El Oued le taux de nitrite enregistrée est 1,85 mg.l⁻¹ au niveau de drain D53.

c) La variation spatio-temporelle de Nitrate (NO₃⁻) des eaux de la nappe :

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique. Leur présence dans une eau polluée atteste que le processus d'autoépuration est déjà entamé. L'activité humaine accélère le processus d'enrichissement en cet élément sur les sols subissant l'érosion, ce qui provoque l'infiltration des eaux usées, par les rejets des industries minérales et d'engrais azoté.

L'OMS a éclairci que les nitrates (NO₃⁻) soient énormément moins toxiques nocifs que les nitrites, il ne doit pas y en avoir plus de 50 mg.l⁻¹ dans l'eau du robinet. En effet une fois consommés, ils peuvent évoluer en nitrites dans l'estomac puis se transformer en nitrosamines toxiques et réputées cancérigènes.

La vulnérabilité d'une nappe phréatique aux nitrates dépend des propriétés du sol, en particulier de sa perméabilité ainsi que des propriétés de l'aquifère (variation de la hauteur de la nappe, taux de recharge, vitesse de percolation,...etc (Iain R., et *al.*, 2003).

Les nitrates (NO₃⁻) proviennent essentiellement des pesticides et des engrais chimiques et organiques utilisés dans les régions agricoles. Ils rejoignent la nappe à travers l'infiltration des eaux de pluie et d'irrigation.

En Mars 2011 les teneurs de nitrate (Figure 128) dans la commune d'El Oued varient de 1,50 à 97,19 mg.l⁻¹, avec une moyenne 39,68 mg.l⁻¹ de nitrate. Dans la majorité de la ville (environ 70 % de la surface de commune) la concentration de nitrate ne dépasse pas la norme (≤ 50 mg.l⁻¹), et pour les zones caractérisées de teneurs dépassant la norme sont :

- Au Nord-Est de la ville, au niveau du drain D05 (parc wilaya) nous avons enregistré une valeur de 57,56 mg.l⁻¹ de NO₃⁻, à proximité de l'abattoir communale.
- Au Nord-Ouest de la commune d'El Oued (Figure 128), au niveau du drain D09 (Ecole Nouvelle Tiksebt Ouest) présente une teneur 62,94 mg.l⁻¹ de nitrate.
- Au niveau du drain D19 (Ecole Djbeli djbeli) par une concentration de nitrate 64,65 mg.l⁻¹, et le drain D17 (Mosquée El Kautar) de teneur 51,46 mg.l⁻¹ de nitrate.

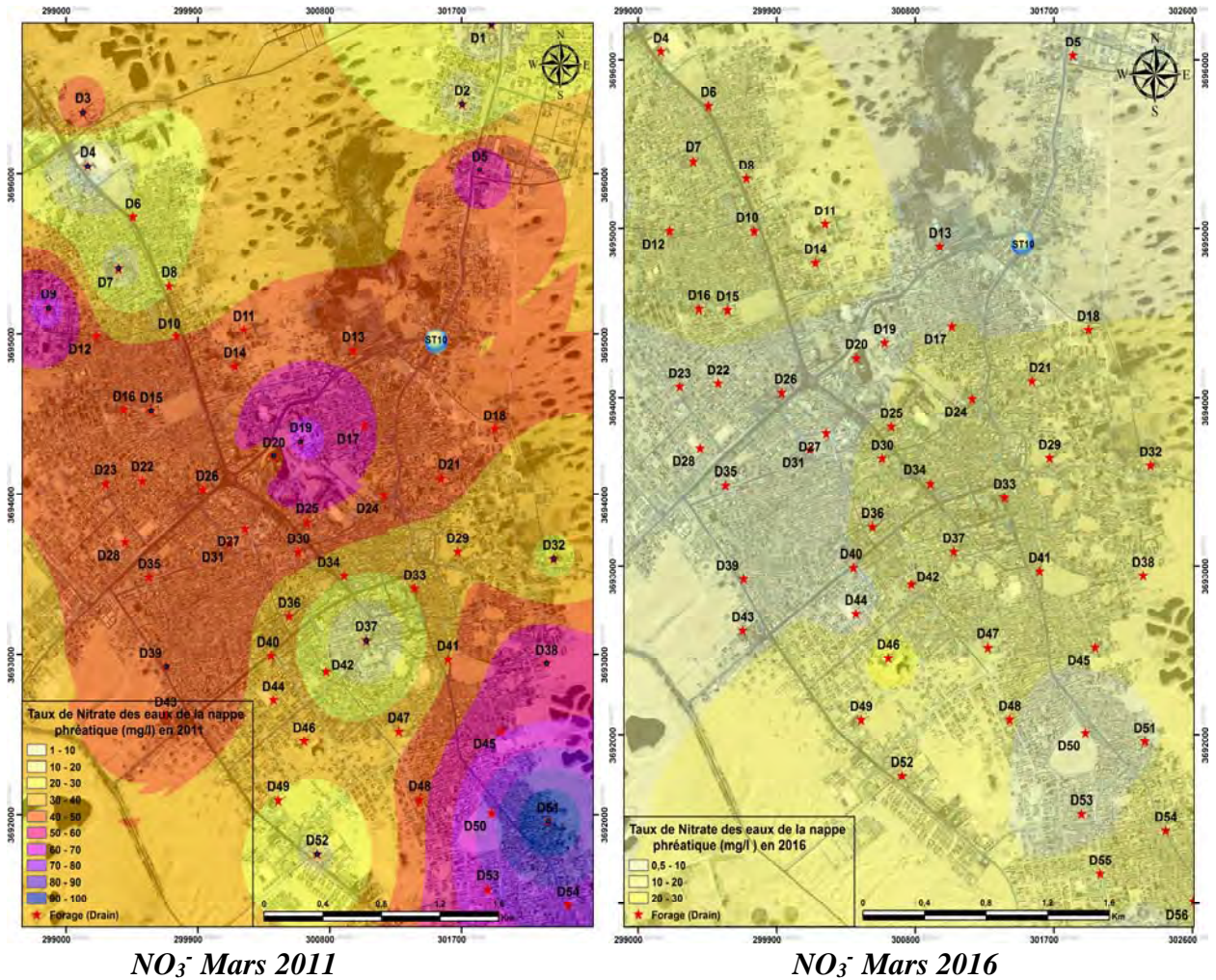


Figure 128. La Variation spatio-temporelle de Nitrate (NO₃⁻) des eaux de la nappe phréatique de la commune d'El oued entre Mars 2011 et Mars 2016.

➤ Les valeurs les plus élevées de nitrate localisées au Sud-Est de la commune, exactement (Figure 128) au niveau du drain D51 (Ecole Maraghni Khalifa Sahane I) par une teneur de 97,19 mg.l⁻¹. Où dans cette zone la contamination par le nitrate forme un cercle de diamètre d'environ 850 mètres, c'est-à-dire une surface d'environ 2,27 km² avec une teneur moyenne de nitrate de 74,5 mg.l⁻¹. Toutes ces valeurs inacceptables arrivent d'une seule source ; ce sont les eaux usées domestiques infiltrées par les fosses perdues.

La carte de distribution du taux de nitrate des eaux de la nappe phréatique de la commune d'El Oued en Mars 2016 (Figure 128), présente un autre scénario différent de ce qu'on a vu dans l'année 2011 :

➤ La première différence et l'essentielle entre les deux années est que la commune d'El Oued en Mars 2011 couverte partiellement par un réseau d'assainissement collectif et la majorité de l'agglomération évacue ses eaux usées domestiques par les fosses septiques (Fosses perdues), par contre en Mars 2016 la commune d'El Oued équipée par un réseau d'assainissement collectif, où d'après l'ONA d'El Oued que le taux de raccordement au réseau d'assainissement est plus de 98 %.

➤ Deuxième différence est que les classes de teneurs supérieures >30 mg.l⁻¹ de NO₃⁻ ont disparu dans la carte de nitrate en Mars 2016. Où la concentration de nitrate varie de 0,26 à 24,2 mg.l⁻¹ avec une teneur moyenne de 9,77 mg.l⁻¹ de nitrate, la valeur maximale enregistrée au niveau du drain D46 (Ecole 300 logements) au Sud de la ville d'El Oued, et la valeur minimale dans le drain D05 (parc wilaya) au Nord-Est de la commune (Figure 128).

On peut dire ici que la rentabilité du réseau d'assainissement est claire et nette présentée dans le changement de la qualité des eaux de la nappe phréatique de la ville d'El Oued vers le mieux.

Conclusion :

Avant 2012 le réseau d'assainissement couvrir partiellement la commune d'El Oued par d'environ 73,7 km, 23 km en service et le reste abandonné. La pratique de la fosse perdue est privilégiée pour les 18 communes du Souf qui totalisent 36 265 fosses.

D'après les études de plusieurs bureaux d'études, sont arrivés que les principales solutions pour remédier la région du Souf de phénomène de la remontée des eaux de la nappe phréatique sont :

➤ *Création de ceinture d'évapotranspiration* : englobant quatorze (14) communes sur une longueur de 150 km, une surface qui atteint 350 ha, avec 21 espaces ou surfaces vertes soit une surface de 630 ha. Avec 250 puits pour l'irrigation.

➤ *Plantation d'un réseau d'assainissement et le réseau de drainage vertical* :

Les réseaux de collecte prévus possèdent une longueur d'environ 820 km avec 62 stations de pompage, le tout étant réparti entre les différentes communes.

D'après l'ONA d'El Oued, L'assainissement autonome de 06 localités consistant en 542 puits de prétraitement précédés chacune fosse septique. L'assainissement individuel qui consiste à traiter les effluents au niveau de chaque habitation.

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

-Le système d'assainissement individuel (fosse septique, puits d'infiltration) ;

-Le lagunage aéré

Le regroupement des communs conduits à des capacités de traitement importantes. Les ensembles (Stations) raccordés par un réseau de quatre (4) stations d'épuration. Les STEP souffrent de rejet des lavages auto, où d'avant l'apparition des couches des graisses le rendement épuratoire des STEP atteignait les 95 %, et après l'apparition des couches, le rendement diminue jusqu'à 65 % !

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, il a été mis en service en octobre 2011.

Les eaux traitées et les eaux de drainage dirigées vers le Nord du Souf, 45 km Nord de la commune d'El Oued, qui forme aujourd'hui un lac de 10,67 km².

❖ D'après les campagnes de mesures nous avons arrivée d'extrait les cartes des niveau piézométriques, statiques et les carte de qualité des eaux de la nappe traditionnelle

du Souf. Nous avons remarqué de côté piézométrique que le niveau des eaux de la nappe phréatique de la commune d'El Oued est abaissé d'environ 50 cm ; c'est-à-dire que le réseau de drainage verticale atteindre 50 % de leur but.

De côté qualitative, les cartes extrait montre que la qualité des eaux de la nappe phréatique de la commune d'El Oued est mieux d'avant, avant l'installation de réseau d'assainissement collectif. C'est-à-dire que les citoyennes faites la confiance dans le réseau d'assainissement et ils abondances les fosses perdues qui charge la nappe par les polluants.

Synthèse Générale
Et
Conclusion

« *En buvant l'eau du puits, n'oubliez pas ceux qui l'ont creusé* » Ce proverbe signifie que si l'on utilise quelque chose, il faut aussi rendre hommage à ceux qui ont rendu possible notre jouissance.

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 des eaux du drainage et des eaux résiduaires urbaines.

Comme nous l'avons mentionné au début de cette étude, le système Ghout est un aménagement hydroagricole d'origine Soufi. C'est une technique qui s'adapte aux régions dunaires. Le Ghout de forme d'un cratère permet au palmier de s'autoalimenter par les eaux souterraines. C'est ainsi que des milliers de palmiers dattiers se sont développés au cours des siècles. Selon la nature du sol et l'hydrogéologie du site, trois types de Ghouts ont été inventés par les Soufis.

L'accroissement des besoins en eau dans l'oasis, dû à l'accroissement de l'agglomération et à l'intensification agronomique, a conduit à un recours de plus en plus important de l'exploitation des nappes d'eau souterraines. L'exploitation intensive et irrationnelle des nappes profondes : le Continental Intercalaire et le Complexe Terminal ont provoqué vers les années quatre-vingt la remontée de la nappe dans toute la région du Souf. 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.

Dans notre étude nous avons présenté un panorama sur la vie de la nappe traditionnelle dans la région d'Oued Souf, où nous avons trouvé qu'il y a des solutions proposées pour sortir de cette situation critique ; Un mégaprojet a été réalisé par les services publics pour atténuer l'effet de la remontée. C'est-à-dire il y a la possibilité de façonner aujourd'hui un nouveau paysage Soufi dans toutes ces contraintes. Il s'agit d'épurer les eaux usées pour ensuite les refouler avec celles de drainage vers le Chott au Nord du Souf, 45 km de la commune d'El Oued.

Pour la solution biologique (ceinture verte) on peut dire qu'il est compatible avec la région du Souf où les eaux stagnent, mais il y a des points noirs dans la réalisation de la ceinture, c'est le problème de la décharge publique (matériaux de construction, décharges

solides...etc.), donc il faut l'entretien de cette pompe biologique par les pouvoirs publics, par la sensibilisation des citoyens pour conserver cet ouvrage.

Le réseau d'assainissement est considéré comme un nouvel espoir de la région du Souf pour sortir de cette situation. Après plus de cinq ans en service on peut sentir un changement positif dans le secteur de la gestion des eaux, notre vision est basée sur des résultats des missions et des campagnes de mesures.

Les résultats qui confirment nos paroles sont les cartes des qualités des eaux de la nappe phréatique avant et après l'installation du réseau d'assainissement collectif dans les zones urbaines menacées. Pour notre étude on a concerné la commune d'El Oued malgré qu'il y a d'autres communes équipées aussi de réseaux d'assainissement collectif, pour quoi ? tout simplement parce que c'est le chef-lieu de wilaya.

✓ **Primo** : C'est la commune la plus urbanisée et la mieux aménagée par rapport aux autres.

✓ **Deuxièmement** : Le collecteur principal (Φ 700) qui passe par la commune d'El Oued collecte les débits des eaux usées des trois communes Robbah-Bayadha-El Oued vers le SPUE I. C'est-à-dire s'il y a des changements dans la qualité des eaux de la nappe phréatique de la commune d'El Oued par conséquent il y a de changement pour les autres communes (Théoriquement).

✓ **Troisièmement** : Ce point est divisé en deux parties : côté technique, où l'on ne peut pas créer une base de données par 50 points où 70 points dans une zone d'étude de surface 50370 km² pour extraire les cartes, parce que comme nous connaissons dans la science des statistiques, lorsque le nuage des points (base des données) est plus grand les résultats serait plus représentatifs. Côté économique, si on a une base des données de 100 ou plus de 150 points de mesures il n'y a pas de laboratoire qui puisse faire toutes ces analyses pour tous ces points.

* Donc, les résultats que nous avons obtenus sont comme suit :

Les valeurs de température des eaux des nappes phréatiques de la commune d'El Oued oscillent entre 17 et 26 °C avec une moyenne de 21,5 °C.

Pour la conductivité des eaux de la nappe phréatique, On remarque des différences entre les deux cartes de conductivité des mois de Mars 2011 et Mars 2016. Où la conductivité moyenne des eaux de la nappe a augmenté.

Le taux de **TDS** des eaux de la nappe traditionnelle de la commune d'El Oued a enregistré une augmentation pour la valeur moyenne de **TDS** par rapport à la période précédant l'installation du réseau d'assainissement.

Les valeurs de la **MES** dans la nappe phréatique de la commune d'El Oued sont situées entre 0,5 et 71 mg.l⁻¹. La teneur de la **MES** des eaux de la nappe traditionnelle est inférieure (≤ 30 mg.l⁻¹) à la norme dans la majorité de la ville d'El Oued.

Les teneurs en **DBO₅**, dans les eaux du système phréatique de la commune d'El Oued, sont très faibles à acceptables (≤ 10 mg.l⁻¹ d'O₂). En effet les concentrations varient entre 0,002 mg.l⁻¹ et 10 mg.l⁻¹, dans presque toute la ville d'El Oued ces concentrations ne dépassent pas 6 mg.l⁻¹. Pour les valeurs de la **DCO** dans les eaux de la nappe phréatique de la commune d'El Oued, elles sont de très faibles à moyennes (≤ 35 mg.l⁻¹ d'O₂). Les concentrations varient entre 0,51 mg.l⁻¹ et 34 mg.l⁻¹, dans la plupart des points de la Commune d'El Oued, ces concentrations ne dépassent pas 20 mg.l⁻¹.

Dans les effluents urbains, les matières oxydables représentent une charge polluante importante et elles sont prises en compte dans la définition de l'équivalent habitant. Les teneurs en **Matières Oxydables MO**, dans les eaux de la nappe phréatique de la commune d'El Oued, sont de très faibles à très fortes concentration. Les concentrations varient entre 0,17 mg.l⁻¹ et 15,2 mg.l⁻¹ d'O₂. Dans la grande partie de l'étendue de la ville d'El Oued, ces concentrations ne dépassent pas la norme (< 8 mg.l⁻¹).

Les valeurs de **Carbone Organique Total** enregistrées dans les eaux de la nappe phréatique varient de 0,19 à 10,4 mg.l⁻¹, et la majorité de la surface de la commune présente une teneur de **COT** inférieure à la norme (≤ 6 mg.l⁻¹). Les cités du Sud-Est, l'Ouest et Nord-Est de la commune présentent des valeurs supérieures à la norme, ceci est dû au taux de raccordement du réseau d'assainissement et l'ancien réseau d'assainissement dans quelques points surtout les cités El-Garra-Ouest (Nord-Est de la ville).

La majorité des teneurs en azote ammoniacal (NH⁴⁺) des eaux de la nappe traditionnelle de la commune d'El Oued ont dépassé la norme ($\leq 0,5$ mg.l⁻¹), qui présentées dans la carte par les couleurs des classes jaune, orange et rouge.

En Mars 2011 les teneurs de nitrate dans la commune d'El Oued varient de 1,50 à 97,19 mg.l⁻¹, avec une moyenne 39,68 mg.l⁻¹ de nitrate. Dans la majorité de la ville (environ 70 % de la surface de commune) la concentration de nitrate ne dépasse pas la

norme ($\leq 50 \text{ mg.l}^{-1}$). Et pour la carte de distribution du taux de nitrate des eaux de la nappe phréatique de la commune d'El Oued en Mars 2016, présente un autre scénario différent de ce qu'on a vu dans l'année 2011 :

➤ La première différence et l'essentielle entre les deux années est que la commune d'El Oued en Mars 2011 couverte partiellement par un réseau d'assainissement collectif et la majorité de l'agglomération évacue ses eaux usées domestiques par les fosses septiques (Fosses perdues), par contre en Mars 2016 la commune d'El Oued équipée par un réseau d'assainissement collectif, où d'après l'ONA d'El Oued que le taux de raccordement au réseau d'assainissement est plus de 98 %.

➤ Deuxième différence est que les classes de teneurs supérieures $>30 \text{ mg.l}^{-1}$ de NO_3^- ont disparu dans la carte de nitrate en Mars 2016. Où la concentration de nitrate varie de 0,26 à 24,2 mg.l^{-1} avec une teneur moyenne de 9,77 mg.l^{-1} de nitrate.

❖ On peut dire ici que la rentabilité du réseau d'assainissement est claire et nette présentée dans le changement de la qualité des eaux de la nappe phréatique de la ville d'El Oued vers le mieux, surtout pour les deux cartes de nitrate.

Le réseau de drainage vertical joue un rôle très important dans la cérémonie de rabattre le niveau de la nappe phréatique et de développer la qualité des eaux de la nappe, les cartes de profondeur d'eau (Niveau statique) entre Mars 2008 et Mars 2011 montrent que les zones de pompage des grands débits croissent, pour la surface moyenne des zones inondées (et humides) dans la commune d'El Oued, il reste d'environ 6 km^2 .

Les cartes de profondeur d'eau (Niveau statique) entre Mars 2011 et mars 2014; nous disent que les zones de pompage au niveau du drain D52 et du drain D49 au Sud de la ville d'El Oued grandissent avec le drain D42 au centre de la ville d'El Oued, à cause du débit extrait par les forages distingués spécialement à l'irrigation des jardins dans les directions de la DRH, la DCF et du centre de formation III. Et pour la surface moyenne des zones inondées (et humides) au niveau du Chott de la ville d'El Oued, il diminue presque de 3 km^2 c'est-à-dire la moitié de la surface précédente enregistrée en Mars 2011. Donc le pompage successif par les drains pendant presque deux années, donne un résultat remarquable présenté par le battement d'environ 0,5 m du niveau moyen des eaux de la nappe traditionnelle de la commune d'El Oued.

La carte de niveau statique de Mars 2016; montre que le débit d'irrigation au niveau du drain D52 au Sud de la ville d'El Oued grandit et le drain D49 reste avec un débit stable. D'après notre enquête au niveau des deux directions **DRH** et **DCF** d'El Oued, nous avons trouvé que la méthode d'irrigation par tuyau et l'arrosage, explique l'agressivité de pompage au niveau du drain D52. Mais avec le drain D42 (Centre de formation III) au centre de la ville d'El Oued, moins sévère à cause de la méthode d'irrigation qui est basée sur le goutte-à-goutte. C'est-à-dire que le débit calculé est constant.

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

Les résultats fournissent des informations importantes, tandis que les cartes des qualités et des niveaux des eaux de la nappe phréatique pourraient être utilisées par les autorités locales et les décideurs afin de prévenir toute nouvelle pollution.

Cette étude expose clairement le problème de la gestion des ressources en eau et la protection des eaux souterraines contre la pollution dans les régions arides.

Il s'avère que malheureusement les nappes aquifères sont vulnérables et une réflexion pour une agriculture durable doit passer par l'amélioration de la gestion des ressources en eau.

Recommandations:

Au vu des différents problèmes qui ont été soulevés et qui ont été étudiés nous proposons les recommandations suivantes :

✓ Il est très nécessaire d'installer un réseau de piézomètres pour l'observation du niveau d'eau dans les nappes (la nappe phréatique et le complexe terminal) et d'évaluer les fluctuations de la surface piézométrique. Afin d'évaluer les ressources et les réserves des nappes.

✓ Réaliser une étude complète sur le zone de Chott dans la commune d'El Oued, pour assécher les eaux stagnantes.

✓ Encourager les agriculteurs à améliorer leurs pratiques agricoles, par une utilisation rationnelle des engrais et des pesticides.

✓ L'établissement de modèle d'écoulement permettrait de mieux connaître le mécanisme hydrodynamique des eaux souterraines des nappes et un modèle hydro dispersif pour mieux évaluer les mécanismes de transfert de polluants.

*Références
bibliographiques*

-A-

- Abdel-Rahman, 1998. Etude hydrogéologique de la nappe phréatique de la cuvette d'Ouargla. Rapport interne ANRH-Ouargla. 65p.
- ANRH. 1994. Les ressources en eaux dans la wilaya d'Ouargla. Rapport technique.
- Armon R., Dosoretz C., Azov Y. and Shelef, G. 1994. Residual contamination of crops irrigated with effluents of different qualities : A field Study. *Wat. Sci. Tech.*, 30 (9). pp 239-248.
- ANRH, 2005. Inventaire des forages d'eau de la wilaya d'El Oued. La Direction régionale Ouargla.
- ANAT, 1995. Maîtrise de la croissance urbaine de la métropole d'Ouargla. Réhabilitation de l'écosystème de la Vallée de l'Oued Mya. 43p.
- Aumassip, G., Dagorne, A., Estorges P., Lefevre-Witier, P., Mahrour, F., Nesson, C., Rouvillois-Brigol M., & Trecolle G. 1972. Aperçus sur l'évolution du paysage quaternaire et le peuplement de la région d'Ouargla. *Libyca*. T XX. pp 205-257.

-B-

- Baba Sy M., 2005. Recharge et paléorecharge du système aquifère du Sahara septentrional, Thèse Doct., Université De Tunis El Manar, Tunisie. 261 p.
- Baba Sy M., Besbes M., 2006. Holocene recharge and present recharge of the Saharan aquifers. A study by numerical modelling, Colloque international - Gestion des grands aquifères - 30 mai-1er juin 2006, Dijon, France. 16p.
- Bataillon C., 1955. Le Souf, étude de géographie humaine. Alger, Institut de recherches sahariennes, mémoire n°2. 140p.
- BEL F., & Demargne F., 1966. Etude géologique du Continental Terminal ; DEC, ANRH, Alger, Algérie, 24 planches. 22p.
- BEL F., & Cuhe D., 1969. Mise au point des connaissances sur la nappe du Complexe Terminal ; ERESS. Ouargla. Algérie. 3 fig., 17 planches. 20p.
- BEL F., 1969. Etude de la nappe aquifère de la région d'Ouargla. Direction département de travaux publics de l'hydraulique et de la construction des oasis. 10p.
- Bernard BAUDOT, mars 2002. Système d'Evaluation de la Qualité des Eaux Souterraines. Agences de l'Eau et le Ministère de l'aménagement du Territoire et de l'Environnement. Paris. 66p.
- BNEDR, 1992. Etude du schéma directeur de développement de l'agriculture de la wilaya d'El Oued. Alger. 32p.
- BNEDR, 1993. Schéma directeur de mise en valeur de la wilaya d'El Oued. Alger. 191p.
- Bonnard & Gardel, (Novembre) 2001a. Vallée du Souf-Ville d'El Oued. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission 1A, Diagnostic Assainissement Rapport. 147p.
- Bonnard & Gardel, (Décembre) 2001b. Projet El Oued Vallée du Souf Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission II Deuxième campagne de mesures hydrogéologiques. 306p.
- Bonnard & Gardel, (Décembre) 2001c. Vallée de Ouargla. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission I-A Reconnaissances et diagnostic de l'assainissement. 168p.

- Bonnard & Gardel, (Février) 2002a. Vallée du Souf. Etude d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesure complémentaire de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Étude d'impact sur l'environnement. Mission III-A : collecte et analyse des données. 36p.
- Bonnard & Gardel, (Février) 2002b. Vallée du Souf : Etude d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesure complémentaire de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Étude d'impact sur l'environnement. Mission III-B: caractérisation environnementale de la situation actuelle. 58p.
- Bonnard & Gardel, (Août) 2002c. Vallée du Souf. Etude d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission II Troisième campagne de mesures hydrogéologiques. 65p.
- Bonnard & Gardel, (Mai) 2003a. Vallée du Souf. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission I-B : Schéma directeur d'assainissement. 456p.
- Bonnard & Gardel, (Mai) 2003b. Vallée du Souf. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission I-B : Schéma directeur d'assainissement réseaux d'eaux usées structurants. Cahier de plans et profils en long. 265p.
- Bonnard & Gardel, (Août) 2003c. Vallée de Ouargla. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Volet étude d'impact sur l'environnement mission II-B : caractérisation environnementale de la situation actuelle. 42p.
- Bonnard & Gardel, (Août) 2003d. Vallée de Ouargla. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission III-C/D : Analyse impacts et mesures compensatoires – station d'épuration. 34p.
- Bonnard & Gardel, (Septembre) 2003e. Vallée de Ouargla. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission III-C : Etude d'impact sur l'environnement. Analyse des impacts. 34p.
- Bonnard & Gardel, (Septembre) 2003f. Vallée de Ouargla. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission III-D, Etude d'impact sur l'environnement. Mesures d'atténuation et de compensation, plan de suivi et de contrôle de l'environnement. 18p.
- Bonnard & Gardel, (Mars) 2004a. Vallée du Souf -Ville d'El Oued. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique Mission II APS du système de drainage verticale. 168p.
- Bonnard & Gardel, (Juin) 2004b. Vallée de Ouargla. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission I-C Avant Projet Détaillé Station d'épuration. Rapport technique. 57p.
- Bonnard & Gardel, (Juillet) 2004c. Vallée du Souf. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation et des mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique de la vallée d'oued Souf. Mission III-D. Etude impact sur l'environnement Mission III-D : Mesures compensatoires. 29p.

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

- Bonnard & Gardel, (Août) 2004e. Vallée du Souf. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mission II-C : Avant projet détaillé. Réseaux de transfert et de collecte. 196p.

- Bonnard & Gardel, (Décembre) 2004f. Vallée de Ouargla. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission II Rapport Final Investigations, essais de pompage et bilans d'eau, établissement des cartes piézométriques, diagnostic des captages d'eau et mesures de réhabilitation, de protection des ressources en eau. 110p.

- BRL-BNEDER, 1999. Etude du plan directeur générale de développement des régions sahariennes. Lot 1. Etude de base. Phase II A3. Monographies spécialisées des ressources naturelles. Ressources en eau, Vol. 3. Modélisation du Complexe Terminal. 63p.

- BRL Ingénierie, 1998. Etude du Plan directeur général de développement des régions sahariennes-Modélisation du Complexe Terminal Rapport, ANRH Alger, Algérie.

- Boudy P., 1950. Économie forestière Nord Africaine. Paris.

- Briere, P.R. 2000. Playa, Playa Lake, Sebkh: proposed definitions for old term. J. Arid Environ, 7p.

-C-

- Carole M., 2001. Estimation de la traitabilité potentielle d'Eaux Résiduaires Industrielles par de nouveaux paramètres de caractérisation. Thèse Doct., Université Saint-Etienne, France.

- Castany G., 1982. Bassin sédimentaire du Sahara septentrional (Algérie Tunisie). Aquifères du continental intercalaire et du complexe terminal. Bull. BRGM 2 III, Vol. 2. pp 127-167.

- CHAPMAN D., KIMSTACH V. (1996). Selection of water quality variables. Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon, London, pp. 59-126.

- Cheick T., janvier 2007. Contrôle et suivi de la qualité des eaux usées (Protocole de détermination des paramètres physico-chimiques et bactériologiques), CREPA, Ouagadougou - Burkina Faso.

- Chippaux, J.P., Houssier, S., Gross, P., Bouvier C. & Brissaud F. 2002. Etude de la pollution de l'eau souterraine de la ville de Niamey, Niger. Bull. Soc. Pathol. Exot. 94 (2), 119-123.

- Claudin J., Houréou H N., & Pouget, M. 1979. Etude bioclimatique des steppes algériennes (avec carte 1/1 000 000). Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Du Nord, Alger.

- COBA, Binnie & Partners, GEOSYSTEM. 1997. Vallées du Souf et d'Ouargla. Mesures complémentaires de lutte contre la nappe phréatique. Etude d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Offre Technique Et Documents. 112p.

- Cornet A., & Gouscov N., 1952. Les eaux de Crétacé inférieur continental dans la Sahara algérien (nappe dite "Albien"). In: "La géologie et les problèmes de l'eau en Algérie". 19ème. Congrès géologique international. T. II. 30p.

- Cornet A., 1961. Initiation à l'hydrogéologie saharienne. Cours ronéoté destiné aux officiers du cours préparatoire aux Affaires sahariennes. S.E.S. Birmandreis, Alger, 108p.

- Cornet A., 1964. Introduction à l'hydrogéologie saharienne. Rev. Géogr.Phys. & Géol. Dyn., Vol. VI, France.
- Cote M., 2006. Si le Souf m'était conté, comment fait et se défait un paysage. Édition Média-plus, Constantine. 135 p.
- Cote M., 1998. Des oasis malades de trop d'eau? Paris, Sécheresse, vol 9, n°2. pp 123-130.

-D-

- DAJOZ R., 1985- Précis d'écologie. Éd. Dunod, Paris, 505 p.
- DAJOZ R., 2003- Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 615 p.
- Derradji, F., Bousnoubra, H. & Kherici, N. 2005. Impact de la pollution organique par l'ammonium et les nitrates des eaux de l'extrême Nord-Est Algérien. Colloque International terre et eau. Univ. Badji Mokhtar. Annaba, p. 95-94.
- Documents Algériens, Série Politique N°21, 14 et économique N°20, Situation générale El Oued, Réalisations dans l'annexe d'El-Oued, 15 Decembre 1948. 5p.
- DPAT, 2006. Annuaire statistique de la wilaya d'Ouargla. 156p.
- Drouiche A.M., 2014. Impact de la remontée des eaux sur la qualité des eaux de la nappe phréatique et sur l'environnement dans la vallée du Souf sud-est algérien. Thèse doc. Univ. Annaba. 158p.
- Dubief J., 1947. La pluviométrie au Sahara central ; Travaux instituts de recherches Sahariennes.
- Dubief J., 1963. Le climat du Sahara. Mém. Hors série. Instituts de recherches Sahariennes, 2, 275p.
- Dubost D., 1992. Aridité, agriculture et développement : cas des oasis algérienne. Rev. Sécheresse, 3, pp 80-96.
- Dutil P., 1971. Contribution à l'étude des sols et des paléosols du sahara. Thèse doc. Univ. Strasbourg. 346 p.
- Duveyrier H., 1905. Sahara algérien et Tunisien. Journal de Route (Mars 1860). Paris. p 34.

-E-

- Eberhardt I., 1990. Œuvres complètes, Ecrits sur le Sable. Paris, Grasset, 2 volumes.
- Edmunds W.M., Shand P., Guendouz A.H., Moulla A.S., Mamou A., Zouari K., 1997. Recharge characteristics and groundwater quality of the Grand Erg Oriental Basin, Final report. EC (Avicenne) Contract CT93AVI0015, BGS Technical report WD/97/46R, Hydrogéologie Séries.
- Emberger, L., 1930. La végétation de la région méditerranéenne : essai d'une classification des groupements végétaux. Rev. Gen. Bot. 42 : 641-662, 705-721.
- Emberger, L., 1955. Une classification biogéographique des climats. Rec. Trav. Lab. Géol. Bot. Zool. Fac. Sci. Montpellier 7 : 1-47.
- E.N.A.G.E.O. -Entreprise nationale de géophysique-.1992. Étude de la nappe phréatique de la cuvette d'Ouargla. Rapport de mission, Direction de l'Hydraulique de Ouargla, 10p.
- Escart Dr, 1888-1890. Etude Sur le pays du Souf. Bulletin de l'Académie d'Hippone. Constantine, pp. 25-119.

-F-

- Féraud Ch., 1887. Sahara de Constantin. Ad, Jourdan. Alger.

-G-

- Garmanov I., Kamenski G.N., La formation des eaux souterraines et leur répartition par zones, dans les régions arides de l'U.R.S.S. I, *Congrès géologique international de Mexico*, 1956.
- Giersch P., 1989. Remontée des eaux de la nappe phréatique à El Oued. Strasbourg.
- Guendouz A., Moulla A.S., 2000. Application des Techniques Nucléaires en zones arides : cas de la remontée des eaux de la nappe phréatique de la région de Oued-Souf (Grand Erg Oriental, Algérie). Proceedings of the Congress on the 'Contribution of scientific research and technologies in the development of arid and semi-arid areas'. 1-4 October 2000, El-Oued, Algérie.
- Guendouz A., Moulla A.S., Reghis Z., 1993. Etude de la remontée des eaux de la nappe phréatique de la région d'Oued-Souf (Erg Oriental, Sahara nord-est Septentrional) par les méthodes isotopiques et hydrochimiques. Deuxièmes Journées de Géologie Appliquée. Actes du Séminaire, Sfax, Tunisie (17-19 Mai 1993).
- Guendouz A., Moulla A.S., Cherchali M.E.H., 2002 ; Contribution des isotopes à l'étude des ressources en eau souterraines transfrontalières en Algérie, Proceedings of the International Workshop Tripoli, Libya, 2-4 Juin 2002. pp 55-67.
- Guendouz A., Moulla A.S., Edmunds W.M., Zouari K., Shand P., Mamou A., 20 May 2003. Hydrogeochemical and isotopic evolution of water in the Complexe Terminal aquifer in the Algerian Sahara, *Hydrogeology Journal* (2003). pp 485-495.
- Guendouz A., Moula A.S., 1992. Etude hydrochimique et isotopique des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla. 1^{er} rapport interne, CDTN/DDHI.-ALGER, 30p.
- Guendouz A., Moula A.S., 1995. Etude hydrochimique et isotopique des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla. 2^e rapport interne; CDTN/DDHI-ALGER, 60p.
- Guendouz A., Moullam A.S., Edmunds, W.M., Zouari, K., Shand P. and Mamou A 2003. Hydrogeochemical and isotopic evolution of water in the Complexe Terminal aquifer in the Algerian Sahara. *Hydrogeology Journal*. 11. pp 483-495.
- Guerre G., 1975. Bouchage de l'Albien de Ouargla I. Observations personnelles et renseignements recueillis sur chantier. Archives de la direction de l'hydraulique, Ouargla. 8p.
- Guendouz A., Reghis Z., & Moulla A.S., 1992. Etude hydrochimique et isotopique des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla. Rapport n° 1, 65p.
- George Toutin, 1977. *Éléments d'agronomie Sahariennes*. Paris.

-H-

- Hafsi Ahmed, 1983. Photo de Remmal lever le sable de Ghout. Bureau touristique Guemmar, El Oued.
- Hamdi-Aïssa B., 2001. Le fonctionnement actuel et passé de sols du Nord-Sahara (Cuvette de Ouargla). Approches micromorphologique, géochimique, minéralogique et organisation spatiale. Thèse Doct., Inst. National Agronomique, Paris-Grignon, 283p.
- Hamdi-Aïssa B., & Fedoroff N., 1997. Salt affected soil functioning at the Ouargla oasis (Northern Sahara, Algeria). In: *International Symposium on Sustainable Management of salt affected Soils*. (Ed. El-Gala A., & Blum, W.E.H.), pp. 153-154., ISSS-FAO, Cairo.
- Hamdi-Aïssa B., Halitim A., Bensaad A., Halilat M.T., & Daddi-Bouhoun M., 2000. Gestion de l'eau pour une agriculture durable au Sahara algérien. In: *Colloque international « Eaux Souterraines en Région Agricole »*. (Ed. Banton, O. & Porel, G), pp. S3-63-66, INRS Québec, Univ. Poitiers, Poitiers.

-I-

- Iain R. Lake, Andrew A. Lovett, Kevin M. Hiscock et Mark Betson, 1er juillet 2003. Evaluating factors influencing groundwater vulnerability to nitrate pollution: developing the potential of GIS, *Journal of Environmental Management*, vol. 68, no 3,, p. 315–328.

- Ibrahim AWAMER, 2007. ESSOUROUF dans l'histoire du Sahara et du Souf. THALA Edition. El-Abier, Algérie, 422p.

- Idder T., 1998. La dégradation de l'environnement urbain liée aux excédents hydriques au Sahara algérien. Impact des rejets d'origine agricole et urbaine et technique de remédiations proposées. L'exemple d'Ouargla. Thèse Doct., Université d'Angers, 284p.

-J-

- Jacques Krier, Gaeta CH., Martinez J., 05 mai 1961. Un billet pour la Mecque. Film de 12,34 min, <https://www.ina.fr/video/CAF91010373>

-K-

- Kebiche, M. 1999. Pollution des eaux superficielles dans un climat semi-aride: la région de Sétif (Algérie). *Rev. Sécheresse*, 10 (2), 137-142.

- Kilian C., 1931. Les principaux complexes continentaux du Sahara. C.R. Soc. Géol. Fr, Paris. Paris. 250p.

- L-

- Lebourgeois F., 2010. Cours de bioclimatologie à l'usage des forestiers. ENGREF.

- Lechaari M.B., 1990. Contribution a l'étude hydrogéologique des nappes superposées de la région d'EL-Oued. Mémoire: Ing. Univ, Constantine, 100 P.

- Le Houerou H.N., 1995. Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique. Diversité biologique, développement durable et désertification. OPTIONS méditerranéennes. Série B : Etude et recherche n°10. Ed. CIHEAM. Montpellier. 396p.

- Lelièvre R.F., 1969. Assainissement de la cuvette d'ouargla. Ministère des Travaux Publique et de la construction, rapports Géohydraulique n° 2, 18p: n° 3, 84p.

- Lethielleux J., 1984. Ouargla cité saharienne des origines au début du XX^e siècle. Ed. Paris. 295p.

- Lutaud Ch., 1914. Exposé de la situation générale des territoires du Sud de l'algérie. Typographie Adolphe jourd. Alger.

-M-

- Marc Agier., 1949. Un aperçu sur le Souf. *Revue de géographie jointe au bulletin de la société de géographie de Lyon et de la région lyonnaise* ; Volume 24 Numéro 4. p 363-366.

- MEDD & Agences de l'eau., 2003. Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau (SEQ-Eau). Grilles d'évaluation version 2, France.

- Mostefaoui A., 2002. Le secteur d'agriculture dans la région du Souf entre l'ancien et le nouveau (En Arabe). Mém Mag. Aménagement urbain. Université Les frères Mantouri. Constantine. 163p.

- Montgomery M., 1964. Determination of dissolved oxygen by the Winkler method. *J. Appl. Chem.*

- Munier P., 1981. Origine de la culture du palmier-dattier et sa propagation en Afrique, notes historiques sur les principales palmeraies africaines. Paris.

- Moulias D., 1927. L'eau dans les oasis sahariennes, organisation hydraulique, régime juridique. Thèse doct. Alger. 271p.

- Moulla A.S., Guendouz A., Reghis Z., 1992. Etude isotopique et hydrochimique de la remontée des eaux de la nappe phréatique de la région d'Oued-Souf. 1er rapport sur l'interprétation des données hydrochimiques et isotopiques de la campagne d'échantillonnage effectuée en mai 1991. Rapport Interne, CDTN, Alger, 72 pages.

-N-

- Najah A., 1970. le Souf des Oasis. Edition Maison des livres, Alger. 173p.
- Nesson C., 1978. L'évolution des ressources hydrauliques dans les oasis du Bas Sahara algérien. In : Recherche sur l'Algérie. Ed. CNRS, Paris. pp 7-100.
- Niel O., 1876. Géographie de l'Algérie. Tome premier. Nombre correspondant de la société de climatologie algérienne et de la société de géographie commerciale de paris. Paris.

-O-

- OMS, 1996. Guidelines for drinking-water quality, 2nd ed. Vol. 2. Health criteria and other supporting information. World Health Organization, Geneva.
- OSS/SASS, 1999-2002. Synthèse de la première phase du projet « OSS/SASS »
- OSS, janvier 2003a. Système Aquifère Du Sahara Septentrional -Gestion commune d'un bassin transfrontière- 1^{ère} Edition. Rapport de synthèse. 148p.
- OSS, juin 2003b. Système Aquifère Du Sahara Septentrional –une Conscience sur le bassin- Hydrogéologie Volume II. 322p.
- OSS, Avril 2015. Pour une meilleure valorisation de l'eau d'irrigation dans le bassin du SASS Diagnostic et recommandations. 35p.
- Ozenda P., 1983. Flore du Sahara. Ed C.N.R.S., Paris. 622p.

-P-

- Pillet D., Repères pour l'histoire d'Ouargla 1872-1992.
- Pline, 1855. Histoire naturelle de Pline. Traduction en français par M. Emile Littré. Paris. 392p.
- Polan, P & Henry, M. 1998. Qualité de l'eau souterraine dans la MRC de Coaticook. Vecteur Environnement. 31 (5), 46-55.

-R-

- Ralland, G. 1890. La région d'Ouargla, La Revue Scientifique. pp 05-15.
- Reclus E., 1886. L'Afrique septentrionale, 2^e partie, Tripolitaine, Tunisie, Algérie, Maroc, Sahara. Nouvelle géographie universelle, tome XI, Paris Hachette. 917 p.
- Remini B., 2005. La problématique de l'eau en algérie. Collection hydraulique et transport solide. Univ. Blida, Algérie. 182p.
- Rodier Jean. 1998. Analyse d'eau. 8^e édition, Durand, Paris. p.475-1047.
- Rodier Jean., Bernard Legube, Nicole Merlet, coll., 2009. L'analyse de l'eau. 9^e édition, Durand, Paris. p 965.
- Rouvillois-Brigol M., 1975. Le pays de Ouargla (Sahara Algérien) variation et organisation. Pub. Univ. Sorbonne, Paris. 361p.

-S-

- SAUVAGE C., 1963-Etages bioclimatiques, Atlas du Maroc, Notice explicative, sec.II, phys. Du globe et météorologie.44p.
- Slimani R., 2006. Contribution à l'évaluation d'indicateurs de pollution environnementaux dans la région de Ouargla: Cas des eaux de rejets (agricoles et urbaines). Mém. Mag. Sciences Agronomie. Univ. Kasdi Merbah. Ouargla. 91p.
- Smida H., 2008. Apports des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) pour une approche intégrée dans l'étude et la gestion des ressources en eau des systèmes

aquifères de la région de Sidi Bouzid (Tunisie centrale). Thèse Doctorat., Université SFAX, Tunisie. 341p.

- STEWART P.,1969- Quotient pluviothermique et dégradation biosphérique. Quelques réflexions. Bull. Int. Nati. Agro. El Harrach : 24-25 pp.

-T-

- Touil Y., 2003. Etude des possibilités de la réutilisation des eaux de drainage dans la cuvette d'Ouargla. Mém. Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique Arbaoui Abdallah. Alger. 102p.

-U-

- UNESCO, 1963. Carte Bioclimatique de la Zone Méditerranéenne. Étude écologique de la zone méditerranéenne. Notice explicative, UNESCO-FAO.

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

- UNESCO, 1972b. Projet reg 100. Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. Rapport sur les résultats du projet, UNESCO, Paris. 78p.

-V-

- Voisin A.R., 2004. Les Souf monographie, Edition El-Walid, El Oued-Algérie. 319 p.

- Voisin A.R., 1970. Le Souf monographie. Document multigraphié, Tours. 171p. 25 carte et graphiques.

Annexes

Annexe -I-

-La Campagne piézométrique de Mars 2008-

Nom	Drain	X	Y	Z	Ns	Np
BELAID	G08	297599,00	3694780,00	74,63	3,60	71,03
GHARBI A, MADJID	G12	298762,00	3697726,00	66,95	2,50	64,45
Station d'essence BEN BARDI	G81	297951,00	3692196,00	80,39	6,20	74,19
Route de Touggourt	P17	296234,00	3692675,00	92,21	14,90	77,31
BEYA ALI	H80	304098,00	3694326,00	73,96	9,75	64,21
MAAMRA MESSAOUD	H90	302658,00	3699236,00	72,30	5,60	66,70
APC BAYADA	G37	303620,00	3689501,00	82,36	8,60	73,76
Chateau d'eau chott	D01	301904,00	3696929,00	74,20	4,95	69,25
Ecole Hazla Tahar	D02	301704,00	3696431,00	73,87	5,62	68,25
CM Tksept Nord	D03	299115,00	3696384,00	74,80	7,13	67,67
Complexe sportif Tiksept	D04	299149,00	3696052,00	75,75	6,94	68,81
Parc Wilaya	D05	301824,00	3696028,00	76,15	9,15	67,00
ST1 Tiksept	D06	299457,00	3695729,00	76,02	4,62	71,40
Lycée Tiksept	D07	299359,00	3695407,00	76,91	4,51	72,40
Ecole Ferhat Ben Amara Tiksept	D08	299704,00	3695301,00	75,59	3,42	72,17
Ecole nouvelle Tiksept Ouest	D09	298881,00	3695161,00	79,45	6,37	73,08
Chateau d'eau El Gara	D10	299754,00	3694985,00	76,94	3,55	73,39
Ecole El gara Est	D11	300215,00	3695029,00	73,05	2,22	70,83
Direction El Moudjahidine	D13	300961,00	3694894,00	66,42	0,79	65,63
CM Tksept Est	D14	300152,00	3694798,00	73,89	2,40	71,49
Ecole pratique Ali Ayadi	D15	299581,00	3694516,00	79,01	4,41	74,60
Mosquée El Kautar	D17	301038,00	3694423,00	70,34	1,88	68,46
CM Ghendire Omar	D18	301925,00	3694402,00	68,30	1,62	66,68
Ecole Djebeli Djbeli	D19	300602,00	3694325,00	76,25	6,48	69,77
Hotel Louss	D20	300418,00	3694234,00	69,57	-0,30	69,87
Nazla Mehria	D21	301559,00	3694096,00	72,64	3,76	68,88
Annexe Univ El Oued	D23	299270,00	3694062,00	80,87	4,81	76,06
DTP	D25	300645,00	3693824,00	79,07	5,46	73,61

Nom	Drain	X	Y	Z	Ns	Np
Direction Education	D27	300222,00	3693784,00	80,15	5,83	74,32
Souk	D29	301673,00	3693638,00	73,36	2,30	71,06
Chateau d'eau Sidi Mestour	D32	302329,00	3693594,00	70,33	0,43	69,90
ADE centre ville	D34	300899,00	3693488,00	80,81	6,56	74,25
ST3	D35	299568,00	3693479,00	78,90	2,50	76,40
ST 400 logements	D36	300523,00	3693234,00	79,66	3,50	76,16
CFPA 3	D37	301050,00	3693084,00	80,31	5,26	75,05
CM Bachir Djab Alah	D38	302280,00	3692942,00	71,60	3,89	67,71
Ecole Mouhamed Serouti	D39	299686,00	3692922,00	84,02	7,45	76,57
Ecole Ouinissi El Hachemi	D41	301608,00	3692968,00	78,61	7,55	71,06
Chateau d'eau 300 logements	D42	300775,00	3692889,00	88,78	12,68	76,10
Ecole 300 logements	D46	300625,00	3692455,00	87,20	11,00	76,20
Annexe Univ El Oued Sahane	D47	301272,00	3692516,00	84,10	8,50	75,60
Ecole Essaghaire Mouldi 1	D48	301414,00	3692088,00	80,43	2,90	77,53
Conservation des Forets	D49	300449,00	3692086,00	89,46	13,85	75,61
Cimetière Sahane 1	D50	301905,00	3692009,00	78,61	3,60	75,01
Ecole Maragni Kalifa Sahane 1	D51	302291,00	3691958,00	79,33	5,92	73,41
DHW	D52	300714,00	3691754,00	92,13	15,30	76,83
Ecole Kina El Aich	D53	301880,00	3691531,00	80,32	4,50	75,82
Mosquée Sahane 2	D54	302427,00	3691432,00	78,55	4,48	74,07
Résidence Universitaire	D55	302002,00	3691174,00	77,12	4,30	72,82
Ecole Touati Ahmed Moustapha 1	D56	302606,00	3691009,00	79,45	5,32	74,13
Ecole Mirhouet Ali Ouled Touat	D57	303165,00	3690813,00	78,65	6,42	72,23
Ecole Bekakra Ben Ali	D58	302409,00	3690660,00	75,93	3,88	72,05

-La Compagne piézométrique de Mars 2011-

Nom	Piez	X	Y	Z	Ns	Np
BELAID	G08	297599,00	3694780,00	74,63	3,66	70,97
GHARBI A MADJID	G12	298762,00	3697726,00	66,95	2,56	64,39
Station d'essence BEN BARDI	G81	297951,00	3692196,00	80,39	6,26	74,13
Route de Touggourt	P17	296234,00	3692675,00	92,21	14,96	77,25
BEYA ALI	H80	304098,00	3694326,00	73,96	9,81	64,15
MAAMRA MESSAOUD	H90	302658,00	3699236,00	72,30	5,66	66,64
APC BAYADA	G37	303620,00	3689501,00	82,36	8,66	73,70
Chateau d'eau chott	D01	301904,00	3696929,00	74,20	4,94	69,26
Ecole Hazla Tahar	D02	301704,00	3696431,00	73,87	5,74	68,13
CM Tksept Nord	D03	299115,00	3696384,00	74,80	6,99	67,81
Complexe sportif Tiksept	D04	299149,00	3696052,00	75,75	6,34	69,41
Parc Wilaya	D05	301824,00	3696028,00	76,15	9,20	66,95
ST1 Tiksept	D06	299457,00	3695729,00	76,02	5,10	70,92
Lycée Tiksept	D07	299359,00	3695407,00	76,91	4,43	72,48
Ecole nouvelle Tiksept Ouest	D09	298881,00	3695161,00	79,45	6,35	73,10
Chateau d'eau El Gara	D10	299754,00	3694985,00	76,94	3,50	73,44
Ecole El gara Est	D11	300215,00	3695029,00	73,05	2,53	70,52
Forage CT Tiksept Ouest	D12	299206,00	3694986,00	78,30	4,11	74,19
Ecole pratique Ali Ayadi	D15	299581,00	3694516,00	79,01	4,43	74,58
CM Bahi Ali Tiksept Ouest	D16	299396,00	3694523,00	80,42	5,31	75,11
Mosquée El Kautar	D17	301038,00	3694423,00	70,34	1,90	68,44
Ecole Djebeli Djbeli	D19	300602,00	3694325,00	76,25	6,09	70,16
Hotel Louss	D20	300418,00	3694234,00	69,57	0,35	69,22
Nazla Mehria	D21	301559,00	3694096,00	72,64	3,50	69,14
Espace vert Cité Nour	D22	299521,00	3694082,00	81,15	6,05	75,10
Annexe Univ El Oued	D23	299270,00	3694062,00	80,87	4,82	76,05
Théâtre Aire Libre	D24	301170,00	3693991,00	73,40	1,84	71,56
DTP	D25	300645,00	3693824,00	79,07	5,50	73,57
Siège Wilaya	D26	299933,00	3694027,00	83,03	8,26	74,77

Nom	Piez	X	Y	Z	Ns	Np
Direction Education	D27	300222,00	3693784,00	80,15	5,80	74,35
CM Ahmed Tidjani 17 Octobre	D28	299403,00	3693697,00	78,99	4,62	74,37
Souk	D29	301673,00	3693638,00	73,36	2,19	71,17
APC El Oued	D30	300585,00	3693635,00	80,31	5,86	74,45
Lycée Abdelaziz cherif	D31	300116,00	3693688,00	81,21	5,25	75,96
Chateau d'eau Sidi Mestour	D32	302329,00	3693594,00	70,33	0,74	69,59
Cité Ouled Ahmed	D33	301380,00	3693407,00	80,06	7,62	72,44
ADE centre ville	D34	300899,00	3693488,00	80,81	6,22	74,59
ST3	D35	299568,00	3693479,00	78,90	2,45	76,45
ST 400 logements	D36	300523,00	3693234,00	79,66	3,38	76,28
CFPA 3	D37	301050,00	3693084,00	80,31	5,35	74,96
CM Bachir Djab Alah	D38	302280,00	3692942,00	71,60	4,02	67,58
Ecole Ouinissi El Hachemi	D41	301608,00	3692968,00	78,61	4,68	73,93
Chateau d'eau 300 logements	D42	300775,00	3692889,00	88,78	12,40	76,38
Terrain de Sport	D44	300415,00	3692715,00	87,26	11,08	76,18
Ecole Meiaci Abdelouaheb	D45	301969,00	3692519,00	79,11	5,77	73,34
Ecole 300 logements	D46	300625,00	3692455,00	87,20	11,02	76,18
Annexe Univ El Oued Sahane	D47	301272,00	3692516,00	84,10	8,48	75,62
Ecole Essaghair Mouldi 1	D48	301414,00	3692088,00	80,43	4,63	75,80
Conservation des Forets	D49	300449,00	3692086,00	89,46	14,25	75,21
Cimetière Sahane 1	D50	301905,00	3692009,00	78,61	3,54	75,07
Ecole Maragni Kalifa Sahane 1	D51	302291,00	3691958,00	79,33	6,23	73,10
DHW	D52	300714,00	3691754,00	92,13	15,23	76,90
Ecole Kina El Aich	D53	301880,00	3691531,00	80,32	4,68	75,64
Mosquée Sahane 2	D54	302427,00	3691432,00	78,55	4,32	74,23
Résidence Universitaire	D55	302002,00	3691174,00	77,12	4,84	72,28
Ecole Touati Ahmed Moustapha 1	D56	302606,00	3691009,00	79,45	5,00	74,45
Ecole Mirhouet Ali Ouled Touat	D57	303165,00	3690813,00	78,65	6,73	71,92
Ecole Bekakra Ben Ali	D58	302409,00	3690660,00	75,93	4,42	71,51

-La Compagne piézométrique de Mars 2014-

Nom	Piez	X	Y	Z	Ns	Np
BELAID	G08	297599,00	3694780,00	74,63	4,80	69,83
GHARBI A MADJID	G12	298762,00	3697726,00	66,95	3,70	63,25
Station d'essence BEN BARDI	G81	297951,00	3692196,00	80,39	7,40	72,99
Route de Touggourt	P17	296234,00	3692675,00	92,21	16,10	76,11
BEYA ALI	H80	304098,00	3694326,00	73,96	10,95	63,01
MAAMRA MESSAOUD	H90	302658,00	3699236,00	72,30	6,80	65,50
APC BAYADA	G37	303620,00	3689501,00	82,36	9,80	72,56
Chateau d'eau chott	D01	301904,00	3696929,00	74,20	5,40	68,80
Ecole Hazla Tahar	D02	301704,00	3696431,00	73,87	6,27	67,60
CM Tiksept Nord	D03	299115,00	3696384,00	74,80	7,60	67,20
Complexe sportif Tiksept	D04	299149,00	3696052,00	75,75	9,05	66,70
Parc Wilaya	D05	301824,00	3696028,00	76,15	9,75	66,40
ST1 Tiksept	D06	299457,00	3695729,00	76,02	6,92	69,10
Lycée Tiksept	D07	299359,00	3695407,00	76,91	6,91	70,00
Ecole nouvelle Tiksept Ouest	D09	298881,00	3695161,00	79,15	7,95	71,20
Chateau d'eau El Gara	D10	299754,00	3694985,00	78,30	8,00	70,30
Ecole El gara Est	D11	300215,00	3695029,00	78,30	9,50	68,80
Forage CT Tiksept Ouest	D12	299206,00	3694986,00	78,30	7,10	71,20
Direction El-Moudjahidin	D13	300961,00	3694894,00	66,42	0,60	66,90
Ecole pratique Ali Ayadi	D15	299581,00	3694516,00	79,01	12,61	66,40
CM Bahi Ali Tiksept Ouest	D16	299396,00	3694523,00	80,42	14,02	66,40
Mosquée El Kautar	D17	301038,00	3694423,00	70,34	4,24	66,10
CM Ghendir Omar	D18	301925,00	3694402,00	68,30	2,60	65,70
Ecole Djebeli Djbeli	D19	300602,00	3694325,00	76,25	8,65	67,60
Hotel Louss	D20	300418,00	3694234,00	69,57	5,57	64,00
Nazla Mehria	D21	301559,00	3694096,00	72,64	5,04	67,60
Espace vert Cité Nour	D22	299521,00	3694082,00	81,15	8,45	72,70
Annexe Univ El Oued	D23	299270,00	3694062,00	80,87	7,57	73,30
Théâtre Aire Libre	D24	301170,00	3693991,00	73,40	4,90	68,50
DTP	D25	300645,00	3693824,00	79,07	6,87	72,20
Siège Wilaya	D26	299933,00	3694027,00	83,03	11,53	71,50

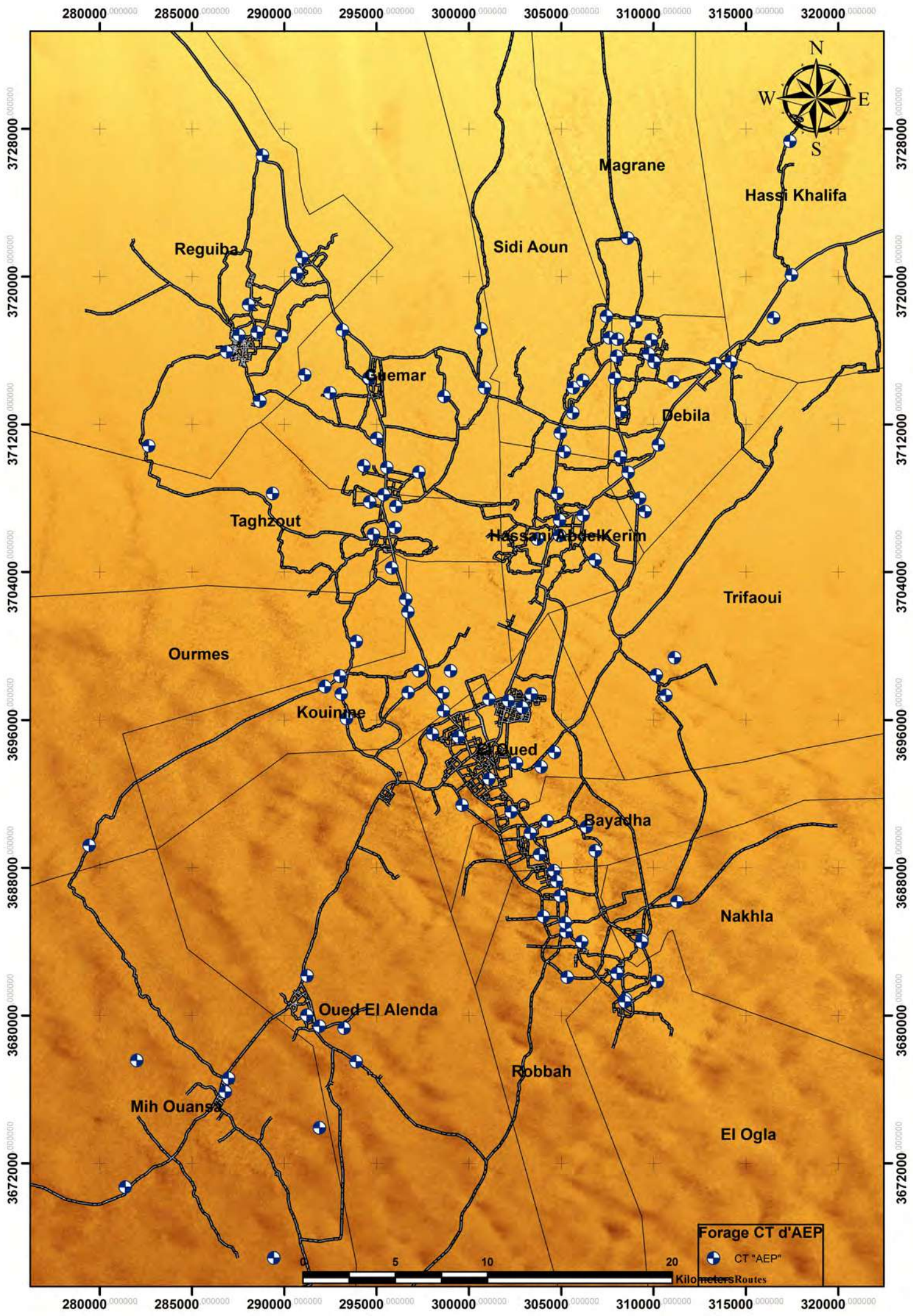
Nom	Piez	X	Y	Z	Ns	Np
Direction Education	D27	300222,00	3693784,00	80,15	8,95	71,20
CM Ahmed Tidjani 17 Octobre	D28	299403,00	3693697,00	78,99	7,49	71,50
Souk	D29	301673,00	3693638,00	73,36	5,16	68,20
APC El Oued	D30	300585,00	3693635,00	80,31	8,81	71,50
Lycée Abdelaziz cherif	D31	300116,00	3693688,00	81,21	8,51	72,70
Chateau d'eau Sidi Mestour	D32	302329,00	3693594,00	70,34	3,04	67,30
Cité Ouled Ahmed	D33	301380,00	3693407,00	80,06	10,36	69,70
ADE centre ville	D34	300899,00	3693488,00	80,81	6,91	73,90
ST3	D35	299568,00	3693479,00	78,90	5,30	73,60
ST 400 logements	D36	300523,00	3693234,00	79,66	6,66	73,00
CFPA 3	D37	301050,00	3693084,00	80,31	7,61	72,70
CM Bachir Djab Alah	D38	302280,00	3692942,00	71,60	5,50	66,10
Ecole Mohamed serouti	D39	299686,00	3692922,00	84,02	8,26	75,76
Ecole Neghmouche Med Tahar	D40	300400,00	3692990,00	88,15	12,80	75,35
Ecole Ouinissi El Hachemi	D41	301608,00	3692968,00	78,61	10,71	67,90
Chateau d'eau 300 logements	D42	300775,00	3692889,00	88,78	16,38	72,40
Hôtel des Finances	D43	299680,00	3692615,00	86,88	11,20	75,68
Terrain de Sport	D44	300415,00	3692715,00	87,26	13,36	73,90
Ecole Meiaci Abdelouaheb	D45	301969,00	3692519,00	79,11	7,31	71,80
Ecole 300 logements	D46	300625,00	3692455,00	87,20	14,20	73,00
Annexe Univ El Oued Sahane	D47	301272,00	3692516,00	84,10	11,70	72,40
Ecole Essaghaire Mouldi 1	D48	301414,00	3692088,00	80,43	4,80	75,63
Conservation des Forets	D49	300449,00	3692086,00	89,46	15,86	73,60
Cimetière Sahane 1	D50	301905,00	3692009,00	78,61	5,31	73,30
Ecole Maragni Kalifa Sahane 1	D51	302291,00	3691958,00	79,33	7,23	72,10
DHW	D52	300714,00	3691754,00	92,13	18,23	73,90
Ecole Kina El Aich	D53	301880,00	3691531,00	80,32	5,82	74,50
Mosquée Sahane 2	D54	302427,00	3691432,00	78,55	5,25	73,30
Résidence Universitaire	D55	302002,00	3691174,00	77,12	5,62	71,50
Ecole Touati Ahmed Moustapha 1	D56	302606,00	3691009,00	79,45	5,85	73,60
Ecole Mirhouet Ali Ouled Touat	D57	303165,00	3690813,00	78,65	7,45	71,20
Ecole Bekakra Ben Ali	D58	302409,00	3690660,00	75,93	6,23	69,70

-La Compagne piézométrique de Mars 2016-

Nom	Piez	X	Y	Z	Ns	Np
BELAID	G08	297599,00	3694780,00	74,63	4,80	69,83
GHARBI A, MADJID	G12	298762,00	3697726,00	66,95	3,70	63,25
Station d'essence BEN BARDI	G81	297951,00	3692196,00	80,39	7,40	72,99
Route de Touggourt	P17	296234,00	3692675,00	92,21	16,10	76,11
BEYA ALI	H80	304098,00	3694326,00	73,96	10,95	63,01
MAAMRA MESSAOUD	H90	302658,00	3699236,00	72,30	6,80	65,50
APC BAYADA	G37	303620,00	3689501,00	82,36	9,80	72,56
Chateau d'eau chott	D1	301904,00	3696929,00	74,20	3,60	70,60
Ecole Hazla Tahar	D2	301704,00	3696431,00	73,87	6,07	67,80
CM Tksept Nord	D3	299115,00	3696384,00	74,80	3,70	71,10
Complexe sportif Tiksept	D4	299149,00	3696052,00	75,75	9,72	66,03
Parc Wilaya	D5	301824,00	3696028,00	76,15	9,73	66,42
ST1 Tiksept	D6	299457,00	3695729,00	76,02	7,63	68,39
Lycée Tiksept	D7	299359,00	3695407,00	76,91	5,10	71,81
Ecole nouvelle Tiksept ouest	D9	298881,00	3695161,00	79,45	8,42	71,03
Chateau d'eau El Gara	D10	299754,00	3694985,00	76,94	6,99	69,95
Ecole El gara Est	D11	300215,00	3695029,00	73,05	2,07	70,98
Forage CT Tiksept ouest	D12	299206,00	3694986,00	78,30	7,04	71,26
Direction El Moudjahidine	D13	300961,00	3694894,00	66,42	1,00	65,42
École pratique Ali Ayadi	D15	299581,00	3694516,00	79,01	6,40	72,61
CM Bahi Ali tiksept Ouest	D16	299396,00	3694523,00	80,42	15,10	65,32
MosquÄe El Kautar	D17	301038,00	3694423,00	70,34	4,94	65,40
CM Ghendire Omar	D18	301925,00	3694402,00	68,30	1,70	66,60
Ecole Djebeli Djbeli	D19	300602,00	3694325,00	76,25	7,31	68,94
Hotel Louss	D20	300418,00	3694234,00	69,57	14,48	55,09
Nazla Mehria	D21	301559,00	3694096,00	72,64	4,95	67,69
Espace vert Cité Nour	D22	299521,00	3694082,00	81,15	9,01	72,14
Annexe centre uni El Oued	D23	299270,00	3694062,00	80,87	7,97	72,90
Théâtre Aire Libre	D24	301170,00	3693991,00	73,40	2,20	71,20
Siège Wilaya	D26	299933,00	3694027,00	83,03	11,74	71,29
Direction Äducation (service p)	D27	300222,00	3693784,00	80,15	11,39	68,76

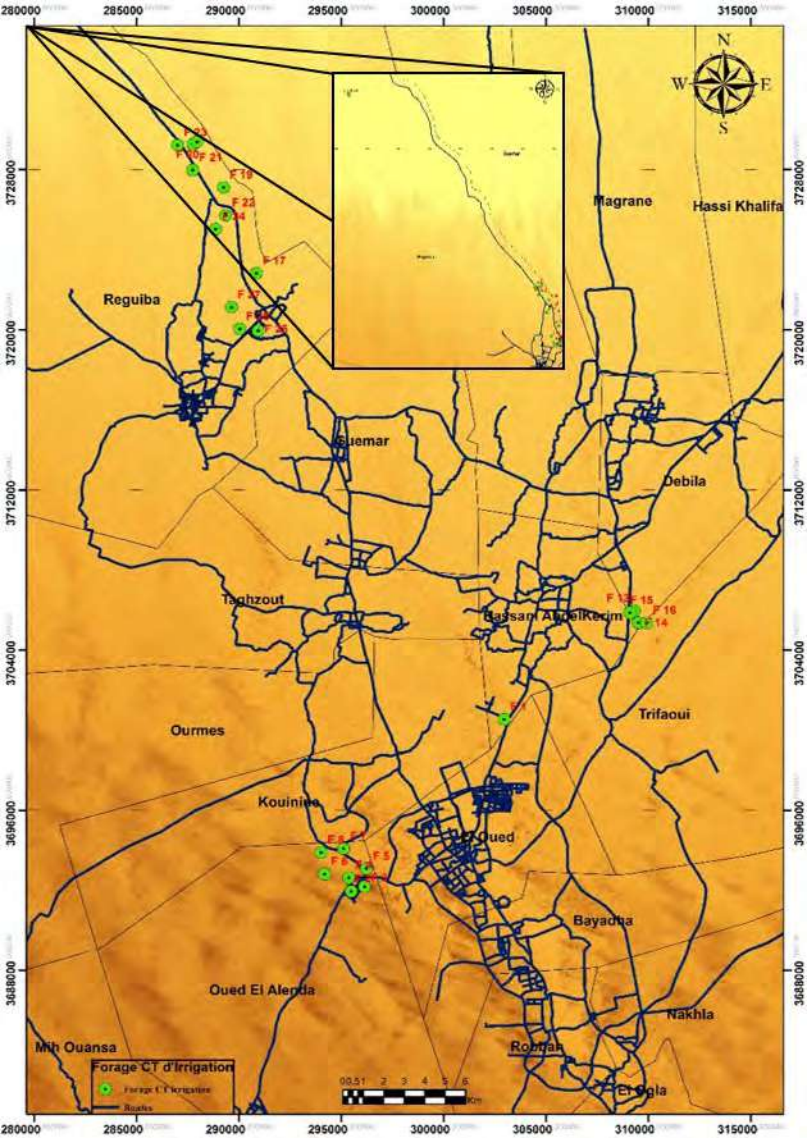
Nom	Piez	X	Y	Z	Ns	Np
CM Ahmed Tidjani 17 Octobre	D28	299403,00	3693697,00	78,99	6,30	72,69
Souk	D29	301673,00	3693638,00	73,36	6,84	66,52
APC El Oued	D30	300585,00	3693635,00	80,31	8,43	71,88
Lycée Abdelaziz cherif	D31	300116,00	3693688,00	81,21	8,64	72,57
Chateau d'eau Sidi Mestour	D32	302329,00	3693594,00	70,33	1,96	68,37
Cité Ouled Ahmed	D33	301380,00	3693407,00	80,06	9,24	70,82
ADE centre ville	D34	300899,00	3693488,00	80,81	1,11	79,70
ST3	D35	299568,00	3693479,00	78,90	5,19	73,71
ST 400logements	D36	300523,00	3693234,00	79,66	8,45	71,21
CFPA 3	D37	301050,00	3693084,00	80,31	5,90	74,41
CM Bachir Djab Alah	D38	302280,00	3692942,00	71,60	6,38	65,22
Ecole Mouhamed Serouti	D39	299686,00	3692922,00	84,02	8,70	75,32
Ecole Neghmouche Mohamed Tahar	D40	300400,00	3692990,00	88,15	13,00	75,15
Ecole Ouinissi El Hachemi	D41	301608,00	3692968,00	78,61	14,46	64,15
Chateau d'eau 300 logements	D42	300775,00	3692889,00	88,78	14,34	74,44
Hôtel des Finances	D43	299680,00	3692615,00	86,88	11,70	75,18
Terrain de Sport	D44	300415,00	3692715,00	87,26	14,84	72,42
Ecole Meiaci Abdelouaheb	D45	301969,00	3692519,00	79,11	7,22	71,89
Ecole 300 logements	D46	300625,00	3692455,00	87,20	14,77	72,43
Conservation des Forets	D49	300449,00	3692086,00	89,46	16,20	73,26
CimetiÜre Sahane 1	D50	301905,00	3692009,00	78,61	4,14	74,47
Ecole Maragni Kalifa Sahane 1	D51	302291,00	3691958,00	79,33	1,70	77,63
DHW	D52	300714,00	3691754,00	92,13	19,53	72,60
Ecole Kina El Aich	D53	301880,00	3691531,00	80,32	6,68	73,64
Mosquée Sahane 2	D54	302427,00	3691432,00	78,55	4,44	74,11
Résidence Universitaire	D55	302002,00	3691174,00	77,12	9,03	68,09
Ecole Touati Ahmed Moustapha 1	D56	302606,00	3691009,00	79,45	5,80	73,65
Ecole Mirhouet Ali Ouled Touat	D57	303165,00	3690813,00	78,65	4,80	73,85
Ecole Bekakra Ben Ali	D58	302409,00	3690660,00	75,93	8,53	67,40

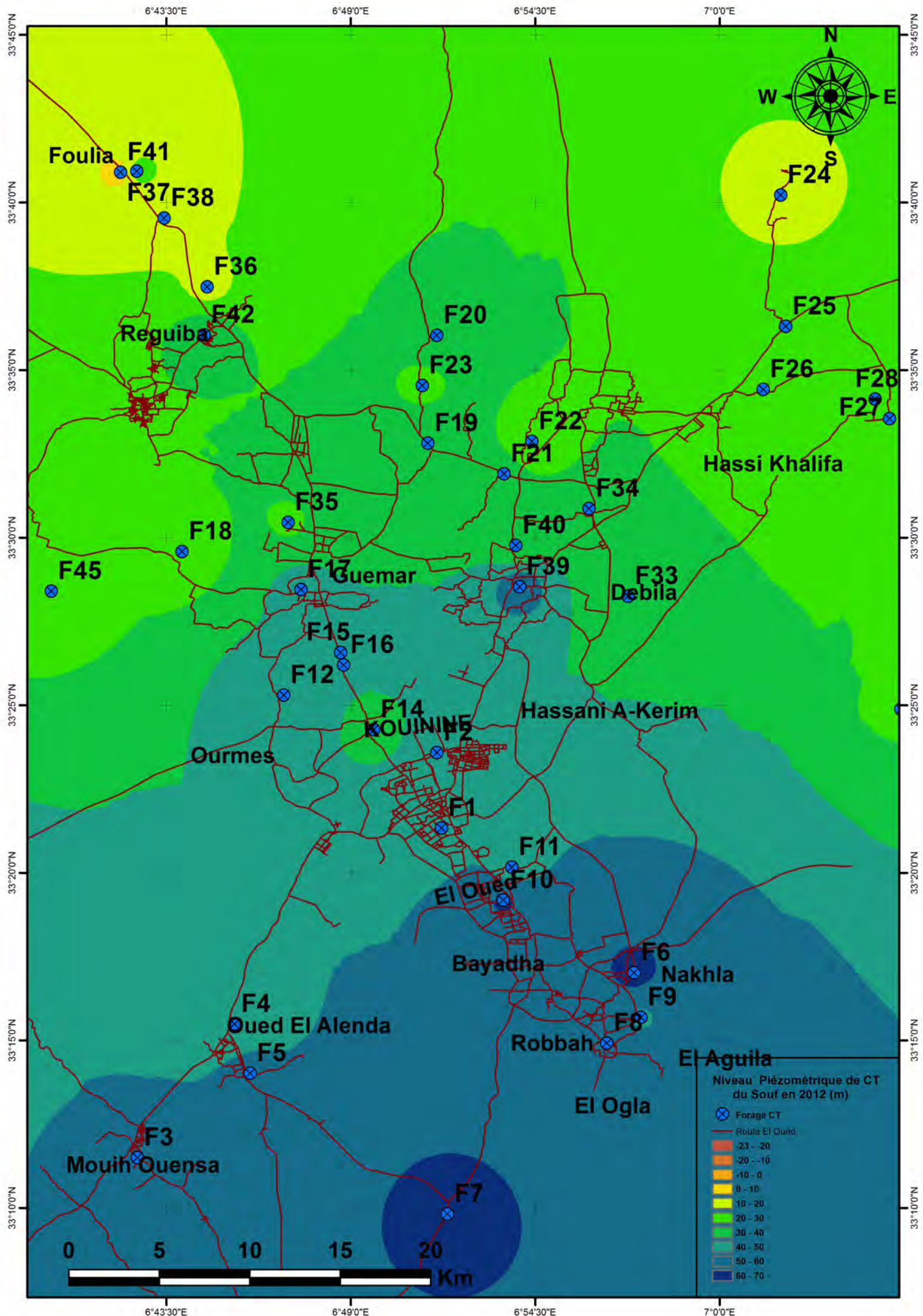
Annexe II



Forage CT d'AEP
● CT "AEP"

5 10 20
Kilometers Routes





Foulia F41
F37 F38

F36
F42

Reguiba

F20
F23
F19

F24

F25

F26
F28
F27

Hassi Khalifa

F18

F35

F22

F34

F45

F17

F40

F33
Debila

F15 F16

F12

F14

Hassani A-Kerim

Ourmes

KOUININE

F11
F10
El Oued

Bayadha

F6
Nakhla
F9

F4
Oued El Alenda
F5

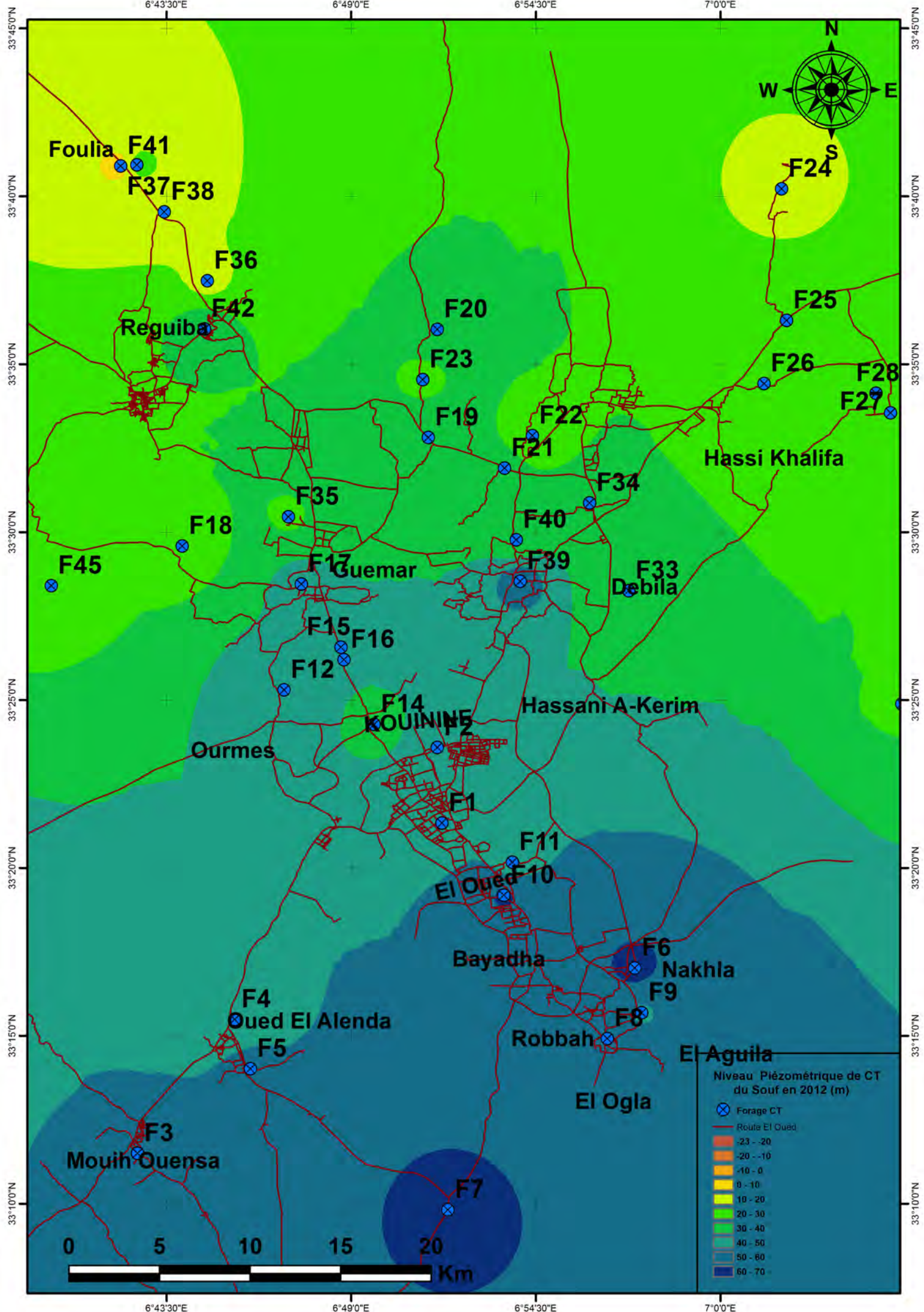
Robbah

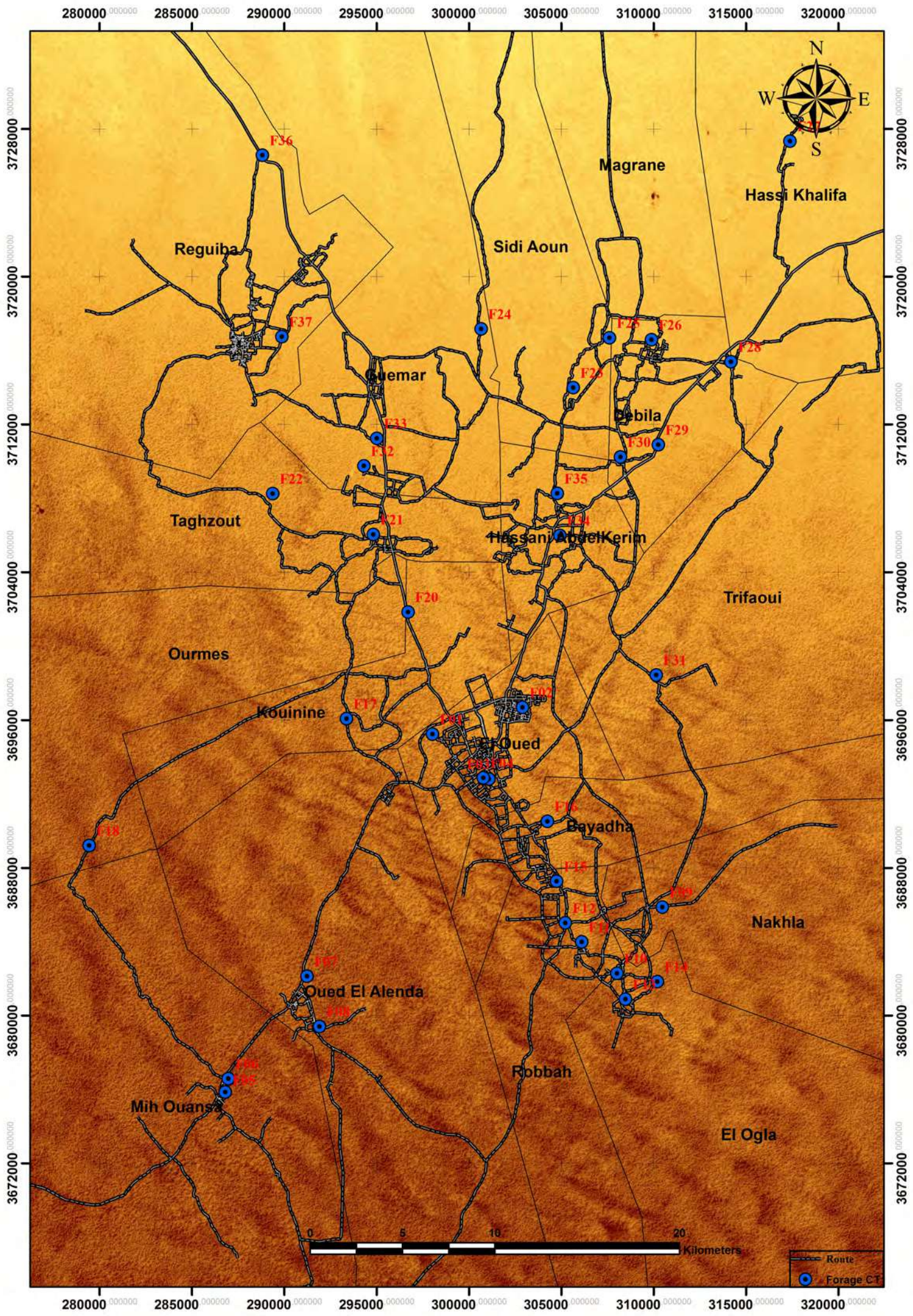
El Aguila

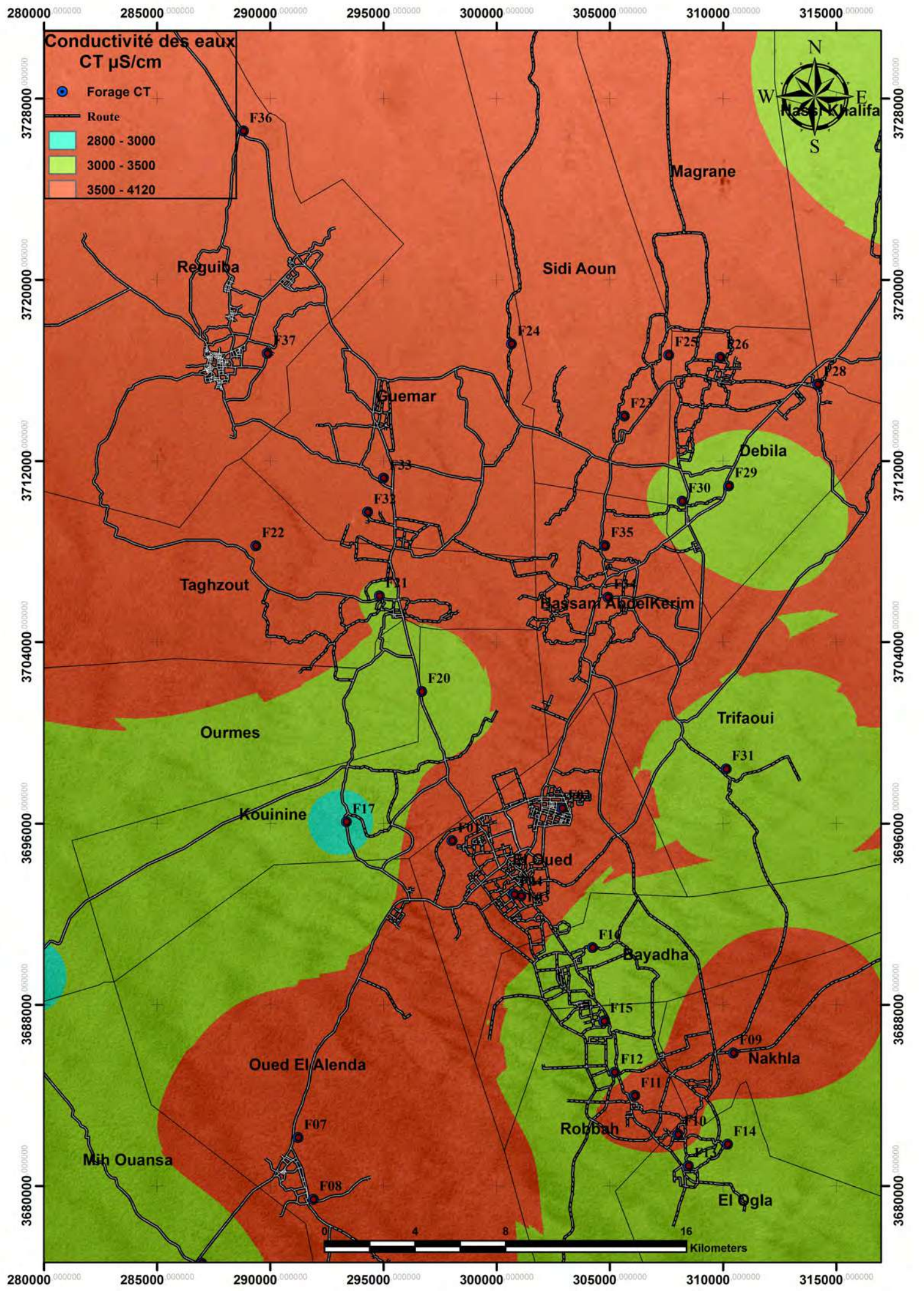
El Ogla

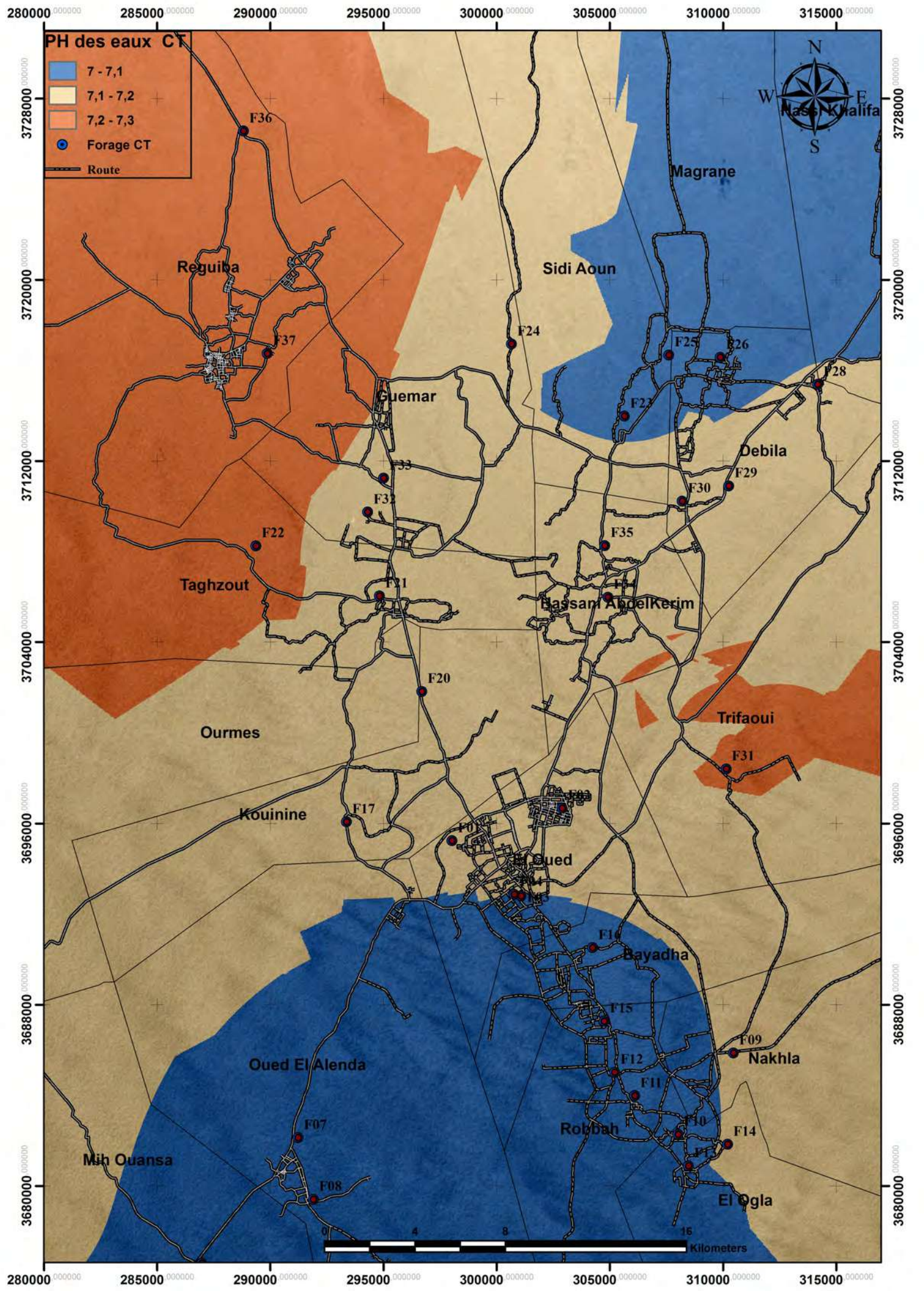
F3
Mouih Ouensa

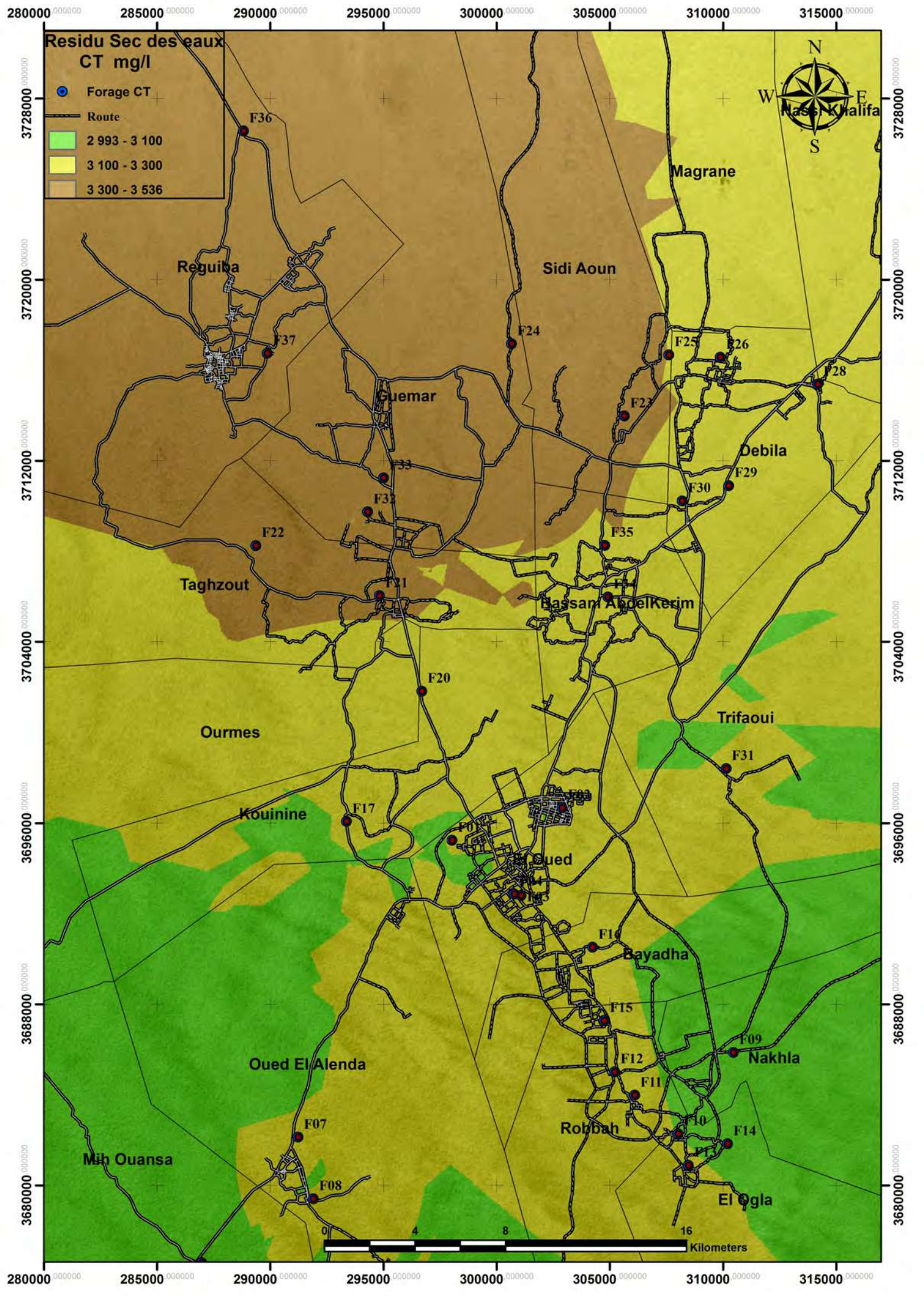
F7

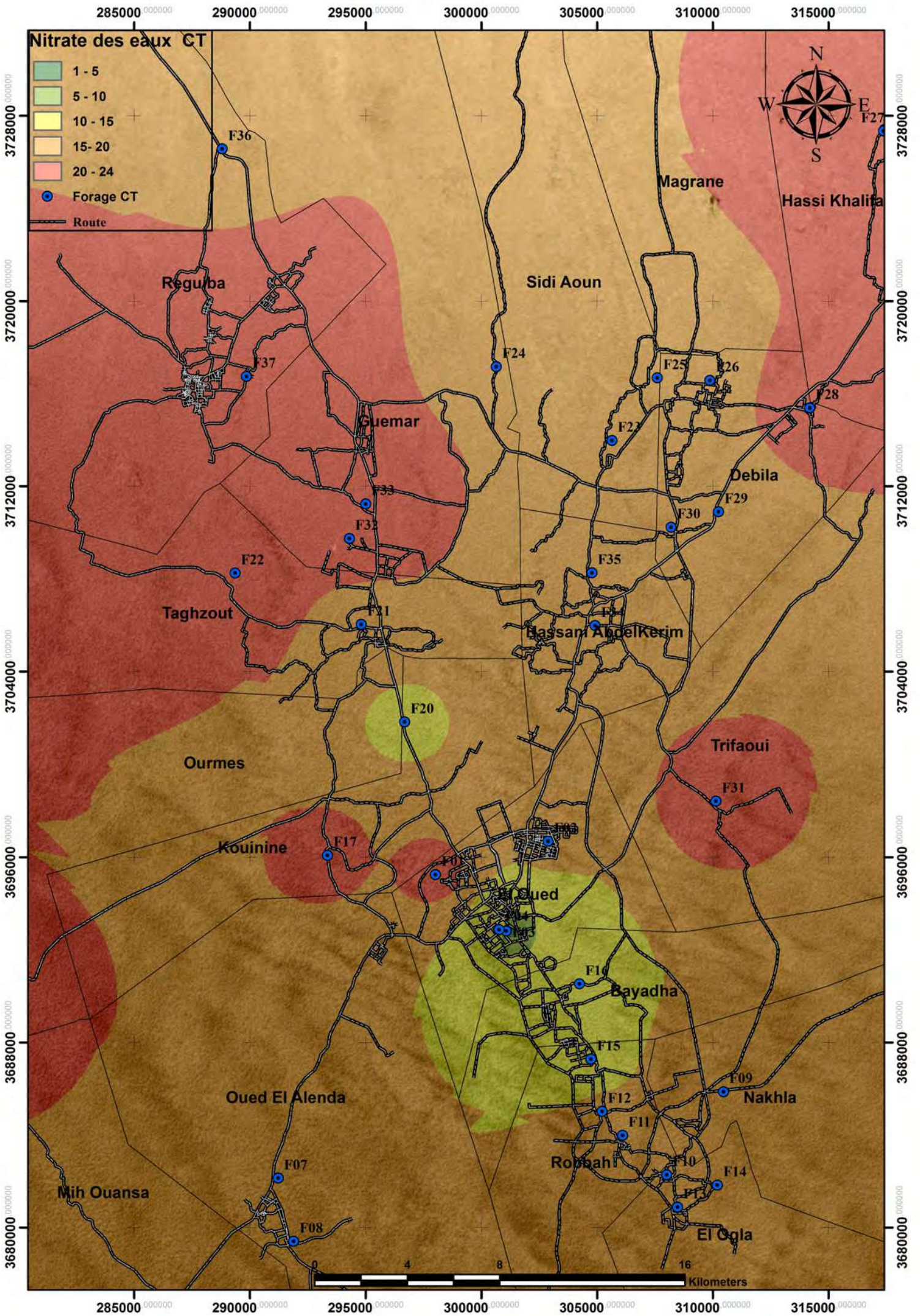


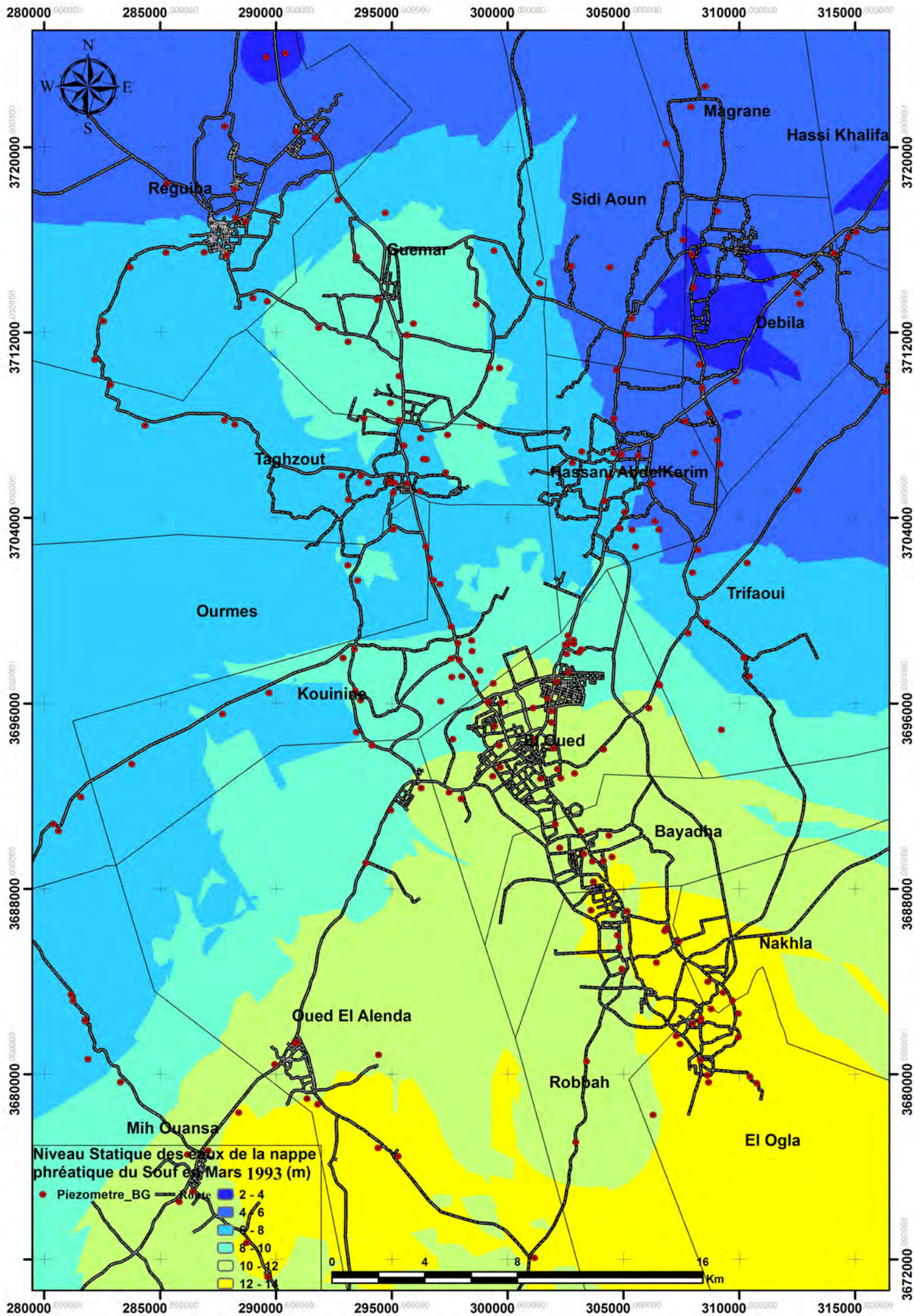










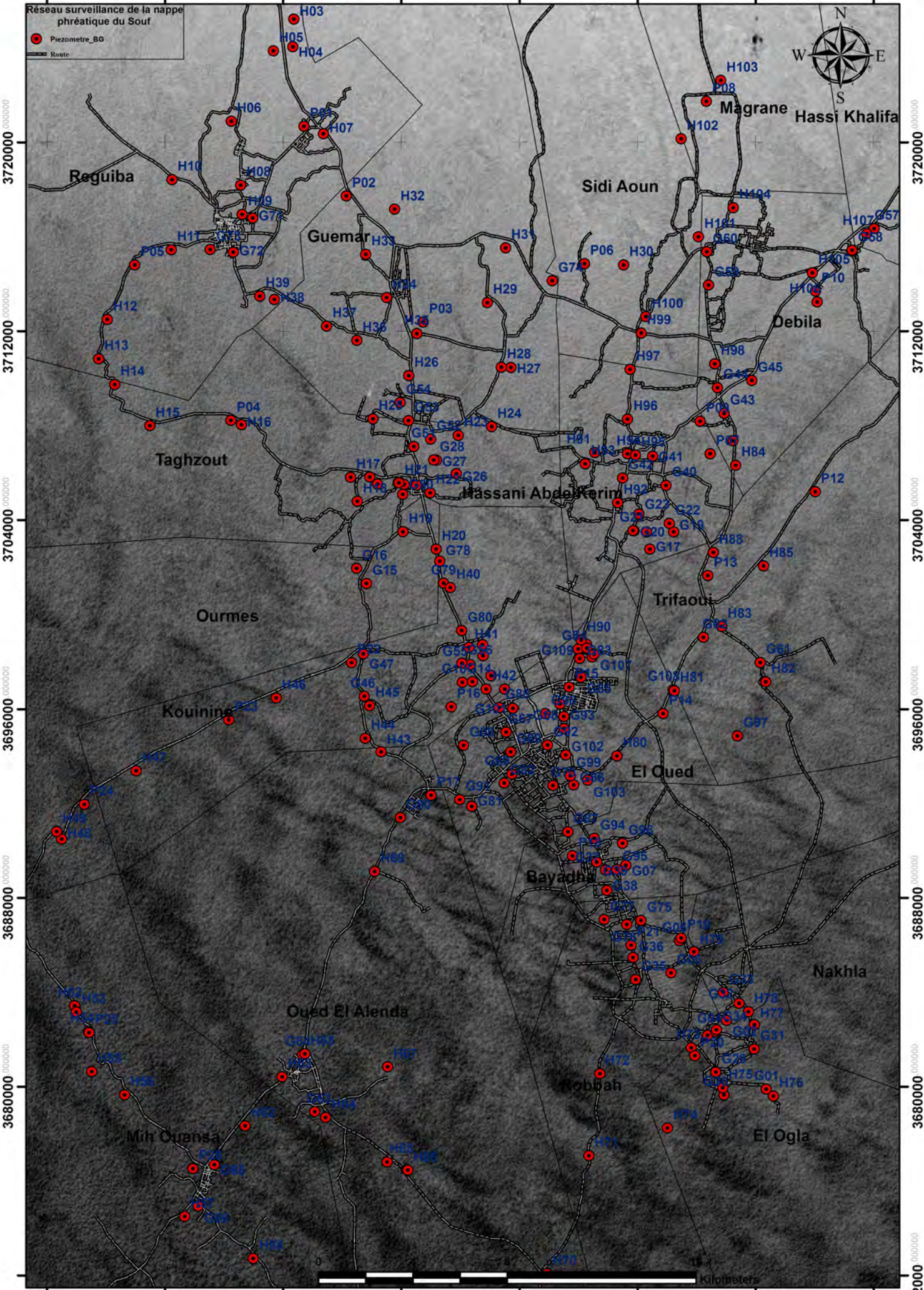


280000 000000 285000 000000 290000 000000 295000 000000 300000 000000 305000 000000 310000 000000 315000 000000

Réseau surveillance de la nappe phréatique du Souf

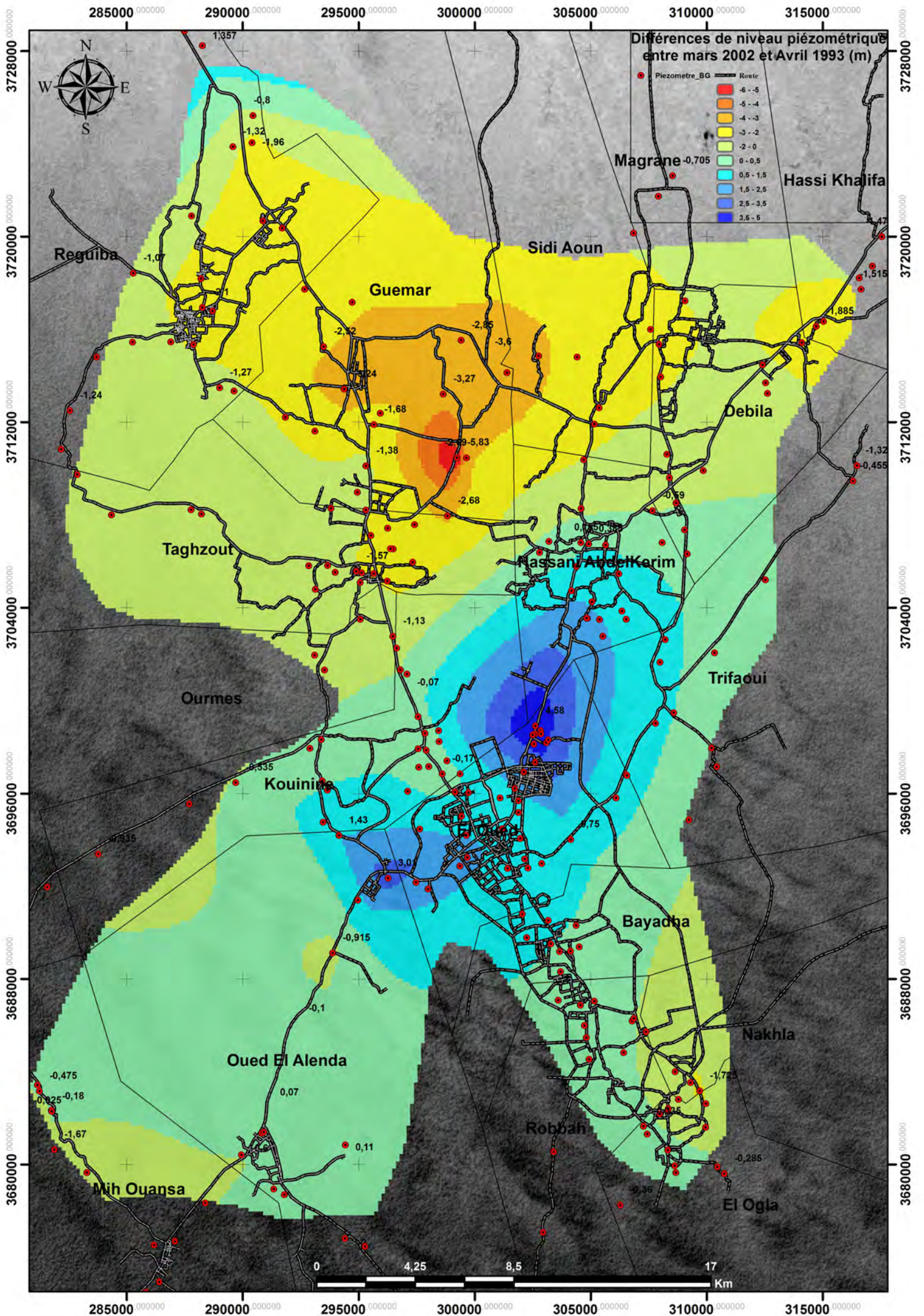


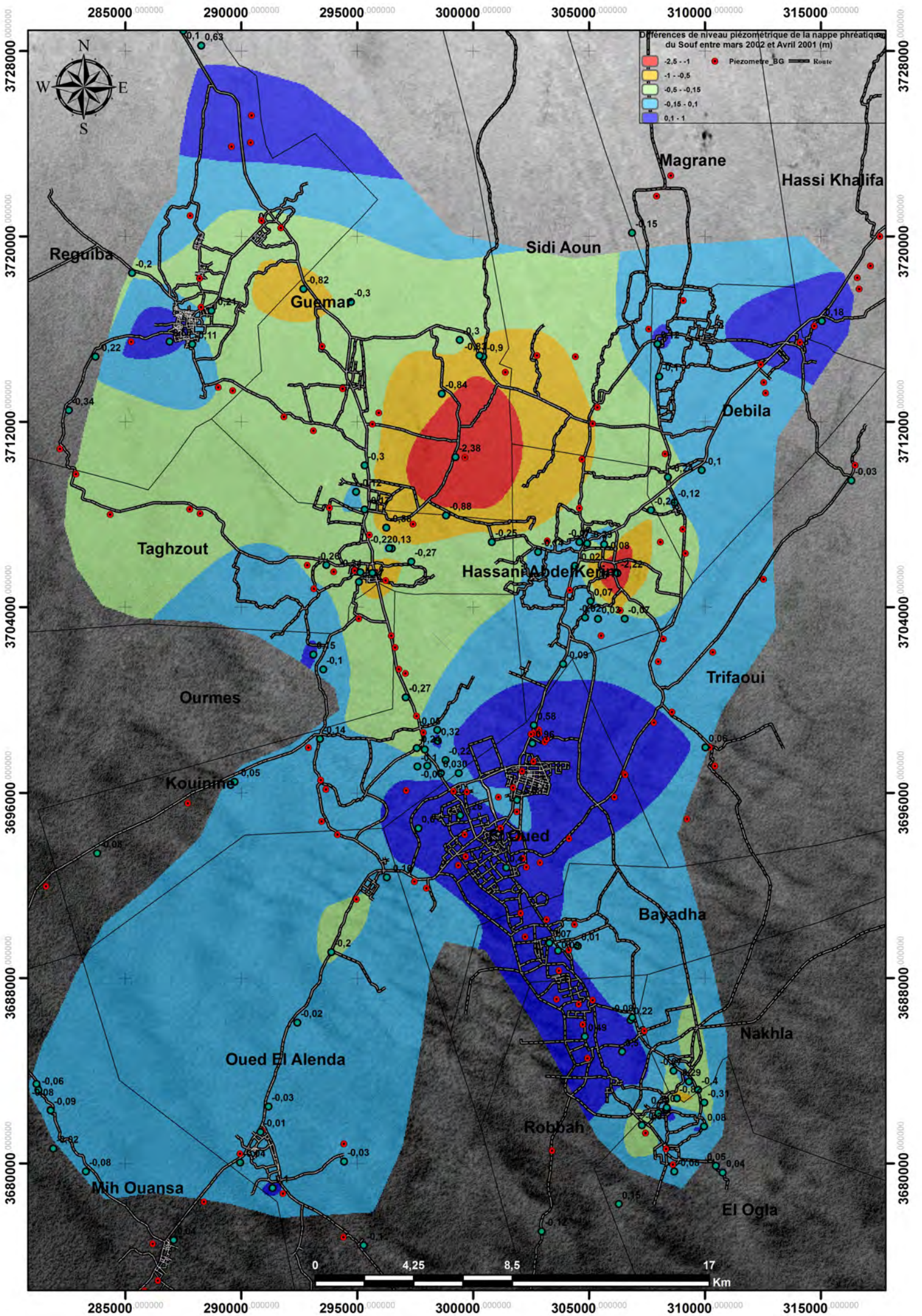
Piezometre_BG

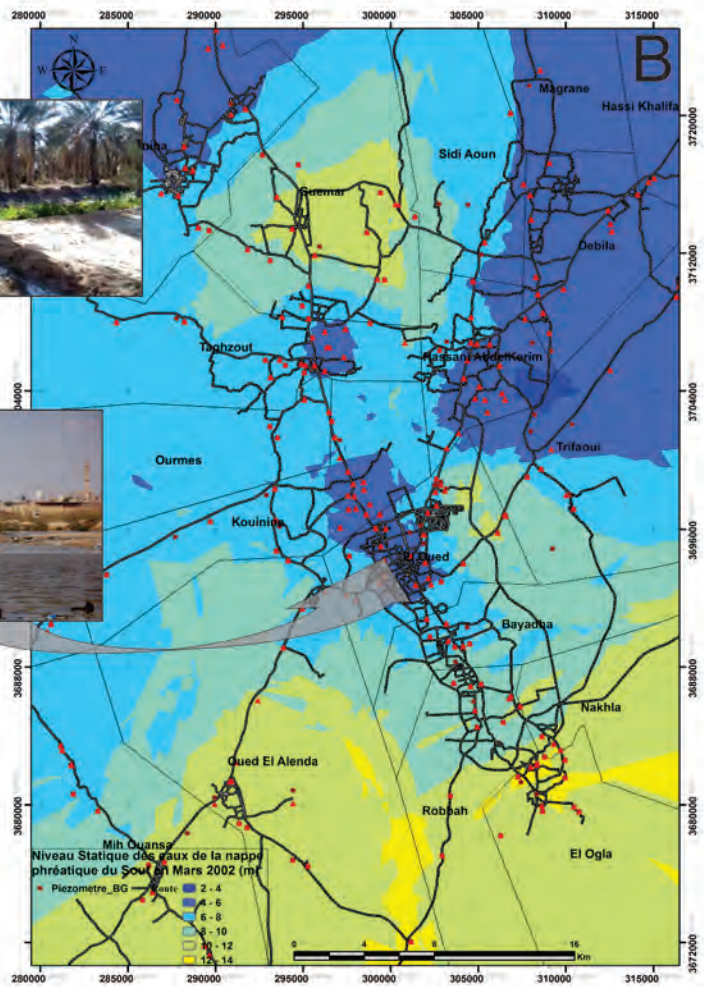
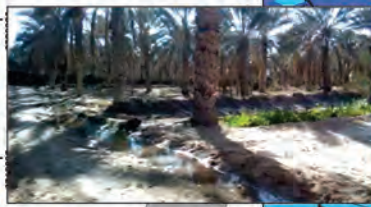
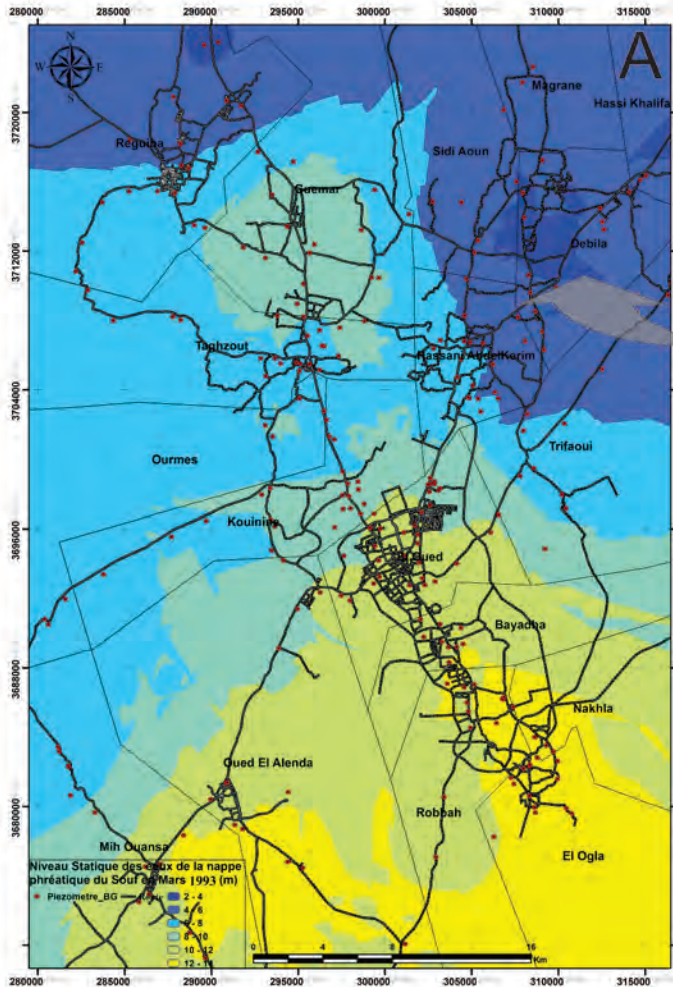


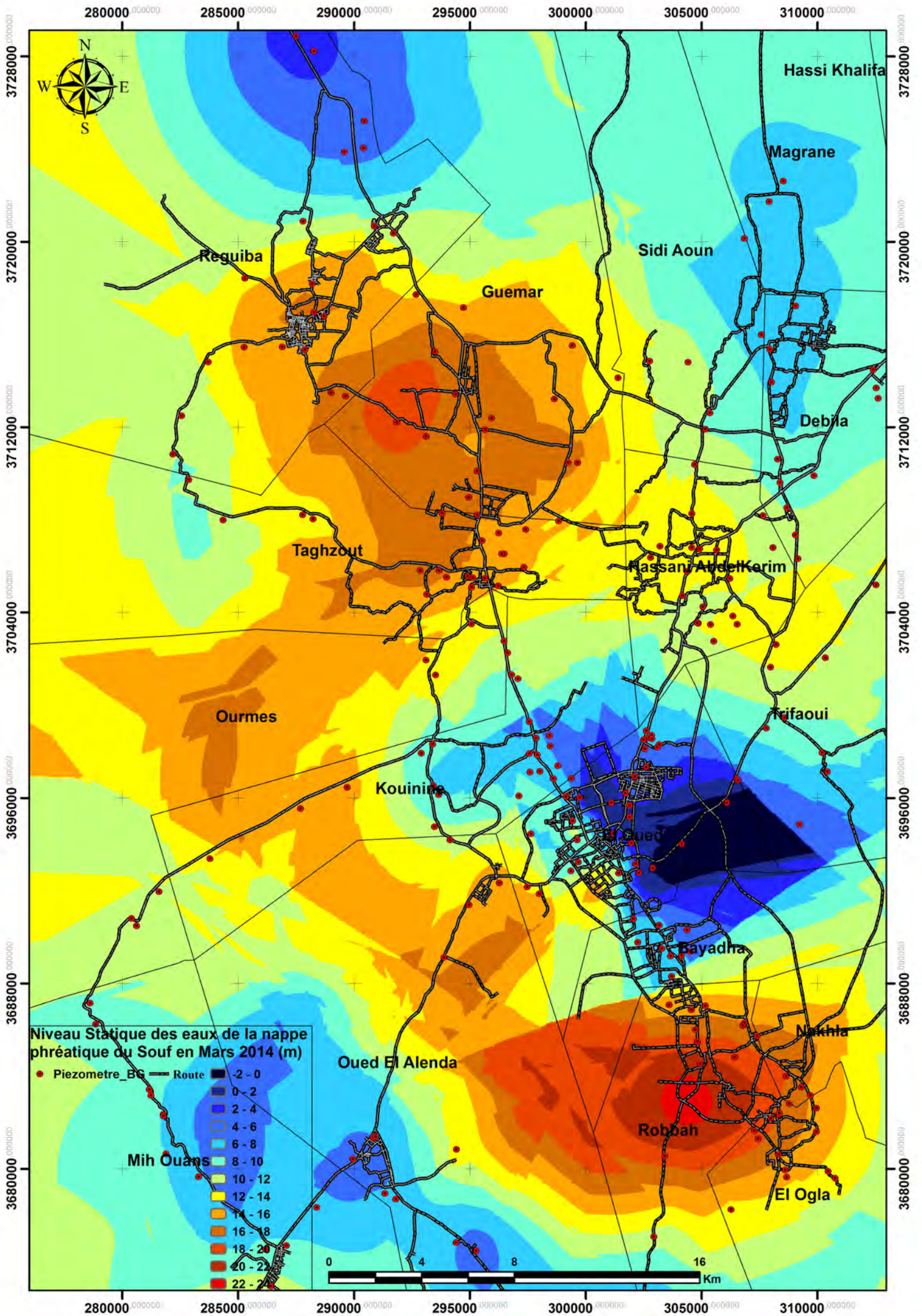
280000 000000 285000 000000 290000 000000 295000 000000 300000 000000 305000 000000 310000 000000 315000 000000

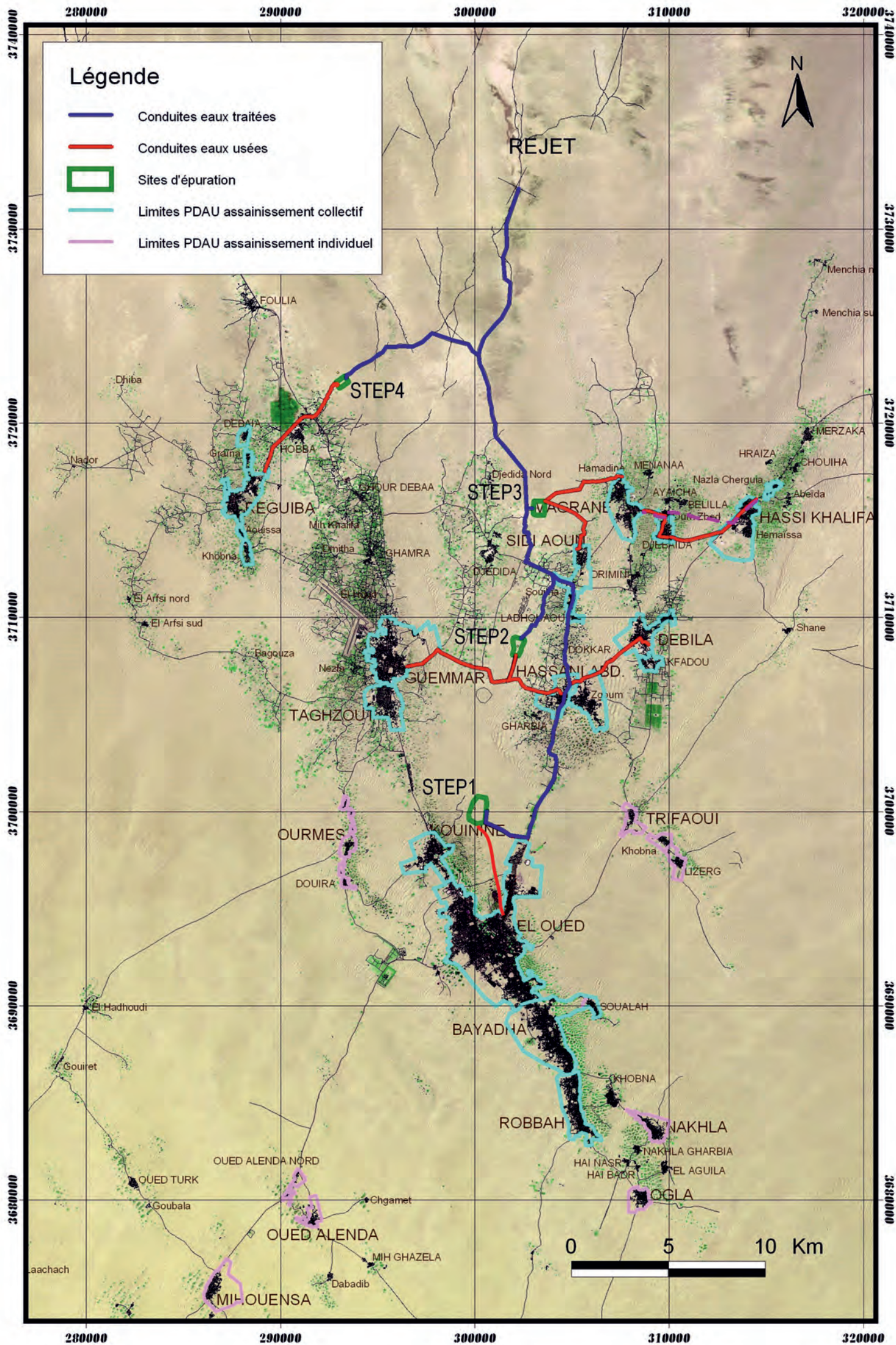
Kilometers



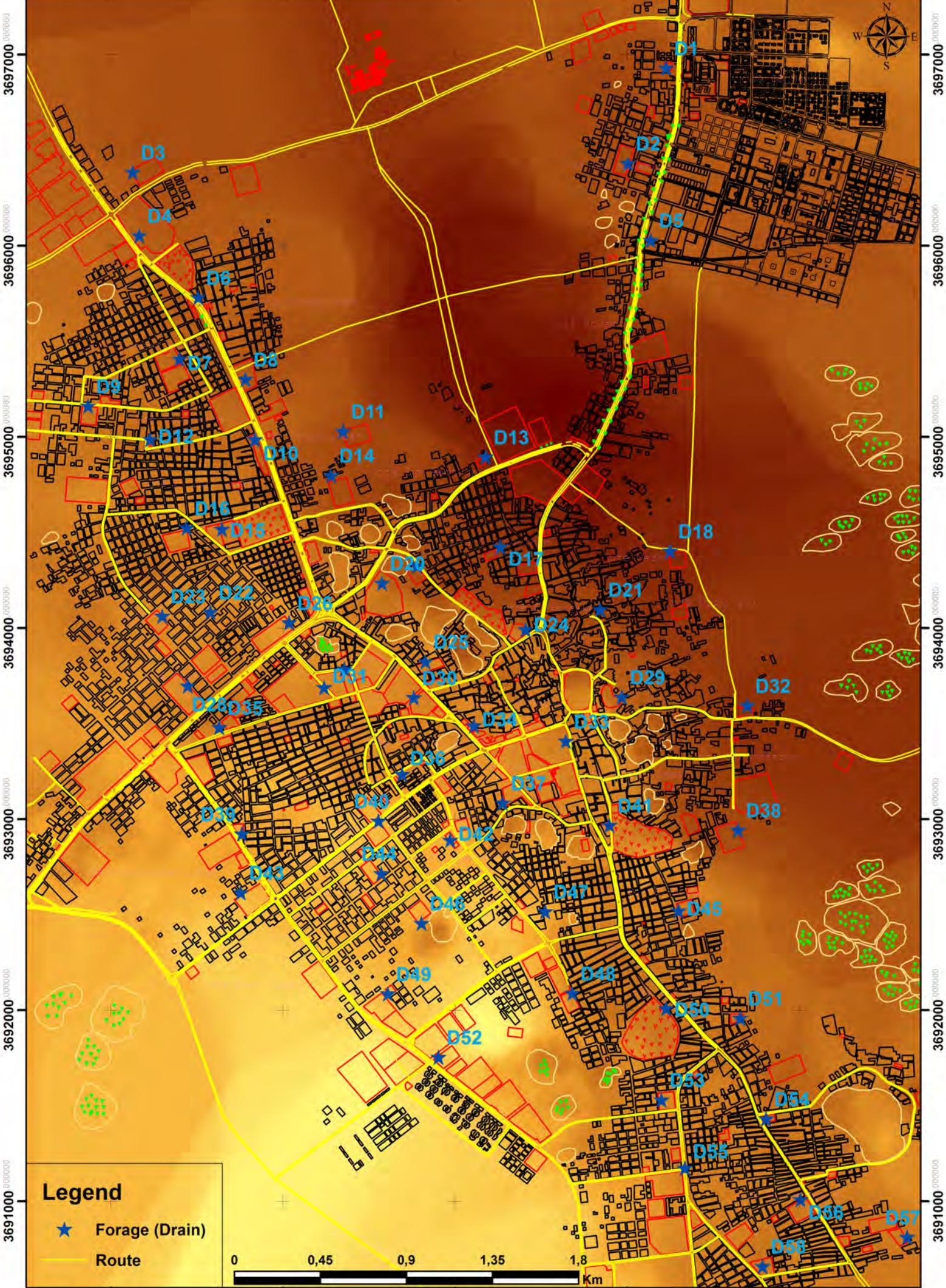








299000 299900 300800 301700 302600



Legend

- ★ Forage (Drain)
- Route



299000 299900 300800 301700 302600

299000

299900

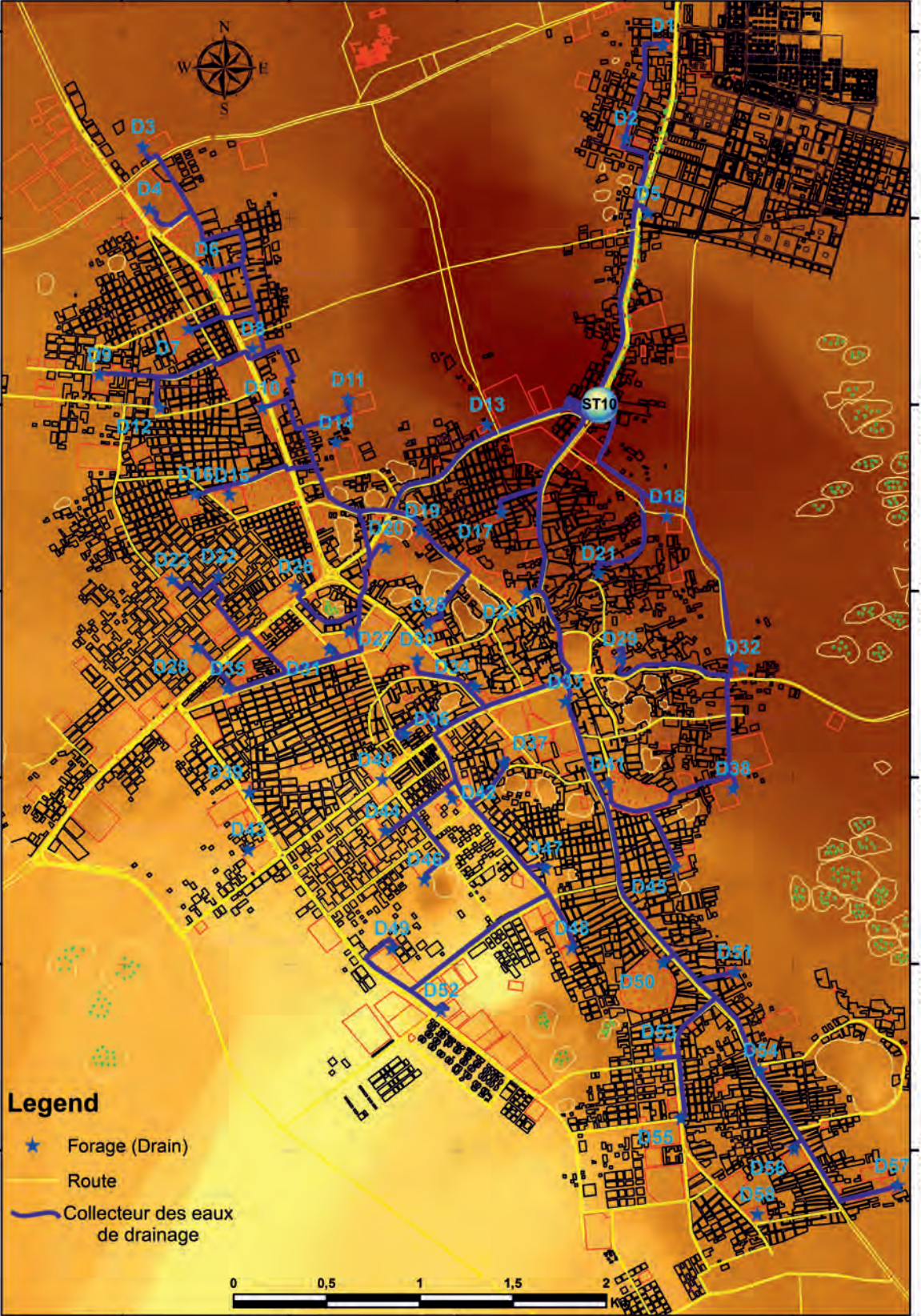
300800

301700

302600

3697000
3696000
3695000
3694000
3693000
3692000
3691000

3697000
3696000
3695000
3694000
3693000
3692000
3691000



Legend

- ★ Forage (Drain)
- Route
- Collecteur des eaux de drainage



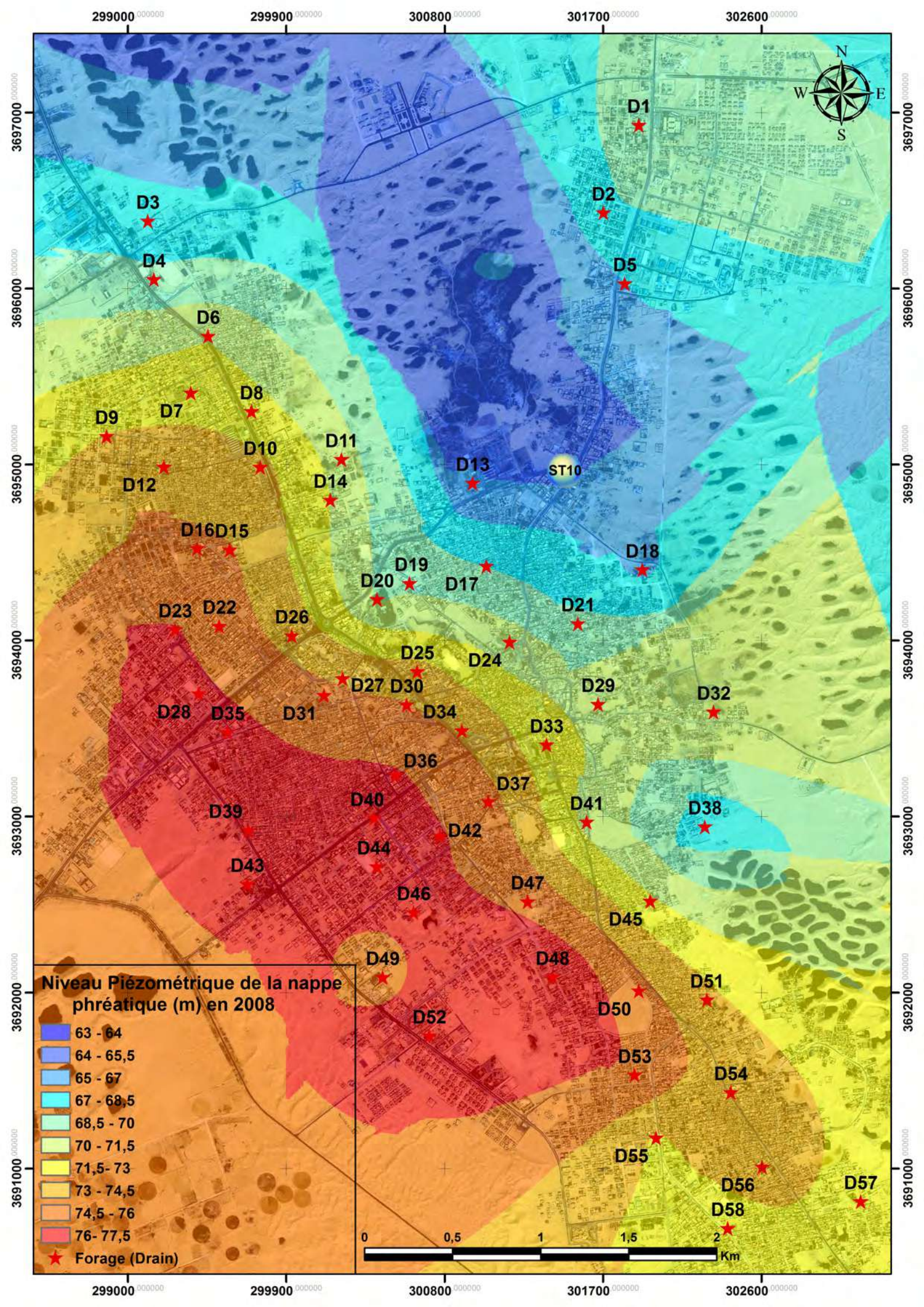
299000

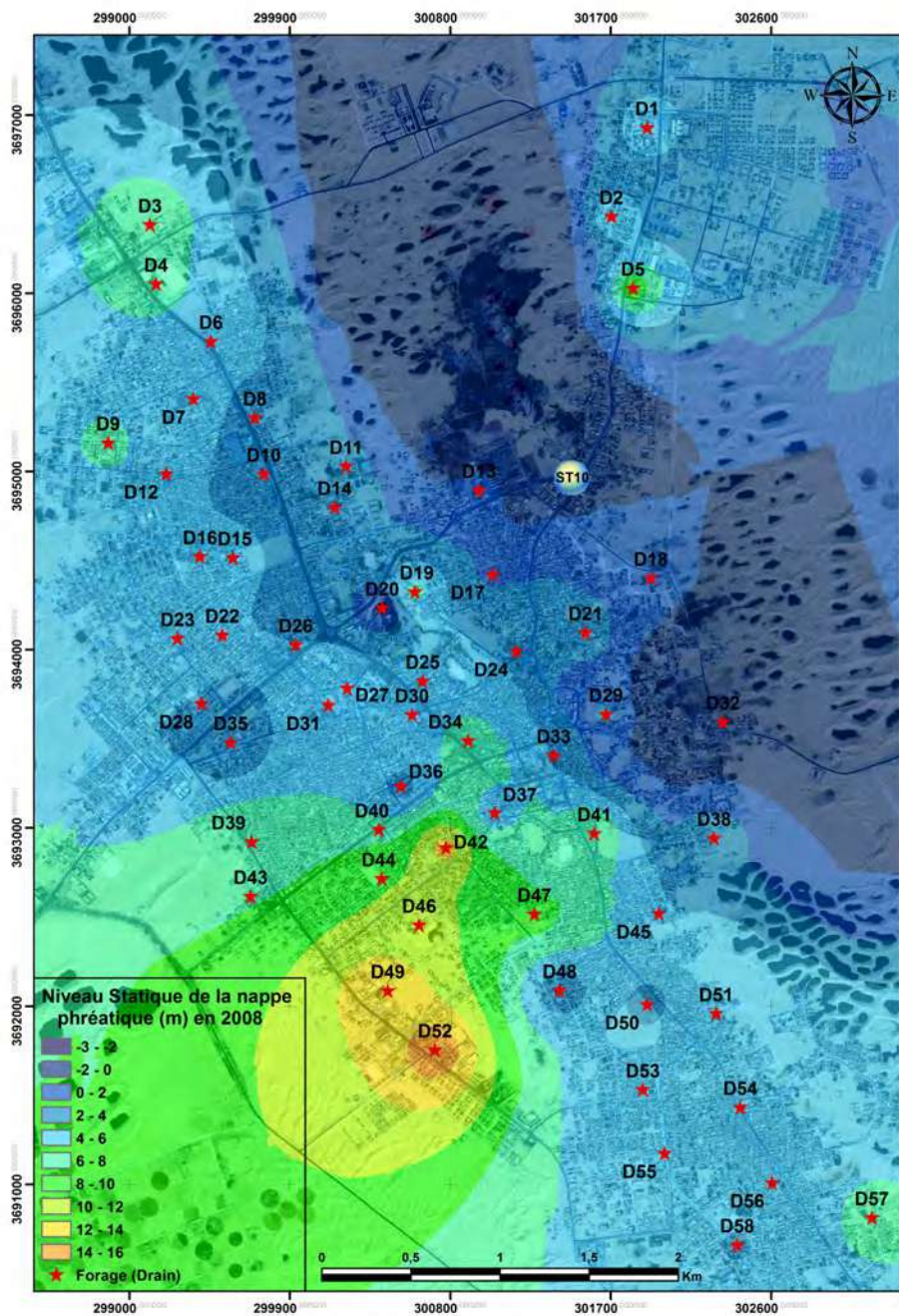
299900

300800

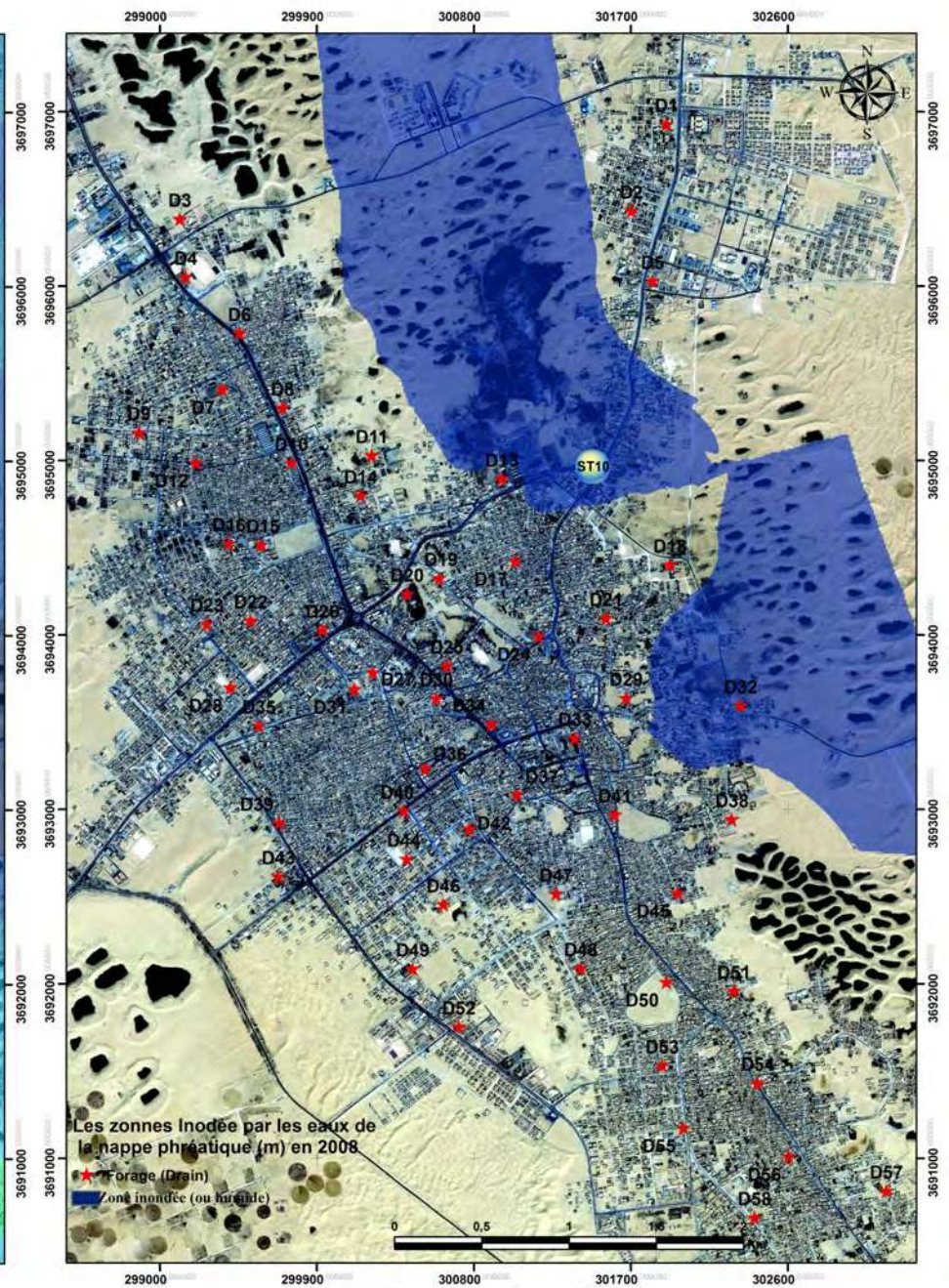
301700

302600

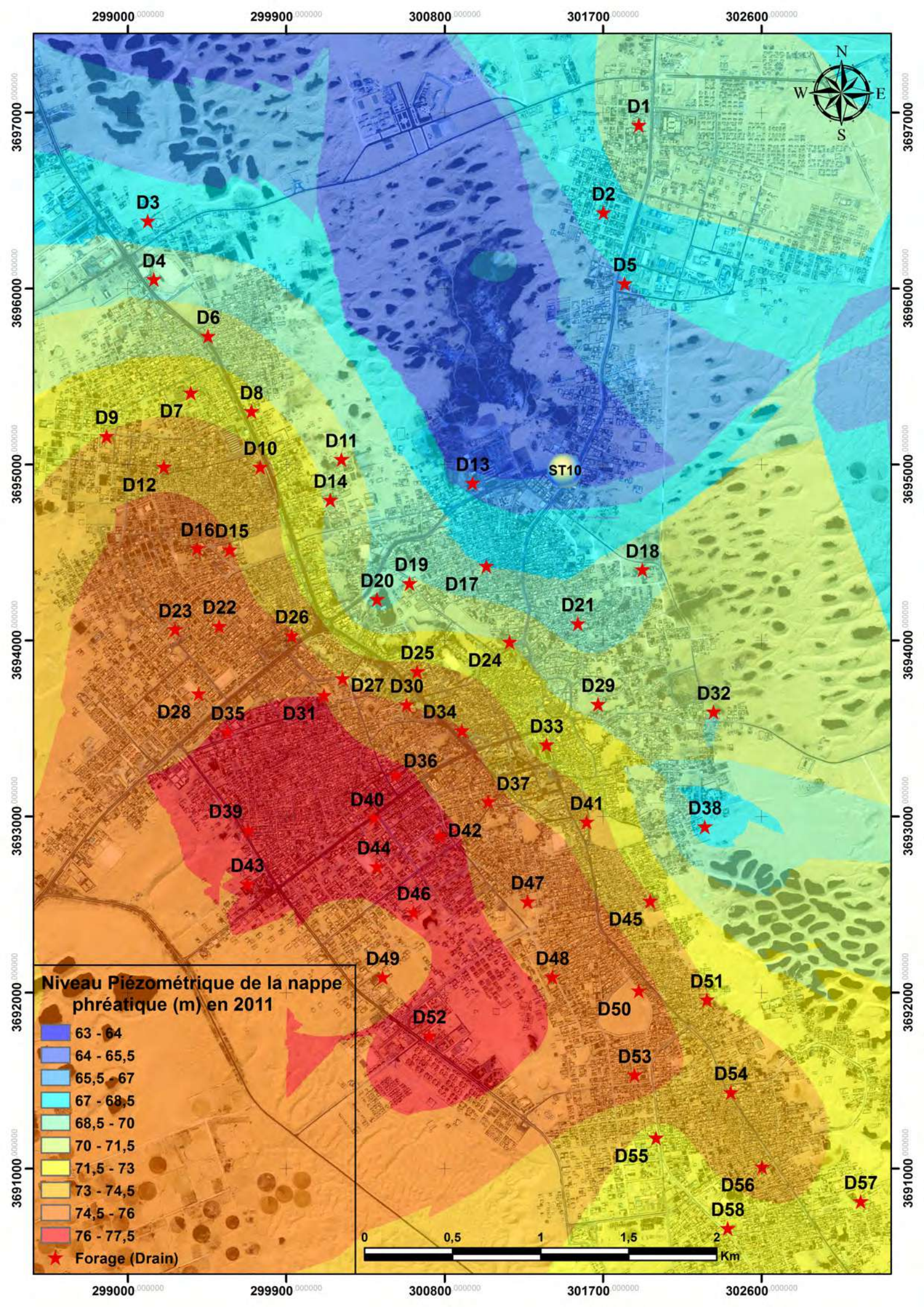


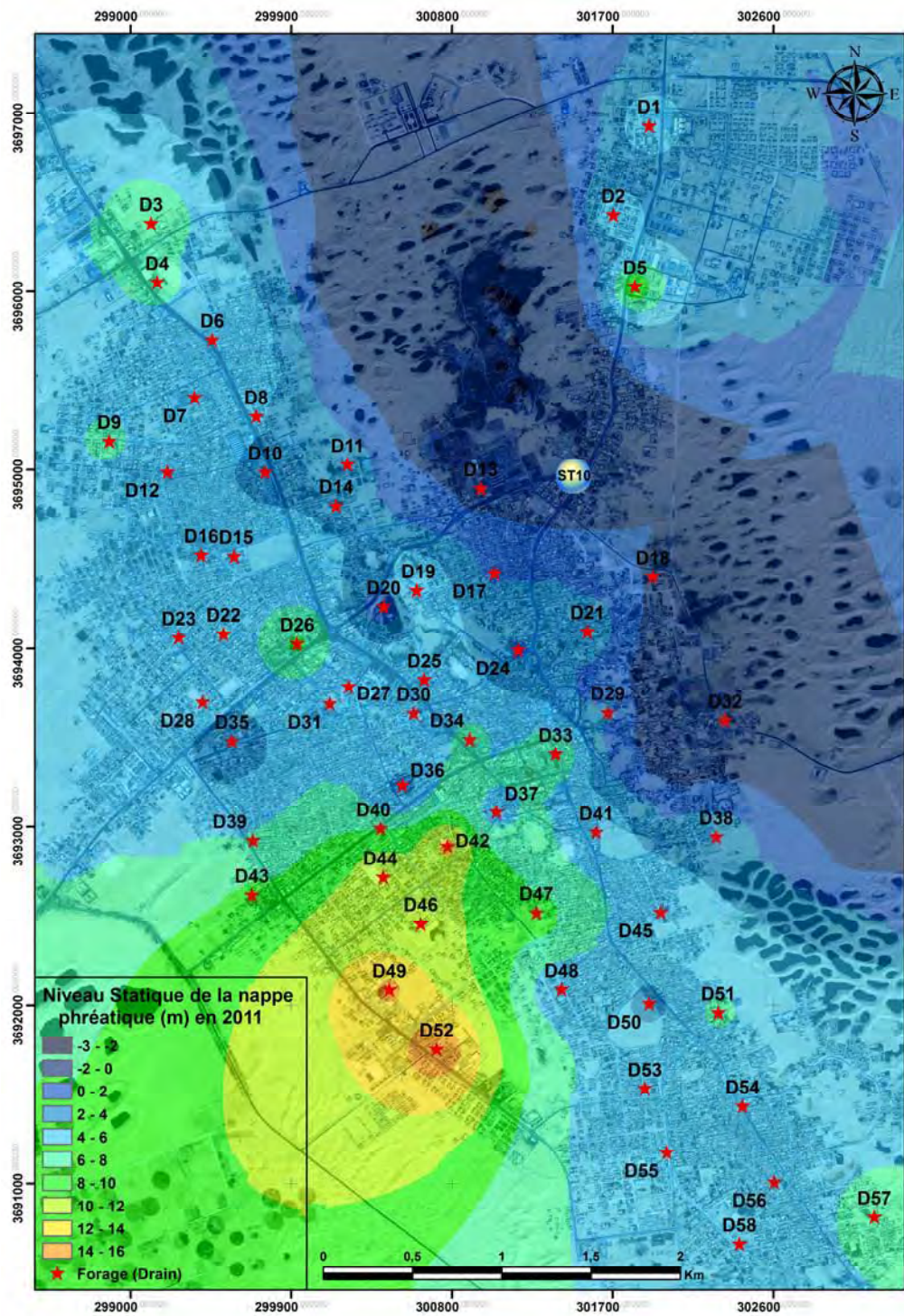


-A- Niveau statique

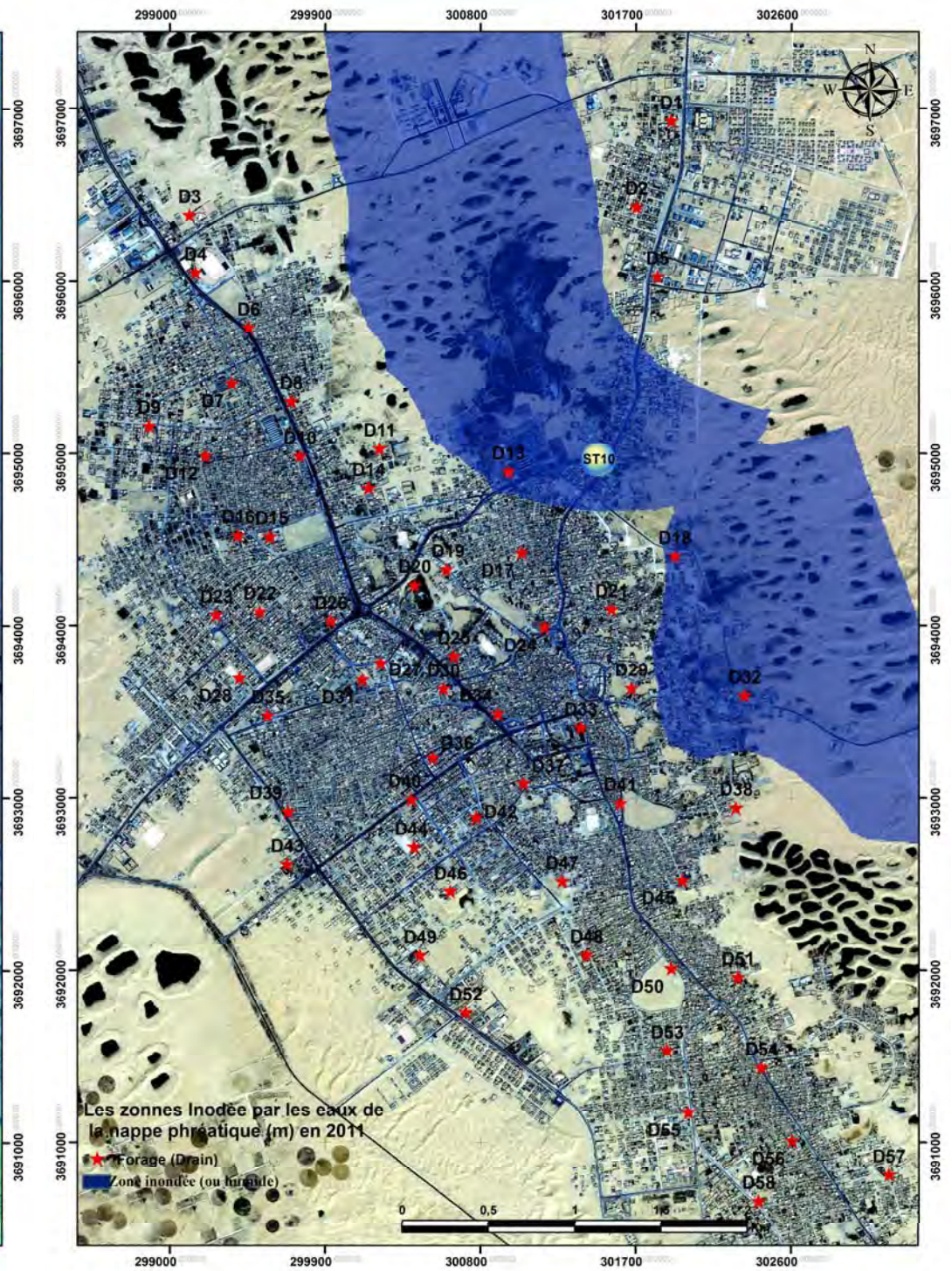


-B- Les zones inondées

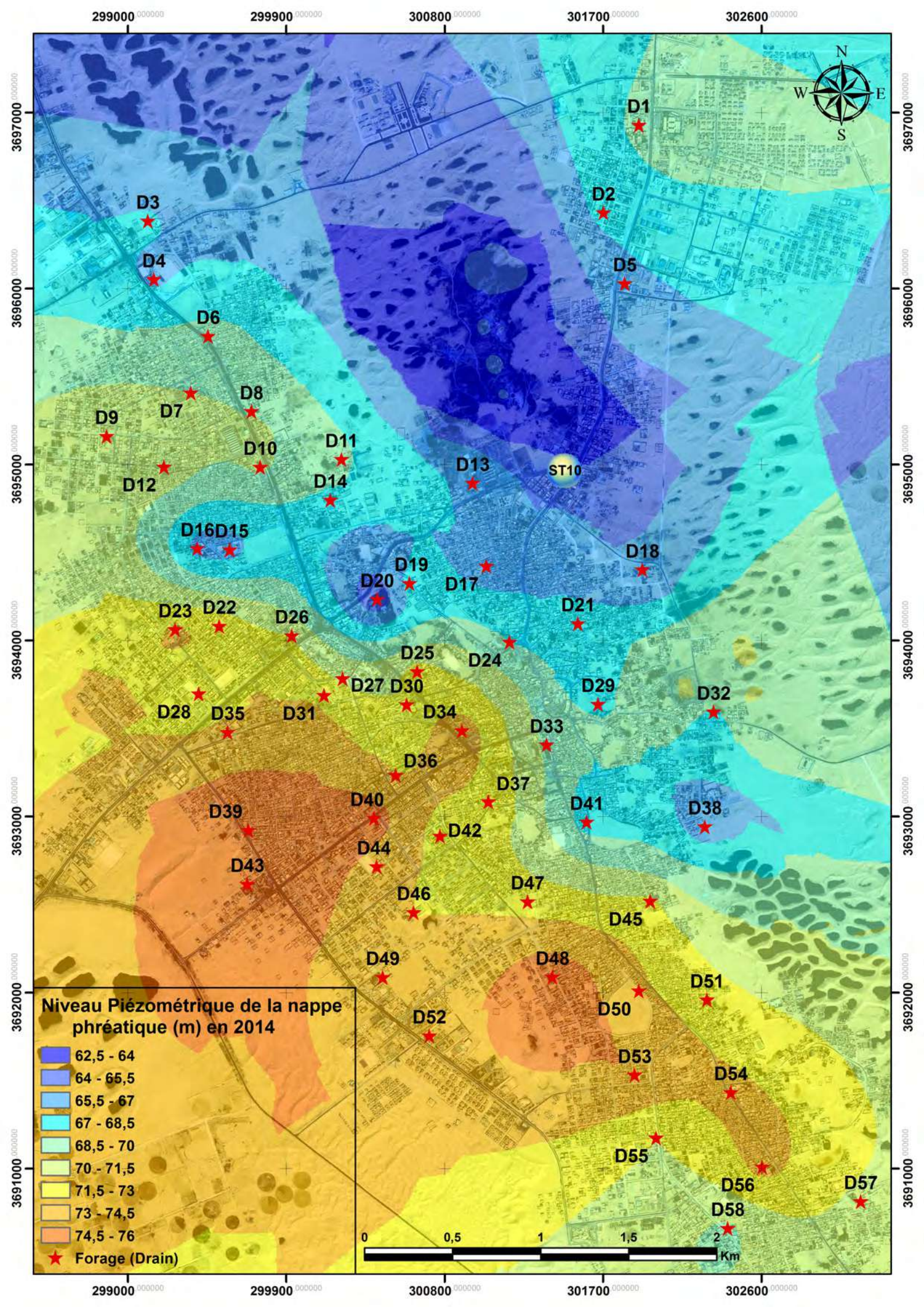


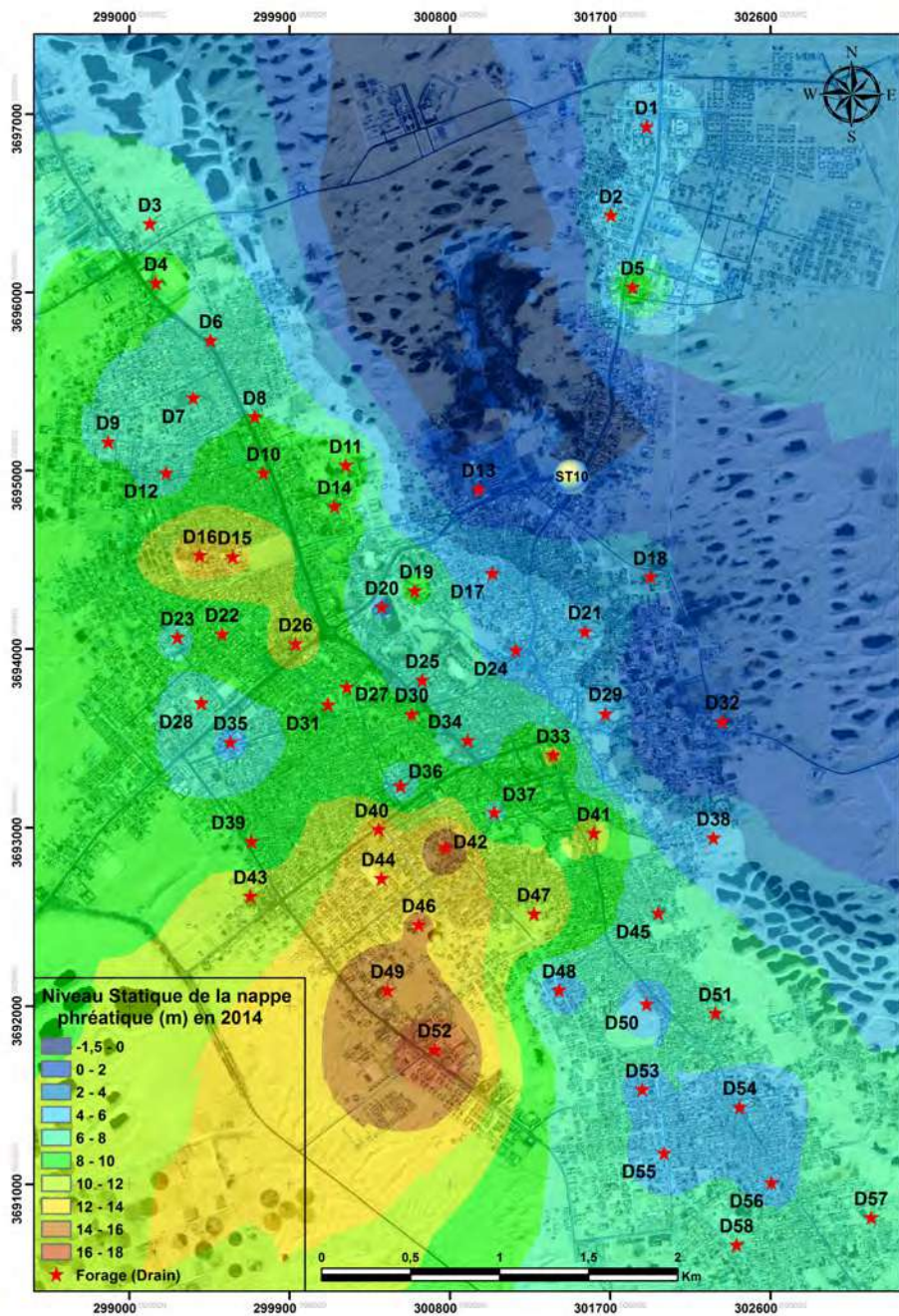


A- Niveau Statique

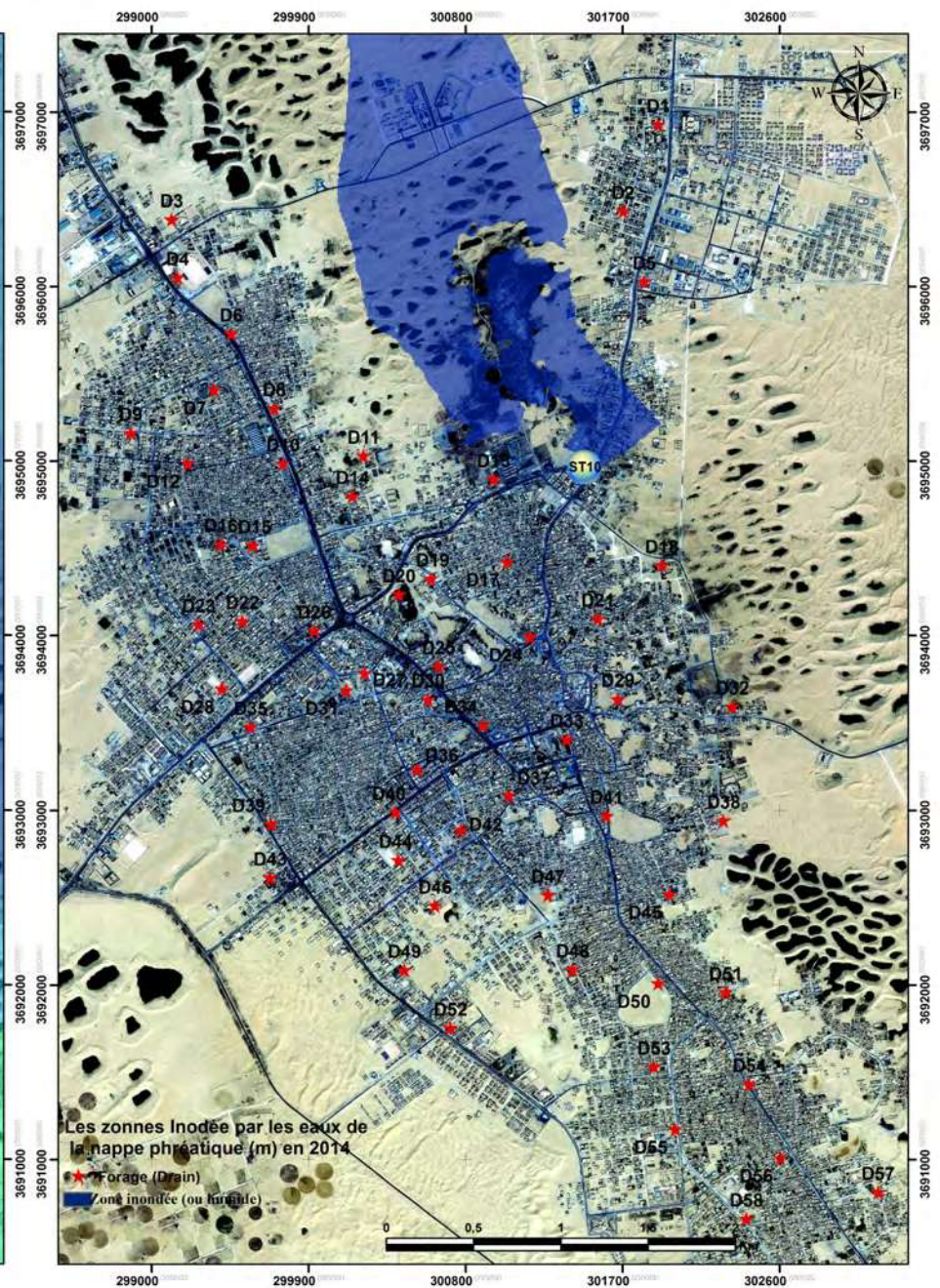


B- Les Zones Humides

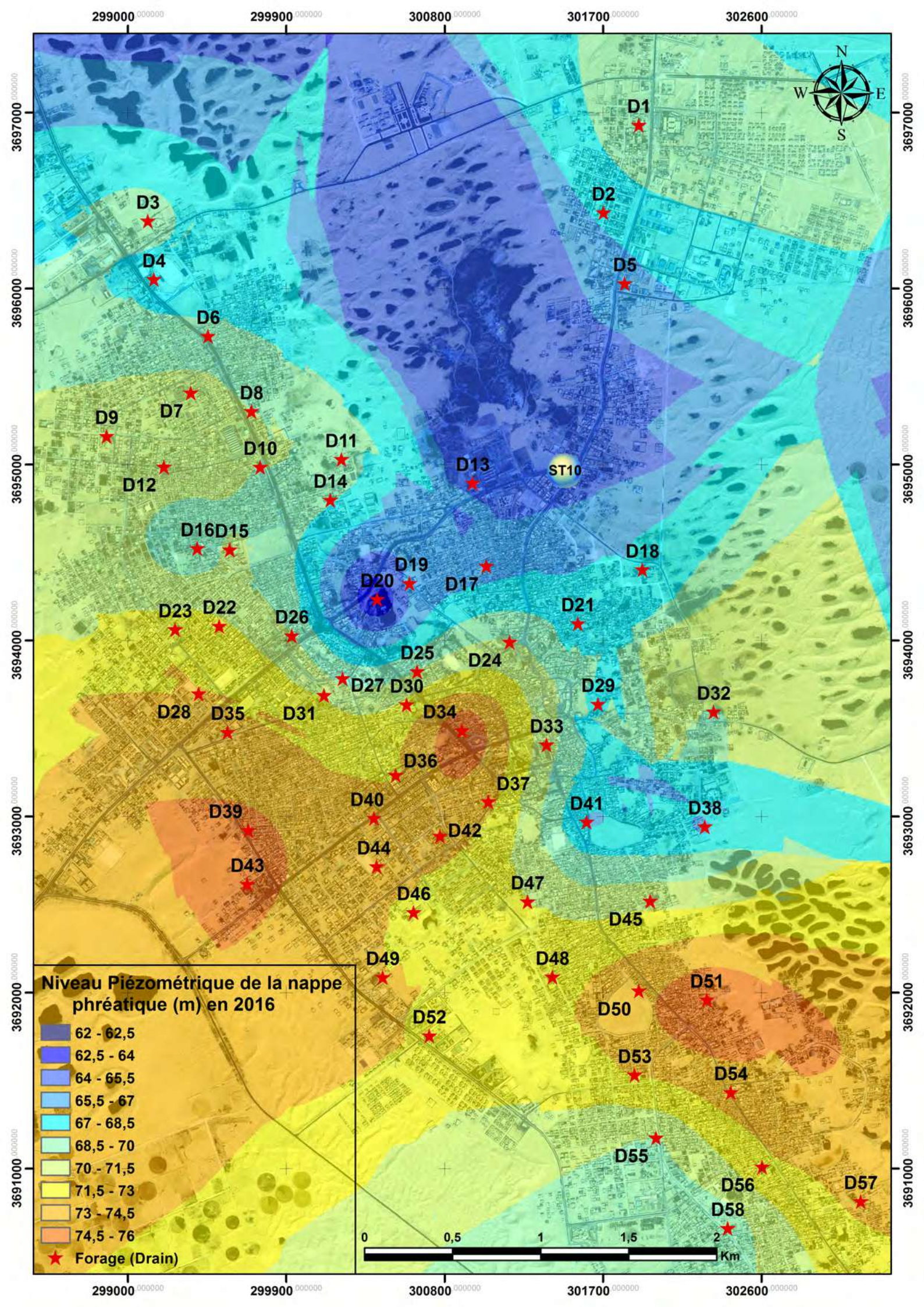


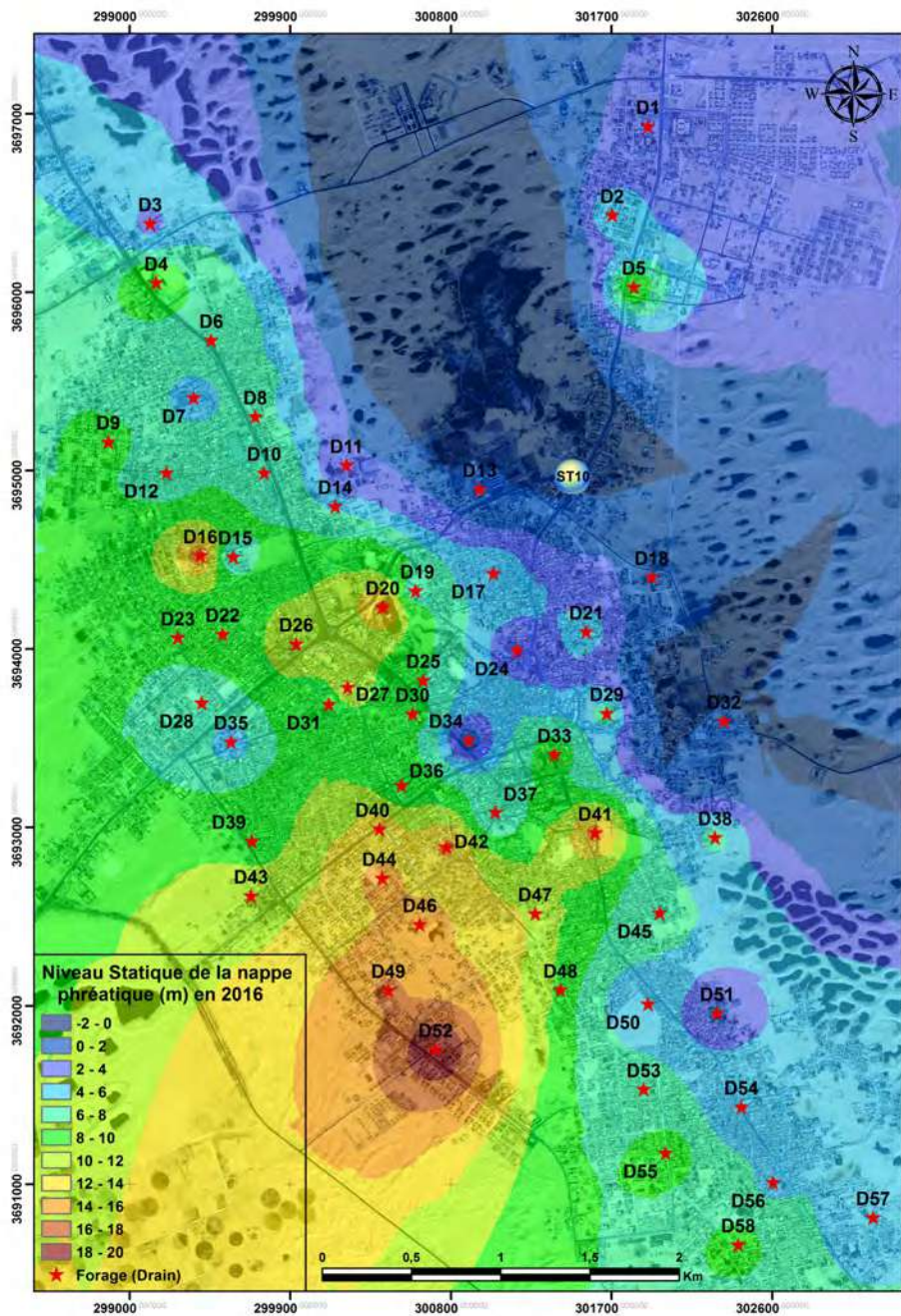


-A- Niveau statique

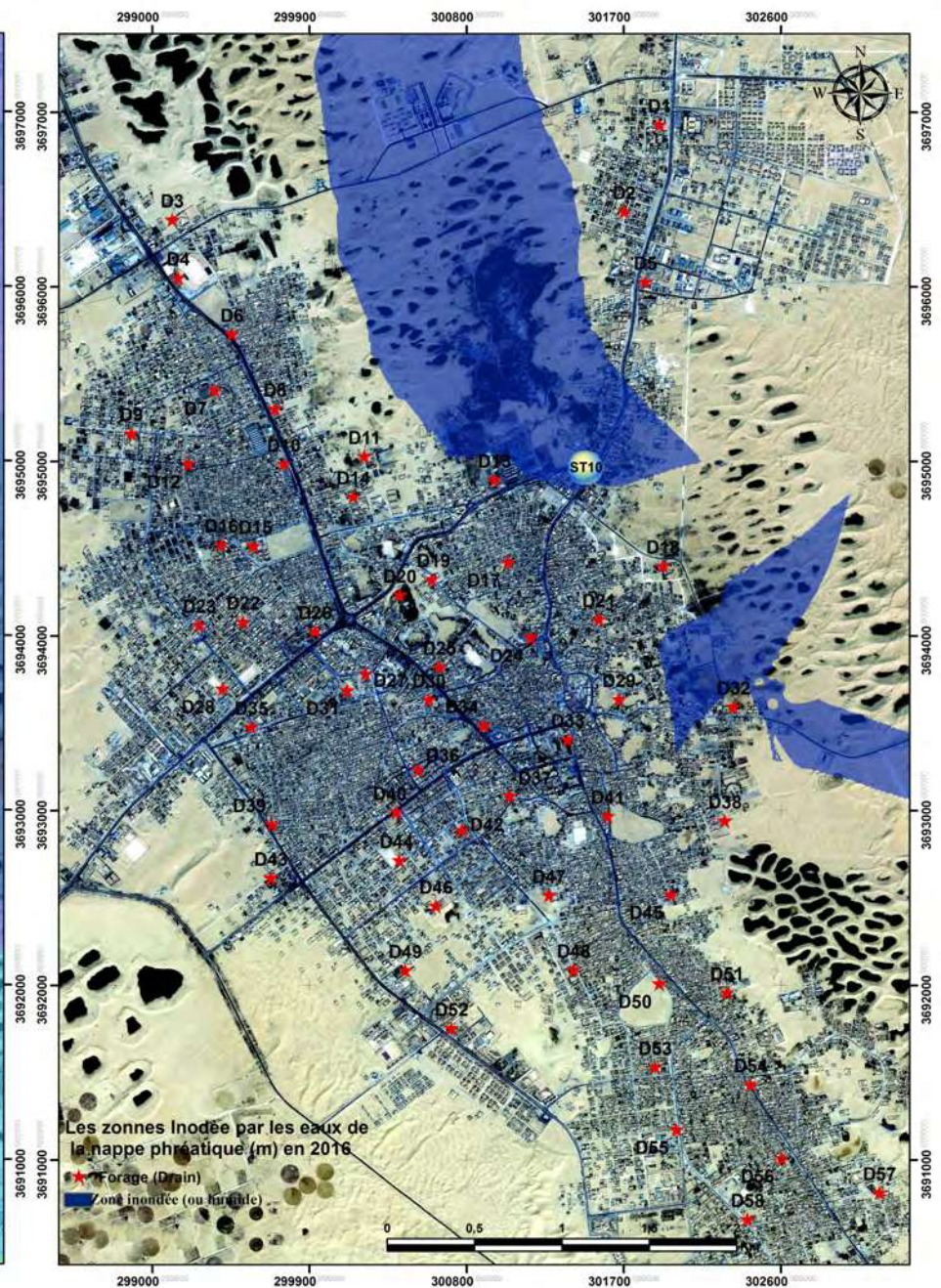


-B- Les zones inondée

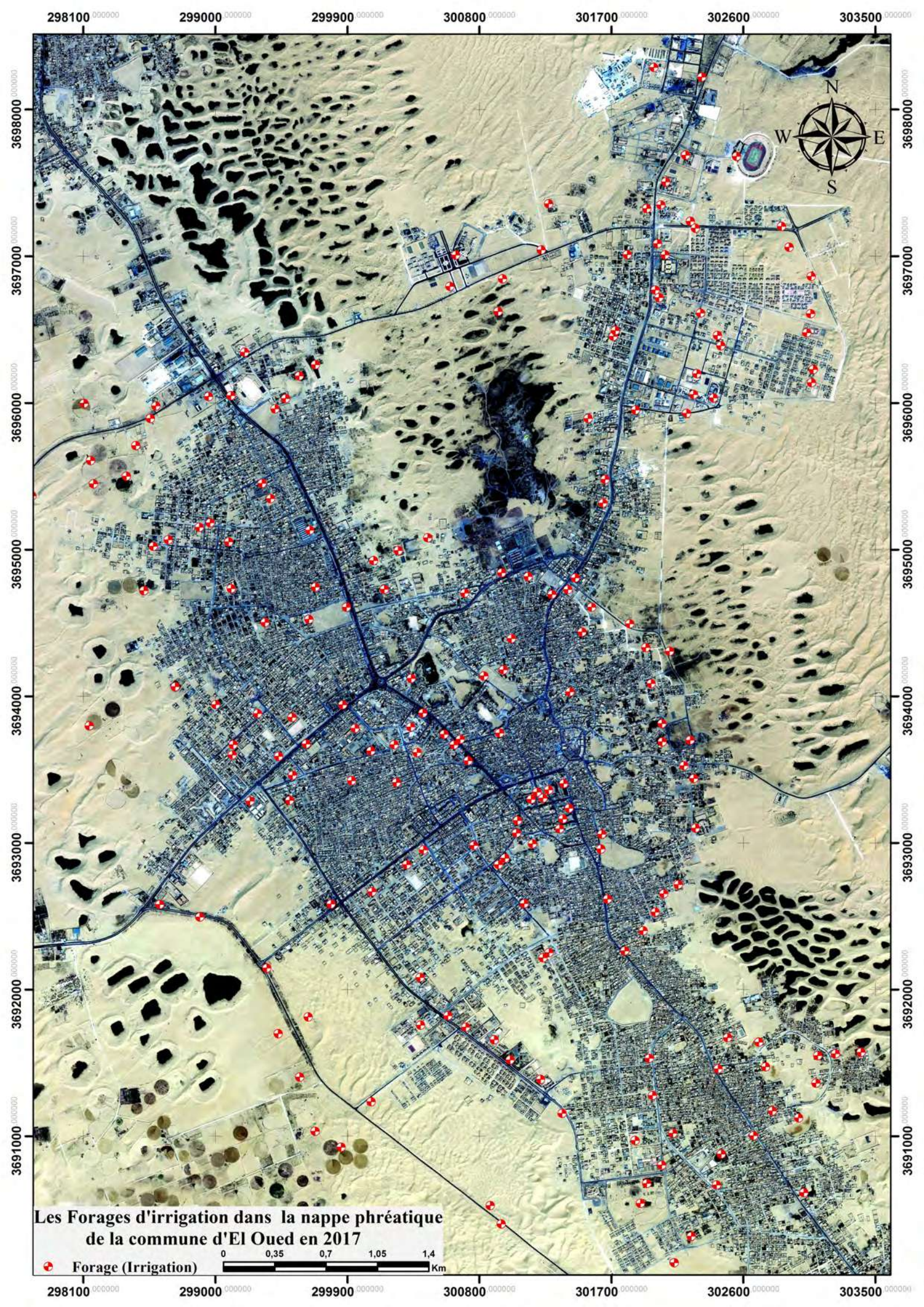




-A- Niveau statique

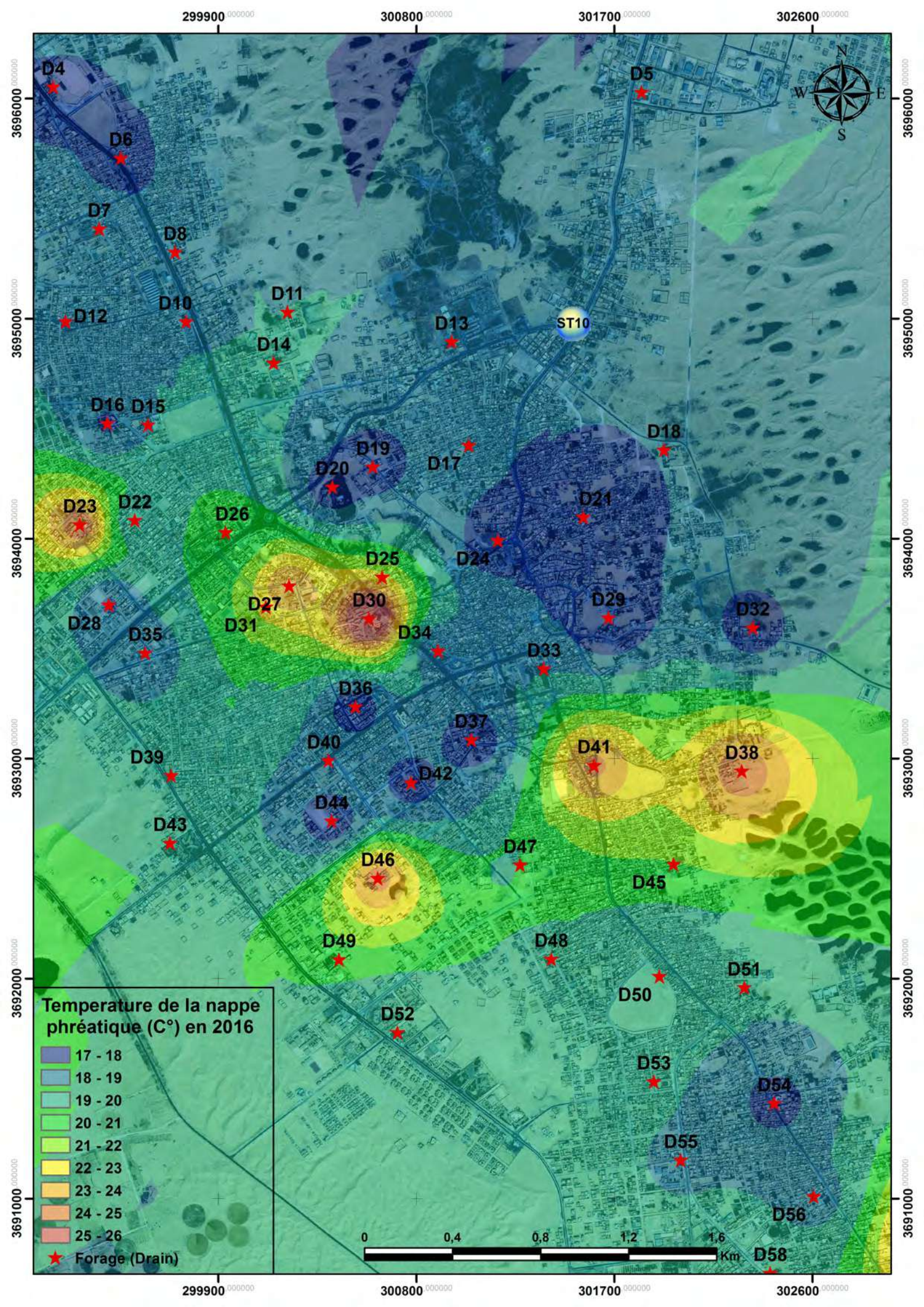


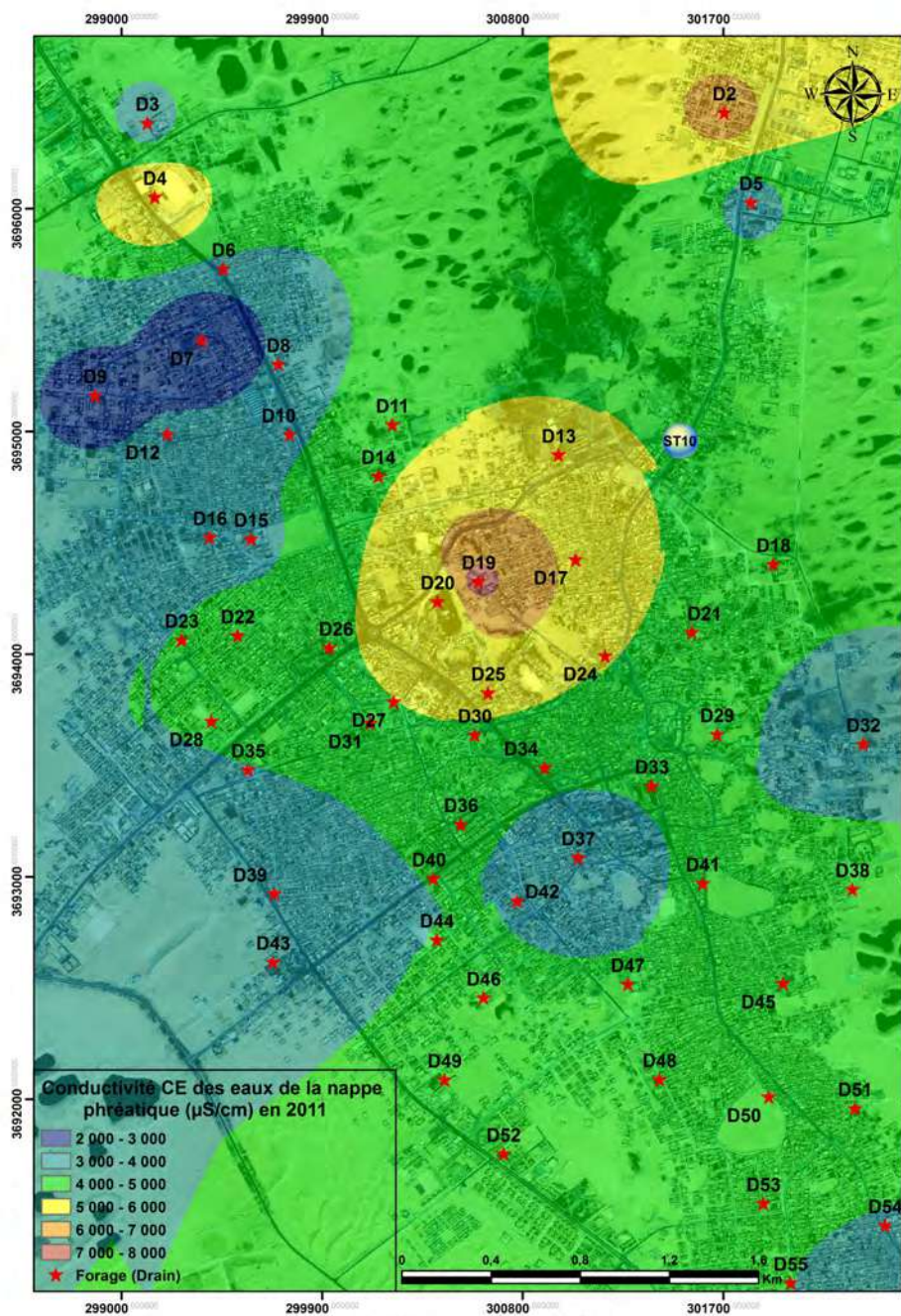
-B- Les zones inondées



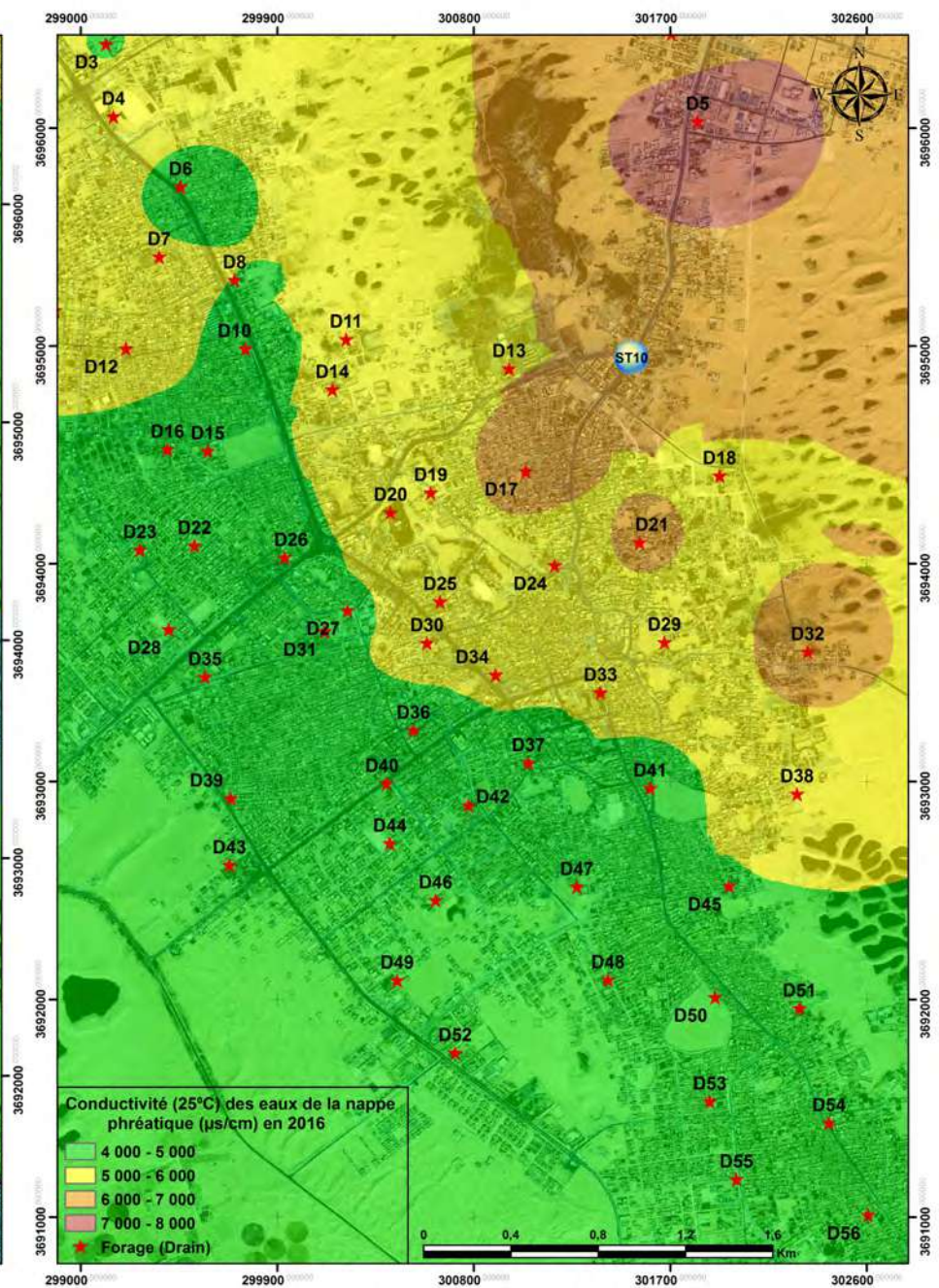
Les Forages d'irrigation dans la nappe phrénétique de la commune d'El Oued en 2017

◆ Forage (Irrigation) 0 0,35 0,7 1,05 1,4 Km

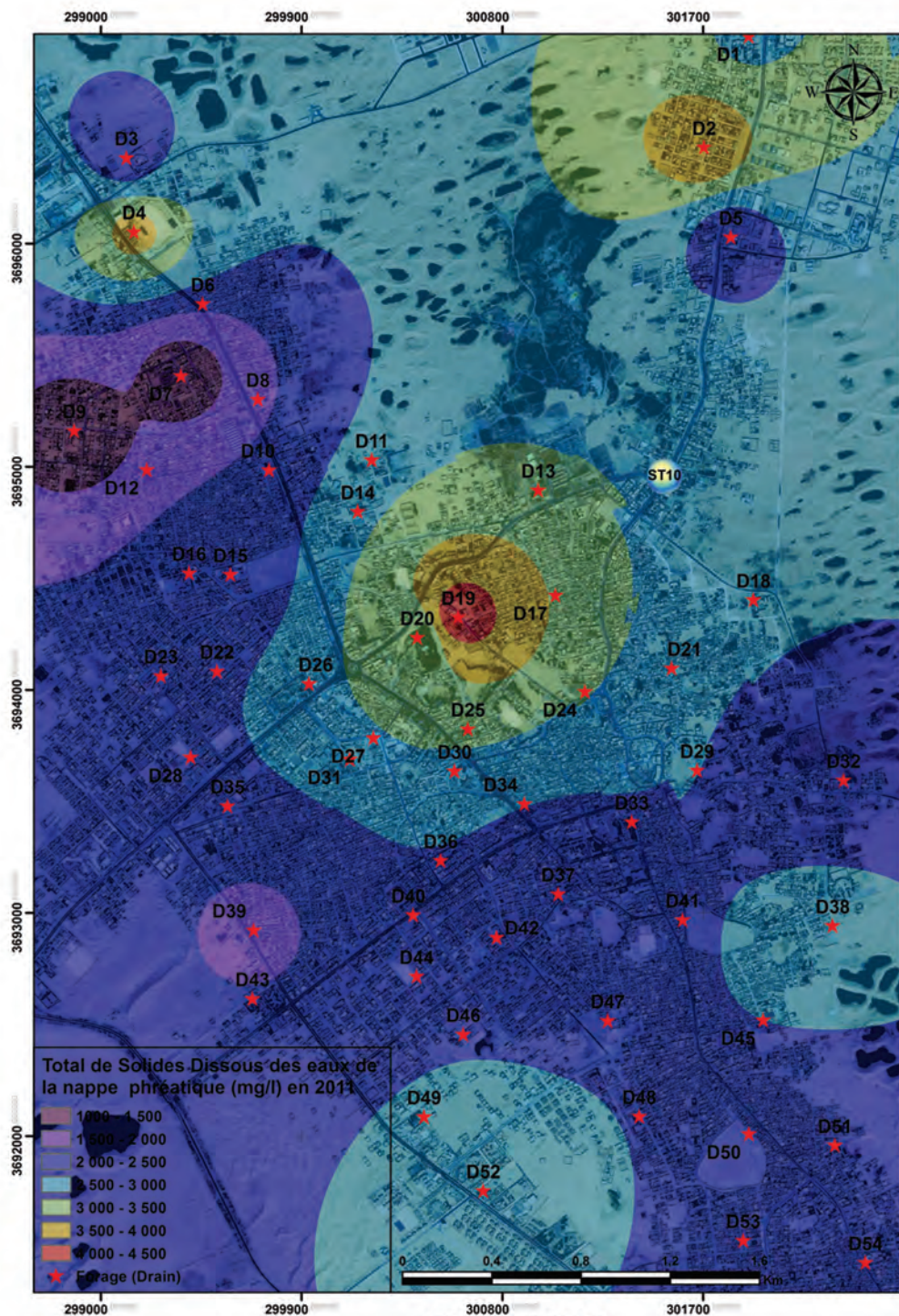




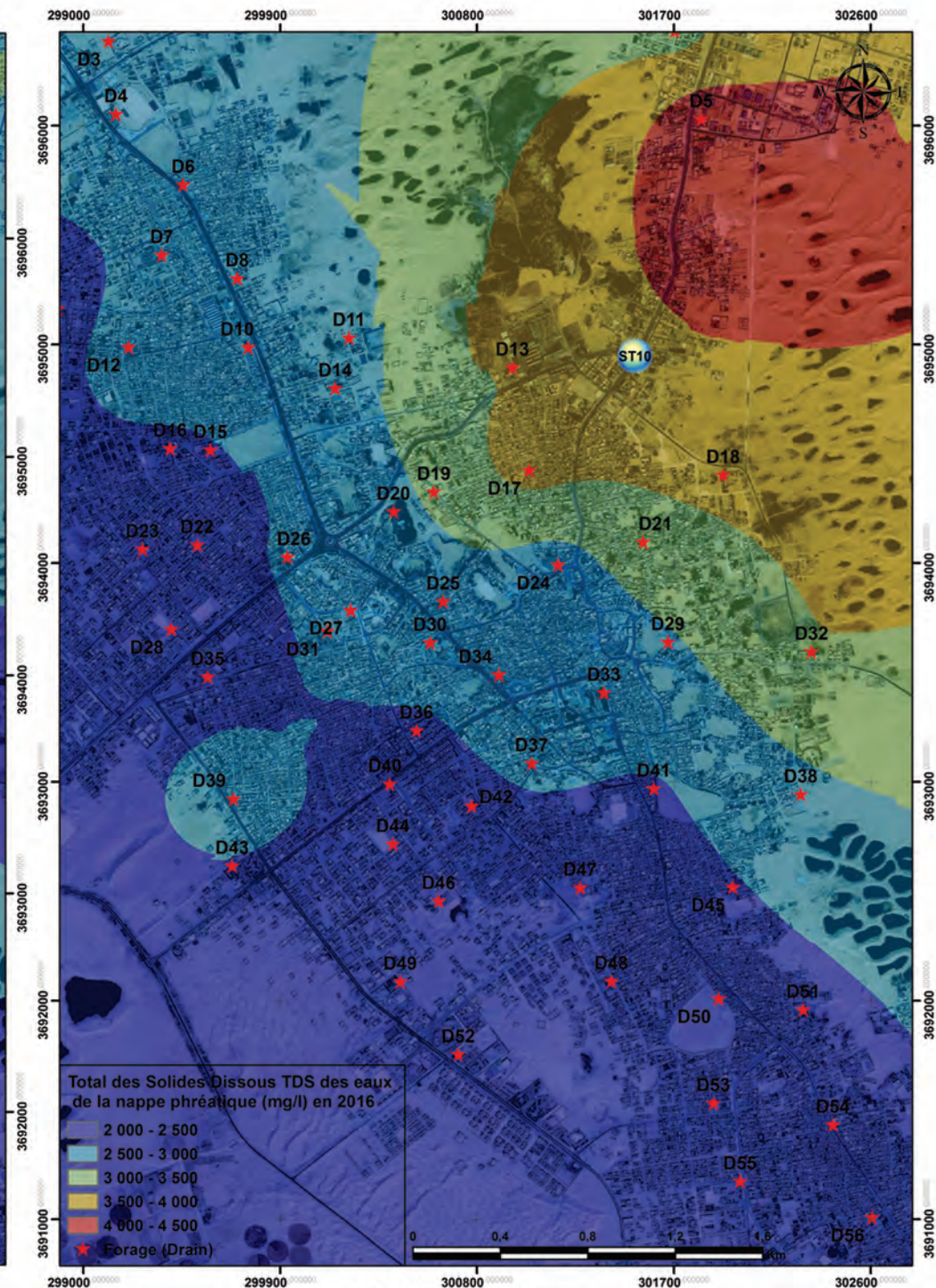
CE Mars 2011



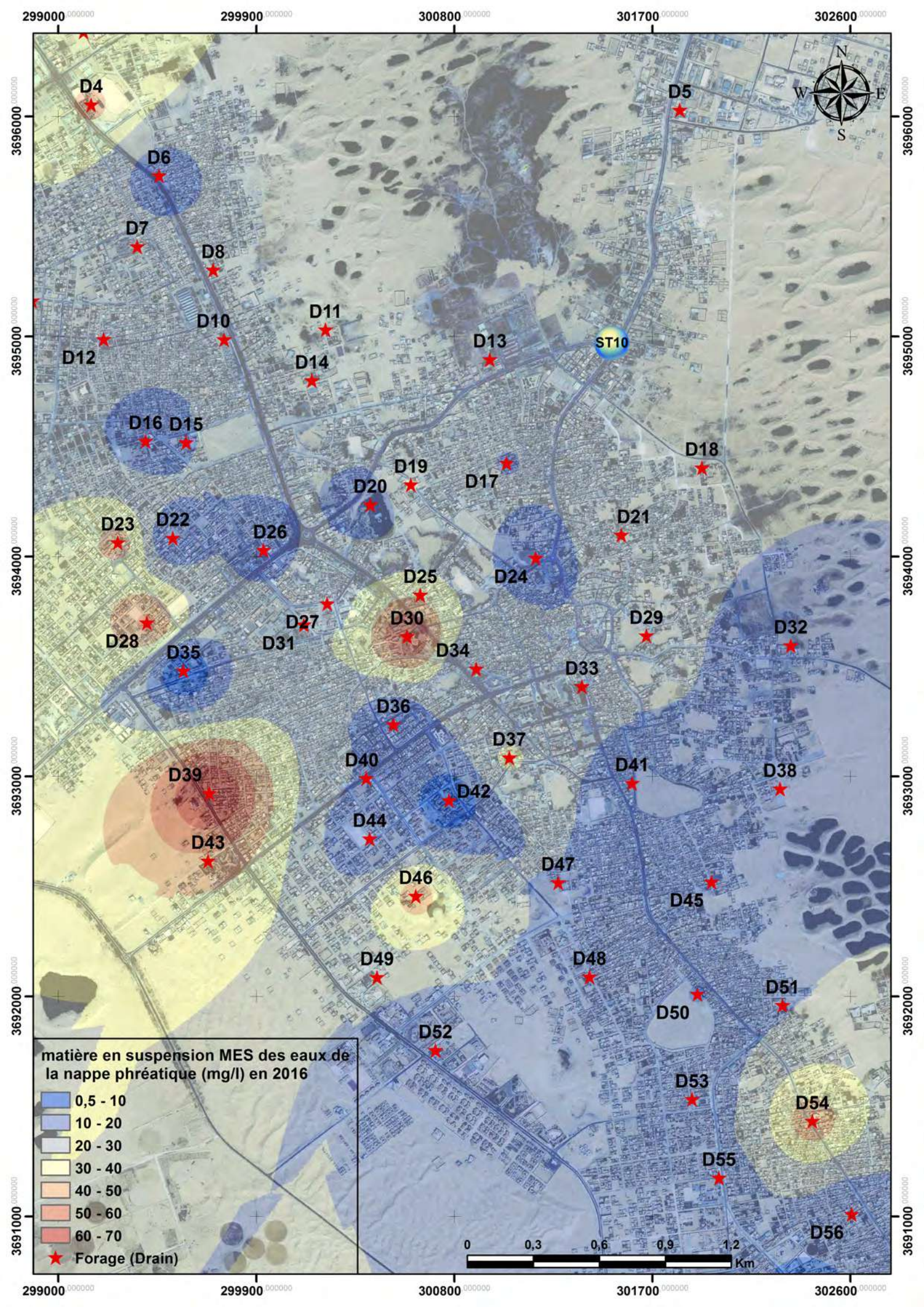
CE Mars 2016



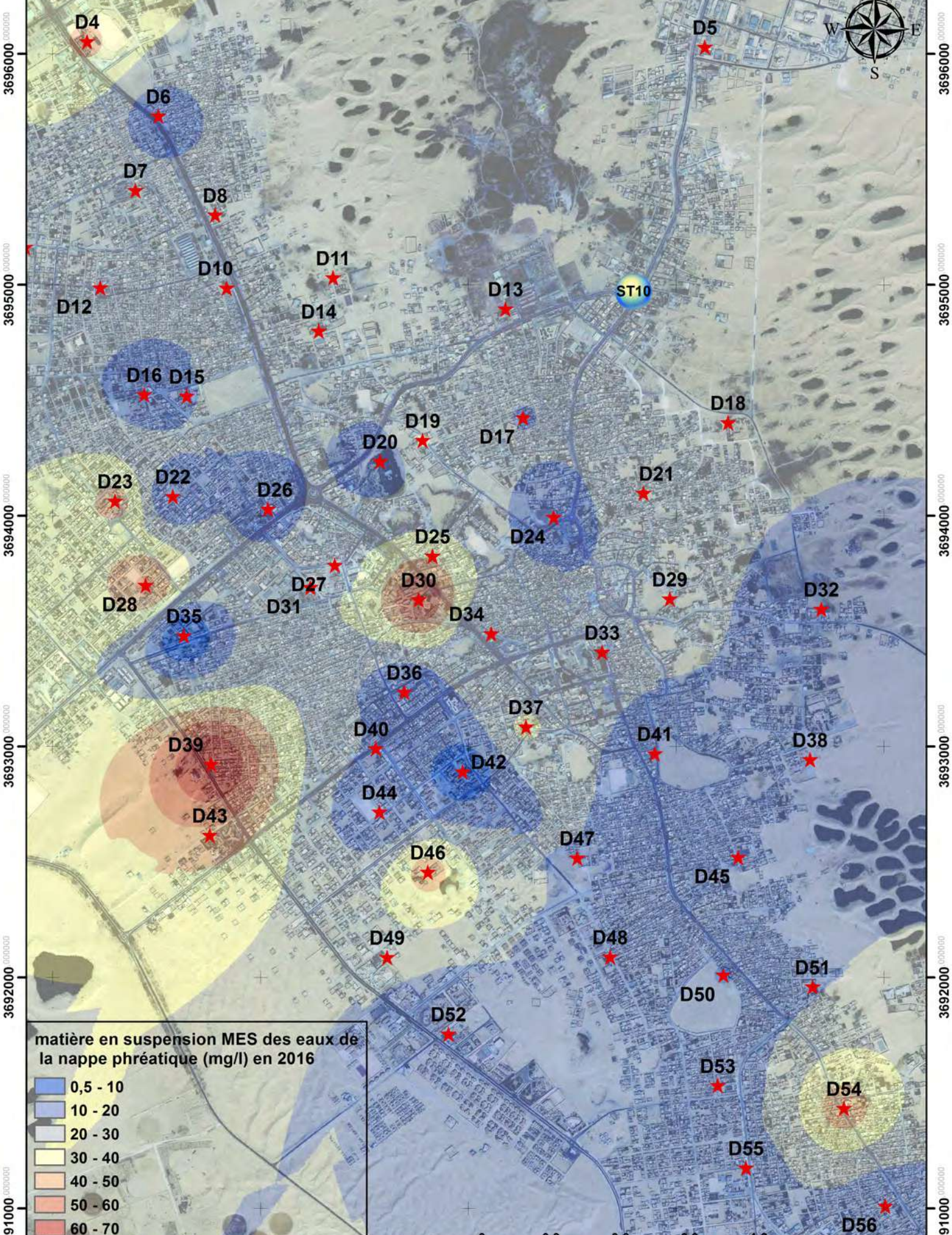
TDS 2011



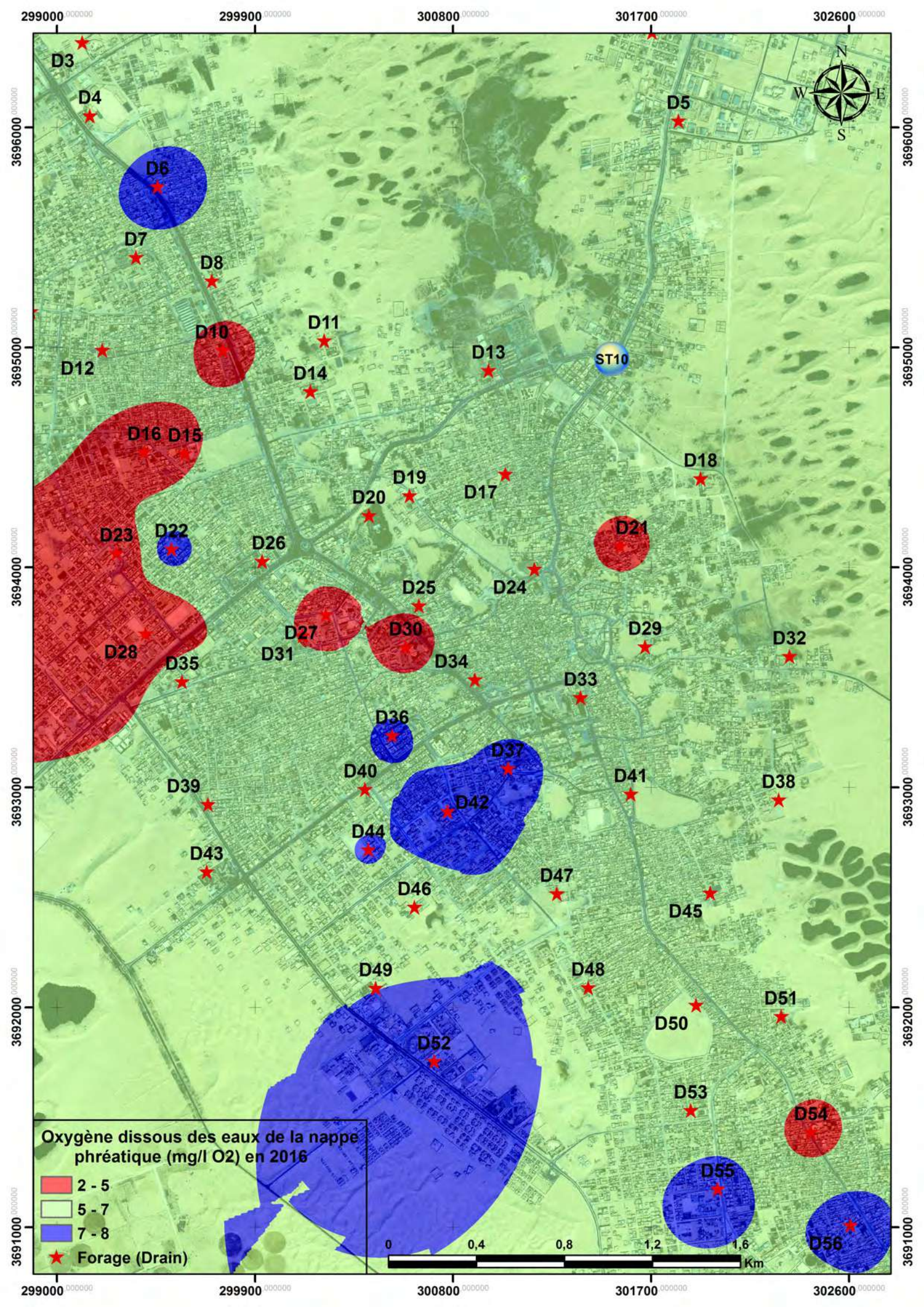
TDS 2016

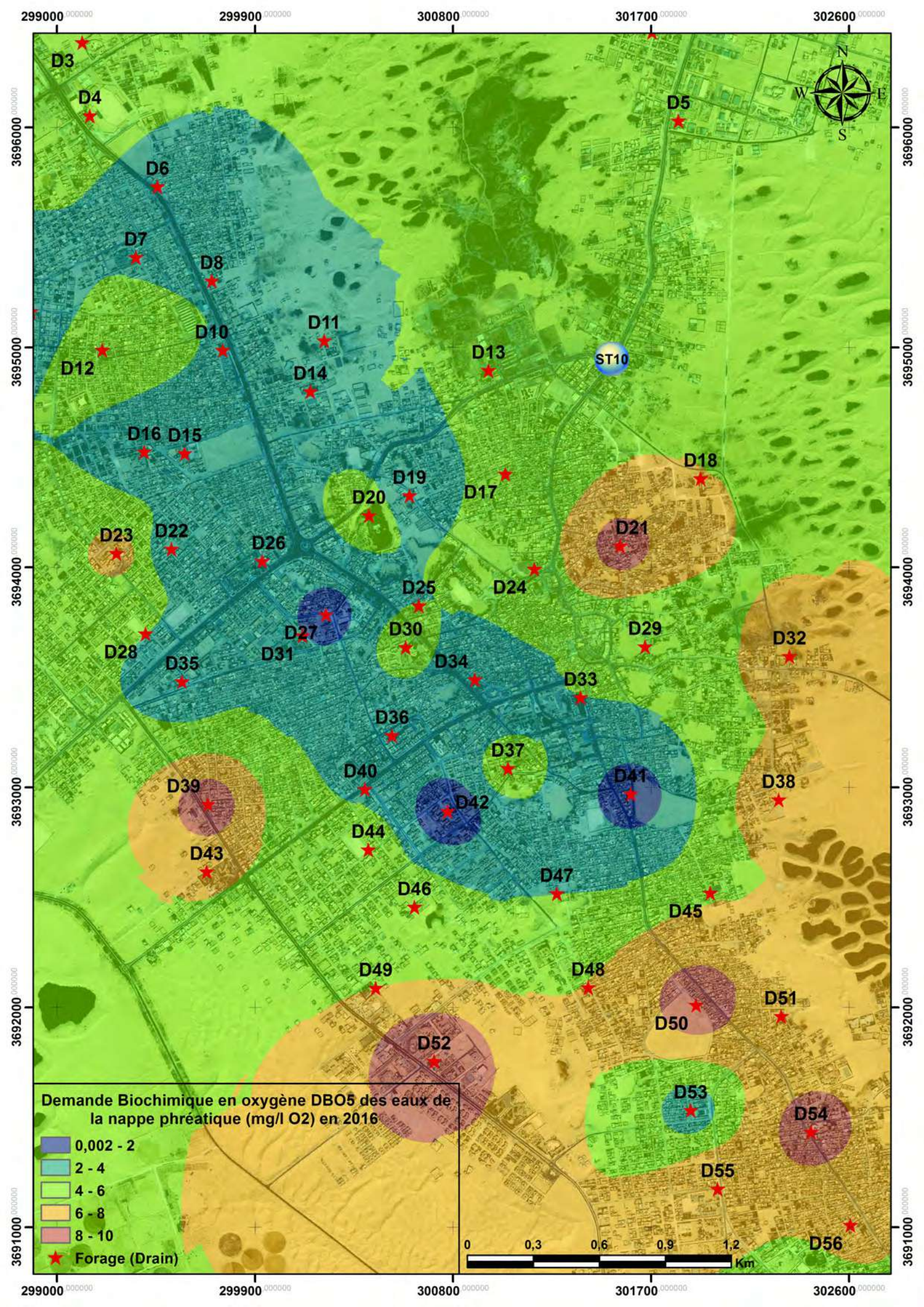


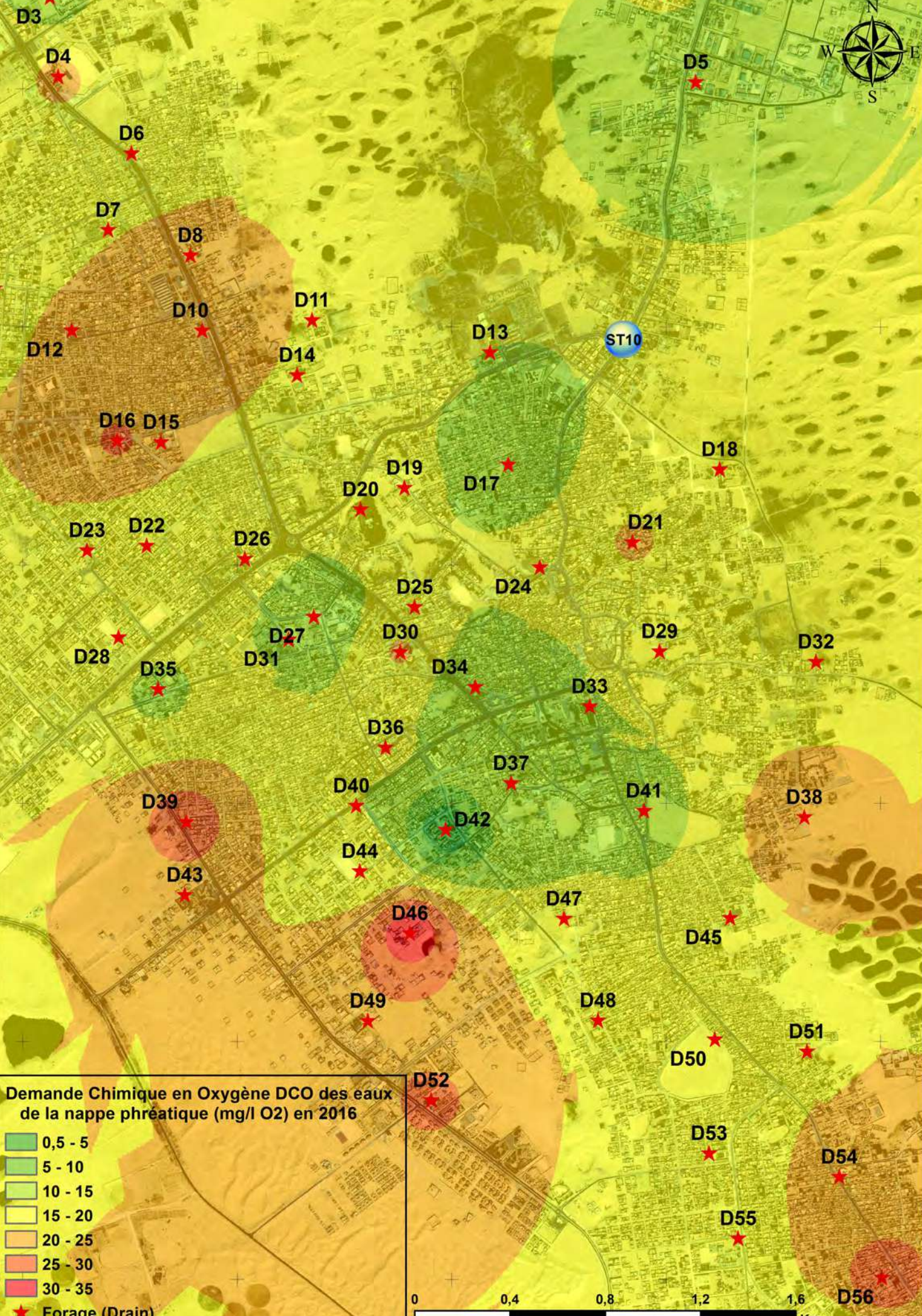
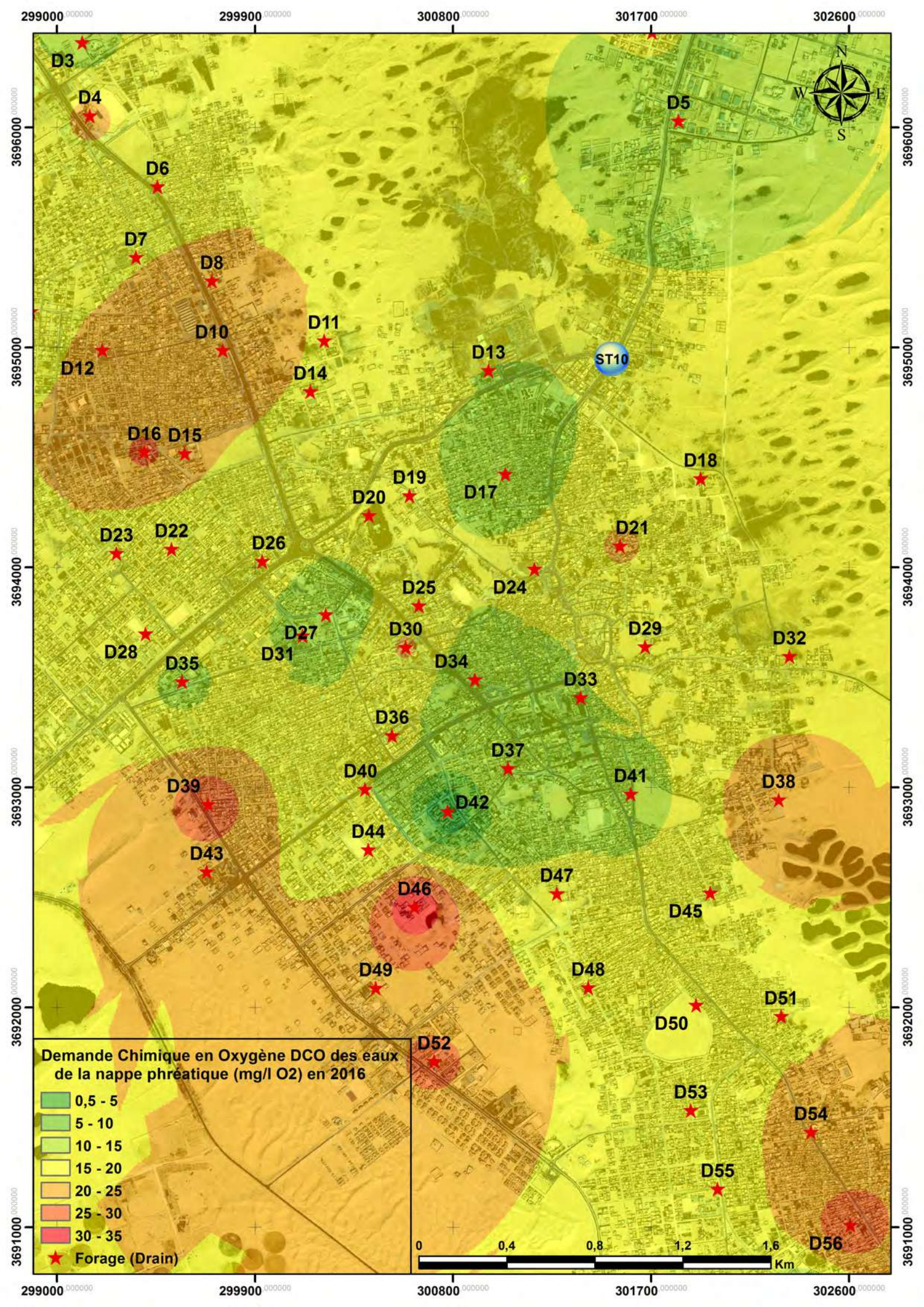
299000 299900 300800 301700 302600



3696000 3695000 3694000 3693000 3692000 3691000



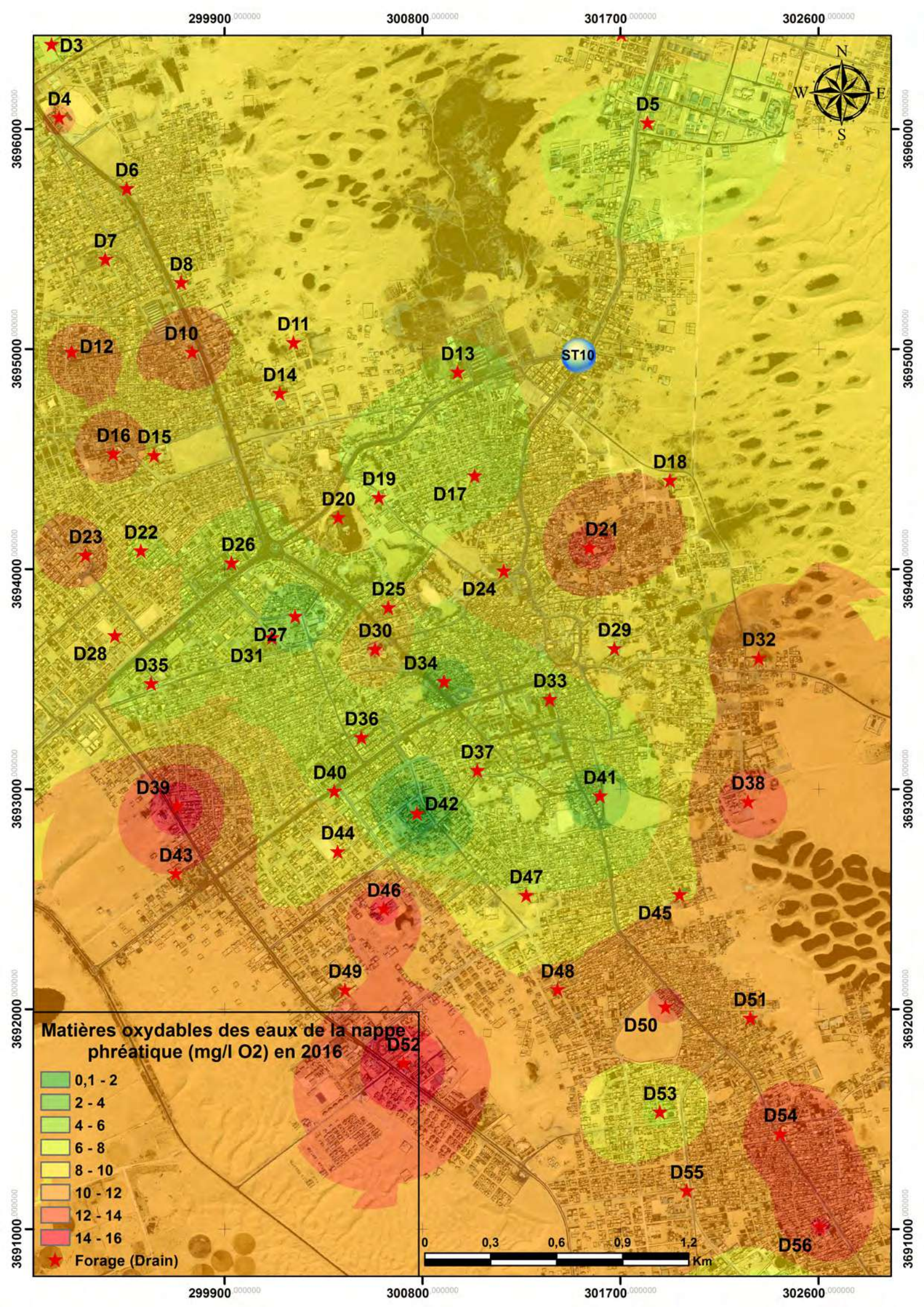


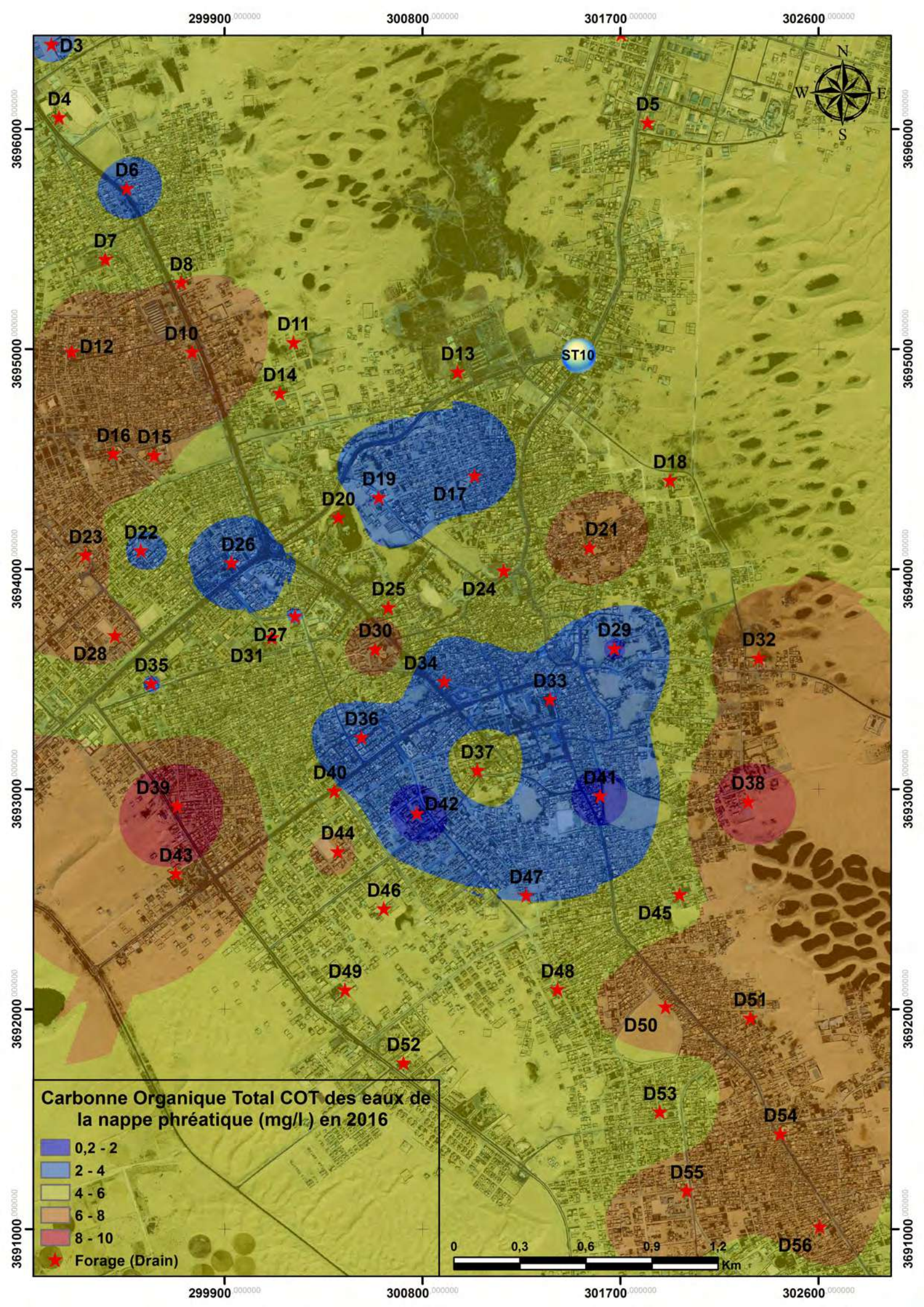


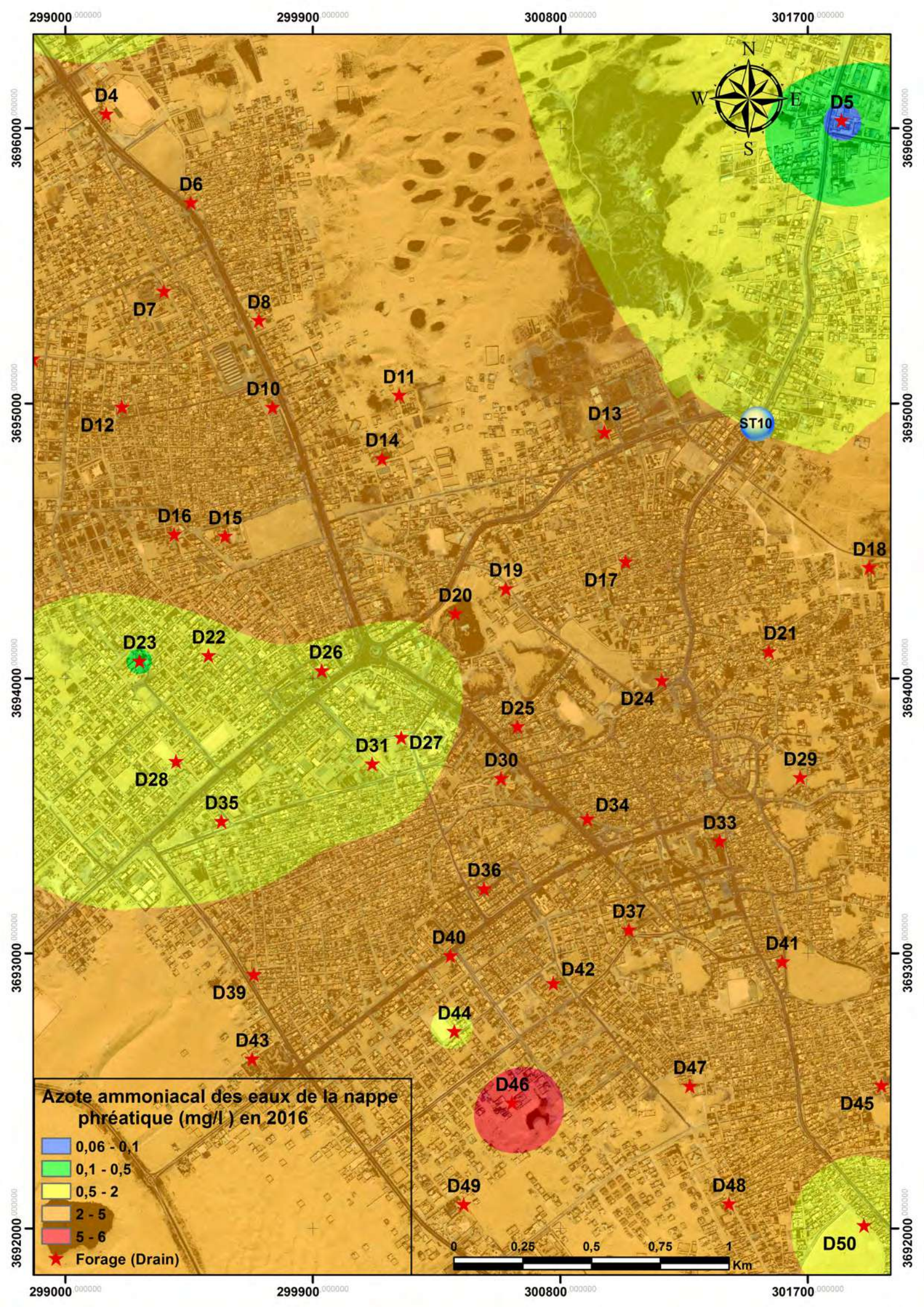
Demande Chimique en Oxygène DCO des eaux de la nappe phréatique (mg/l O₂) en 2016

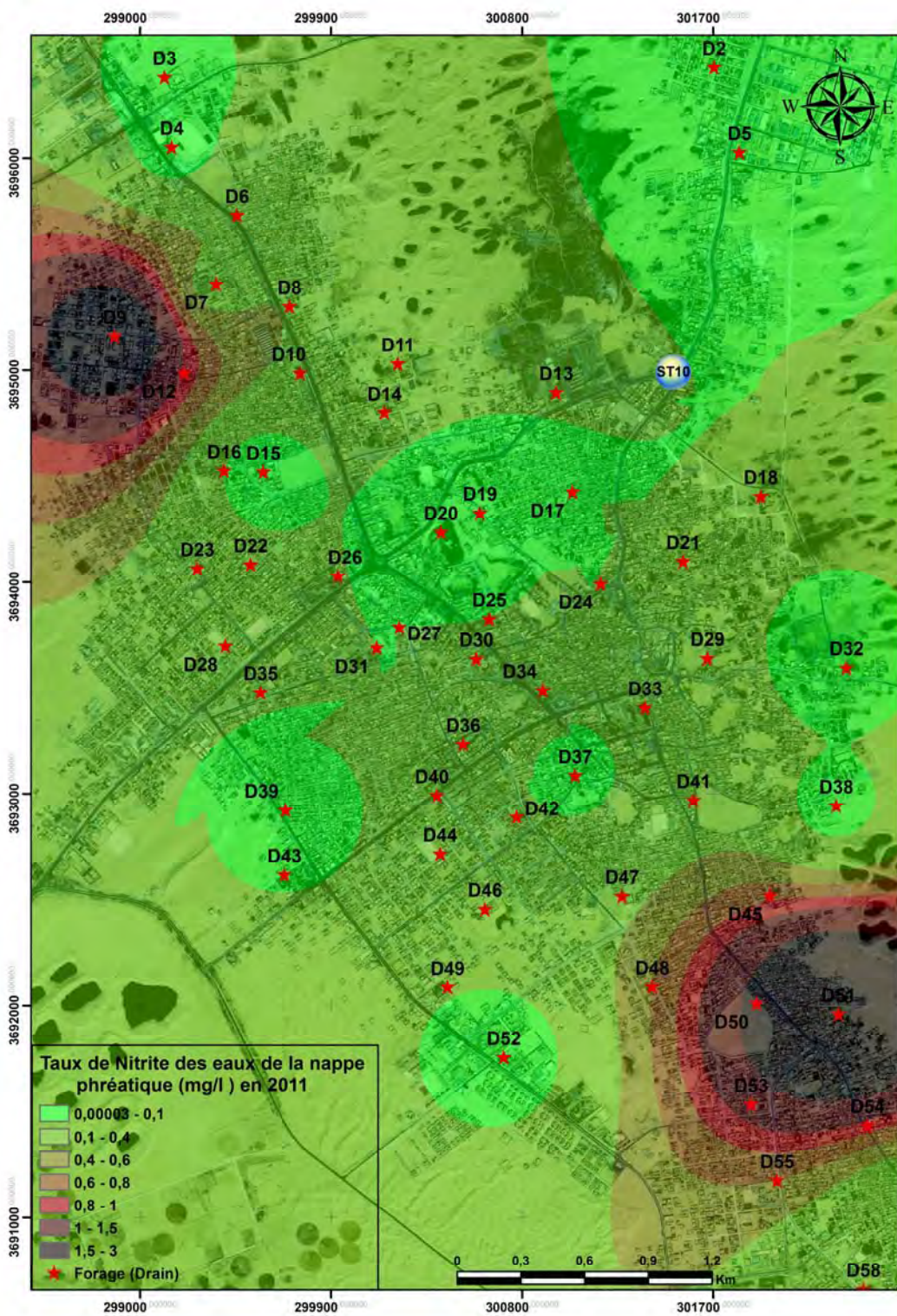
- 0,5 - 5
- 5 - 10
- 10 - 15
- 15 - 20
- 20 - 25
- 25 - 30
- 30 - 35
- ★ Forage (Drain)



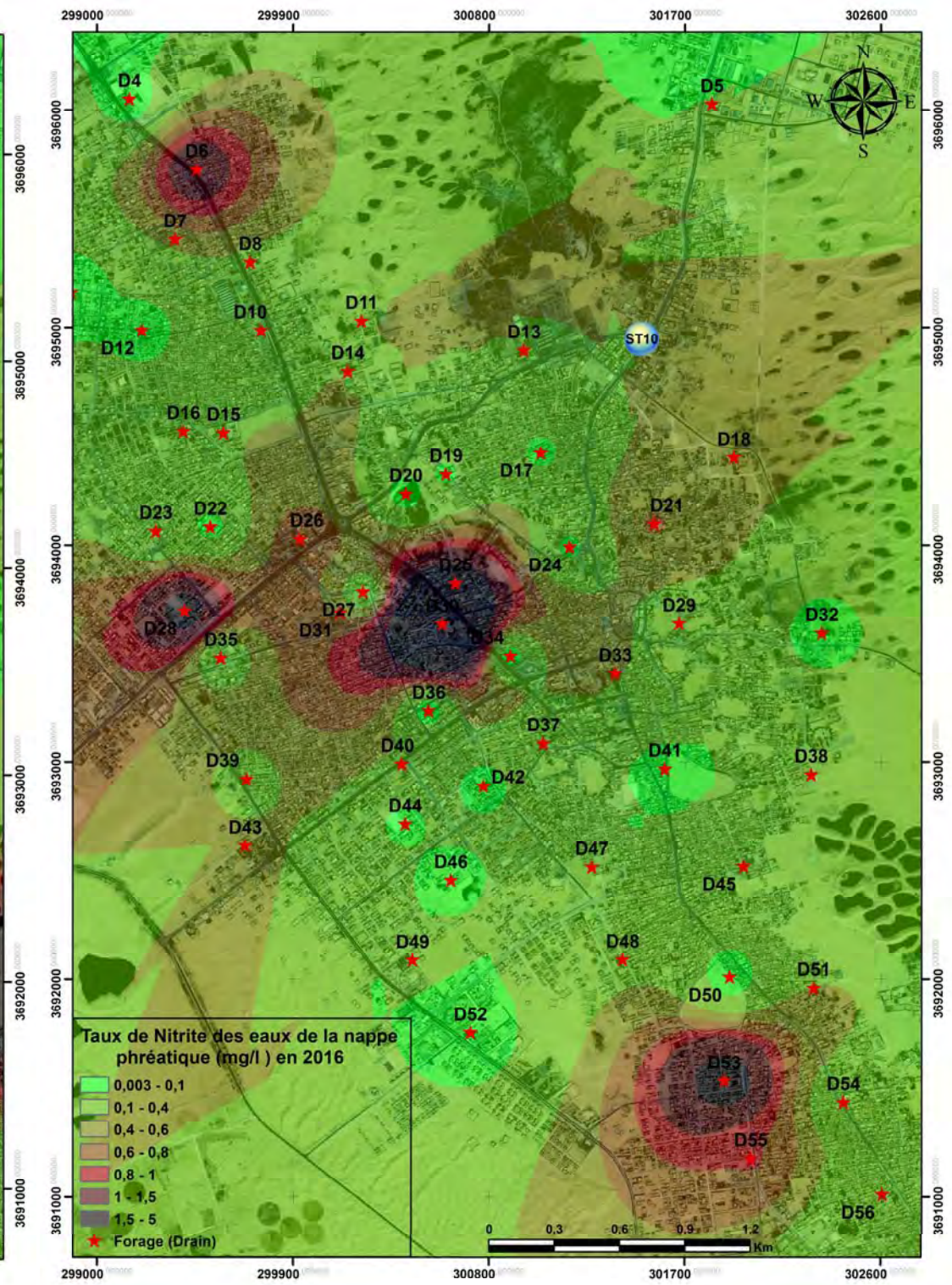




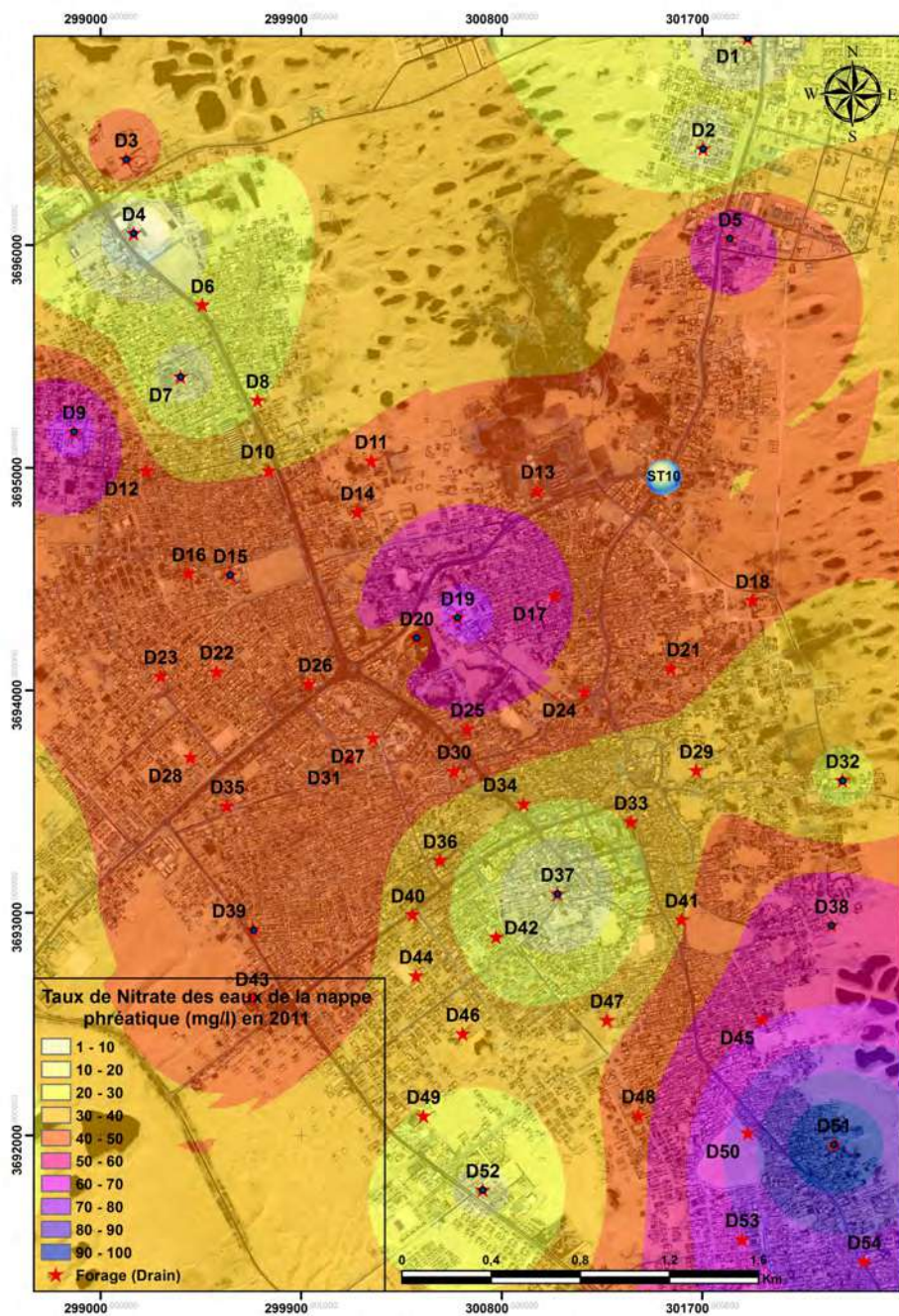




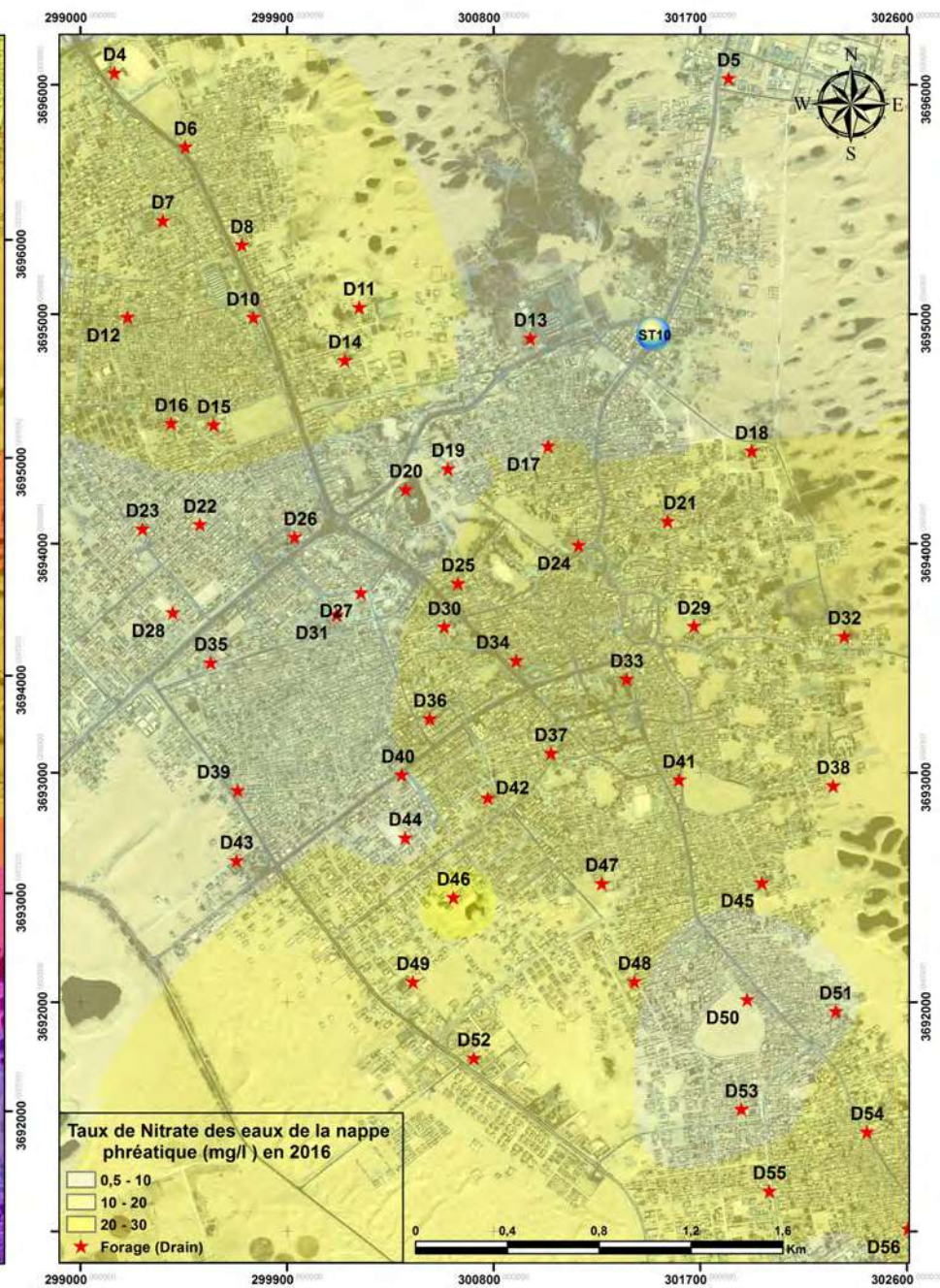
NO₂⁻ Mars 2011



NO₂⁻ Mars 2016



NO₃⁻ Mars 2011



NO₃⁻ Mars 2016

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/329012439>

THE GHOUT OF SOUF: AN ORIGINAL HYDROAGRICULTURAL SYSTEM

Article · November 2018

CITATIONS

0

READS

88

2 authors:



Abdelmonem Miloudi

El-Oued University

6 PUBLICATIONS 1 CITATION

[SEE PROFILE](#)



Boualem Remini

University of Blida 1 Algeria

200 PUBLICATIONS 548 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Silting of dams [View project](#)



erosion-transport solide et envasement au Nord ouest de l'Algérie [View project](#)

THE GHOUT OF SOUF: AN ORIGINAL HYDROAGRICULTURAL SYSTEM

MILOUDI Abdel Monem¹, REMINI Boualem²

¹*Department of Hydraulics and Civil Engineering, Faculty of Technology, Hamma Lakhdar University - El Oued, Algeria, monem_mld@yahoo.fr*

²*Department of Water Science and Environment, Faculty of Technology, Blida University 1, Blida 1600, Algeria, reminib@yahoo.fr*

Abstract

This article deals with the subject of the Ghouts; an old hydro agricultural system of origin of the valley of Souf which, today is in distress. Hundreds of Ghouts were flooded by the waters of the lift and backfilled. Work missions were carried out in the oases of Souf during the period 2007-2017 to try to understand the decline of this heritage. Unfortunately it is the waters from the Albian aquifer of the Continental Intercalary and the sanitation that is the main cause of the decline of the Souf Ghouts.

Keywords: Water, Souf, Ghout, Palm, Oasis

1 INTRODUCTION

The Sahara, an immense desert with an area exceeding 9 million km² is considered the largest desert on the planet. A hyper-arid region characterized by the scarcity of rainfall and very high temperatures. However, the aquifer that stores the water infiltrated into the soil is the only reservoir of freshwater in these arid regions. For centuries, the local population has become infested in the search for better groundwater abstraction methods. Taking into account the geological and hydrogeological conditions of each region of the Sahara, water storage techniques have been highlighted. In the Saoura valley, for example, multi-rocker wells called Khottara have been designed to improve flow rates since [1]. In the oases of Touat, Gourara and Tidikelt, it is the draining galleries of a hundred kilometers called foggaras that were dug on the outskirts of Grand Erg Occidental [2][3][4][5]. In the Mزاب valley, thousands of tensile wells have been dug to meet the needs for domestic water and irrigation [6][7]. In the Souf, a region located in the middle of Grand Erg Oriental. Surrounded by huge sand dunes, the Soufis (local population) realized an original hydro agricultural technique that allows the palm to grow while keeping these roots in contact with water from the water table. Today, this original irrigation system is in critical condition, hundreds of Ghouts have been abandoned; thousands of palms have been asphyxiated. This article describes, from this new ancestral technique, the types of Ghouts and the causes of deterioration of the Ghouts.

2 REGION OF STUDY AND METHODOLOGY OF WORK

2.1 Location and characteristics of the study area

The study area is located in the Wilaya of El Oued, one of the main oases of the northern Sahara. Located 650 km southeast of Algiers (Figs 1 and 2), Oued Souf occupies an area of 44 km², and extends over 18 municipalities (El Oued, Bayadha, Robbah, Kouinine, Guemmar, Taghzout, Hassani Abdelkrim, Debila, Sidi Aoun, Magrane, Hassi Khelifa, Reguiba, Mihouensa, Oued Alenda, Ogl, Nakhla, Ourmes et Trifaoui).

2.2 Investigations and investigations

To understand the Souf's hydro-agricultural system, several missions were carried out in the oases of Souf during the period 2010-2017. Investigations have been conducted on a hundred Ghouts to understand the functioning as well as the causes of deterioration of these farming systems. In addition, surveys were conducted with farmers and owners of the Ghouts to identify the socio-economic problems encountered over the last thirty years. The agricultural services (Agriculture Department of the El Oued wilaya) and hydraulic services (El Oued Hydraulics Department) provided us with data on the Ghouts.

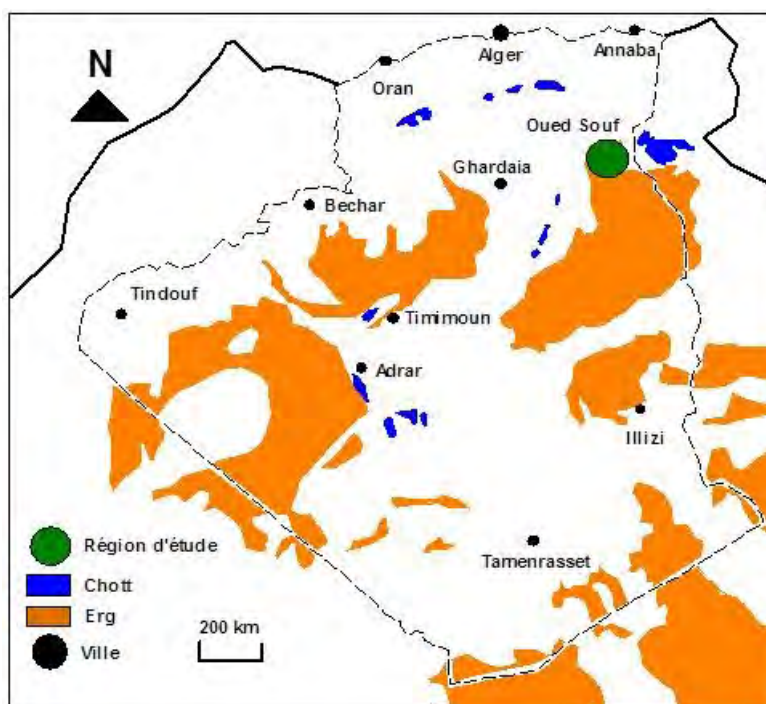


Fig. 1 Situation of the study area (own elaboration)

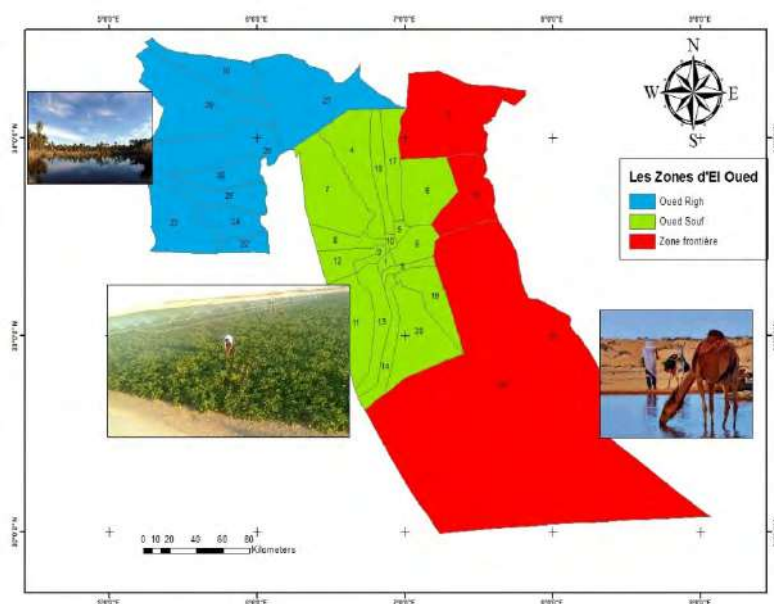


Fig. 2 The study areas of El Oued (own elaboration)

1 - El Oued 2 - Kouinine 3 - Bayadha 4 - Guemar 5 - Debila 6 - Hassi Khalifa 7 - Reguiba 8 - Taghzout 9 - Trifaoui 10 - Hassani A - Karim 11 - Oued El Alenda 12 - Ourmes 13 - Mih Ouensa 14 - Robbah 15 - Taleb El Arbi 16 - Douar El Maa 17 - Magrane 18 - Sidi Aoun 19 - Nakhla 20 - El Ogla 21 - Ben Ghecha 22 - Sidi Amrane 23 - M'Rara 24 - Djamaa 25 - Tendla 26 - Sidi Khellile 27 - Hamraia 28 - El Mghair 29 - Oum Tiour 30 - Still

3 RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1 Features of the Ghout

The Ghout is a basin dug between the sand dunes of the Grand Erg Oriental, inside which a hundred palm trees are planted (Fig. 3). It is the Remal (the one that removes the sand). The bottom of the funnel must be above the static level of the water table with a height of 1 m. In this case, the plant will be irrigated only the first months, but beyond about 6 months the young palm tree does not bring irrigation water, but the palm tree itself will seek this amount of water by drawing water by its own roots.

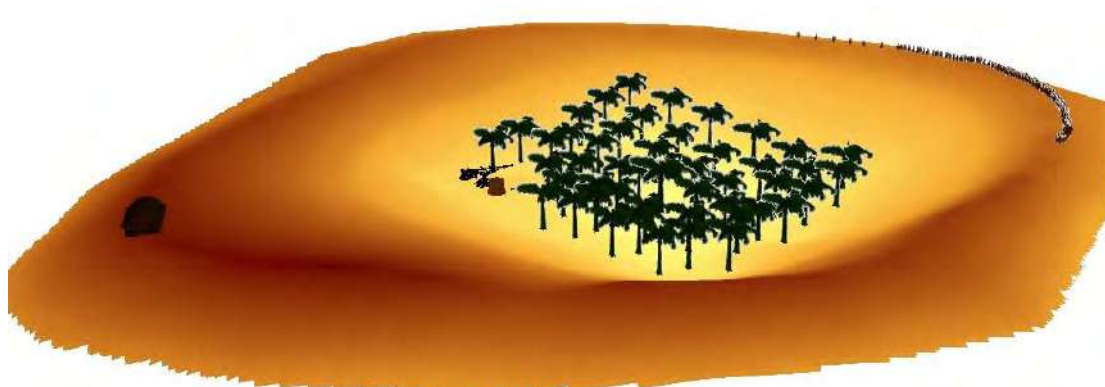


Fig. 3 The general outline of a Ghout of the Souf region (own elaboration)

Based on the latest inventory of Ghouts made in 2015 by the director of agricultural services of the Willaya of El Oued, a distribution of Ghouts throughout the Souf region was carried out (Fig. 4). This distribution of the Ghouts gives an idea on the situation of the tablecloth.

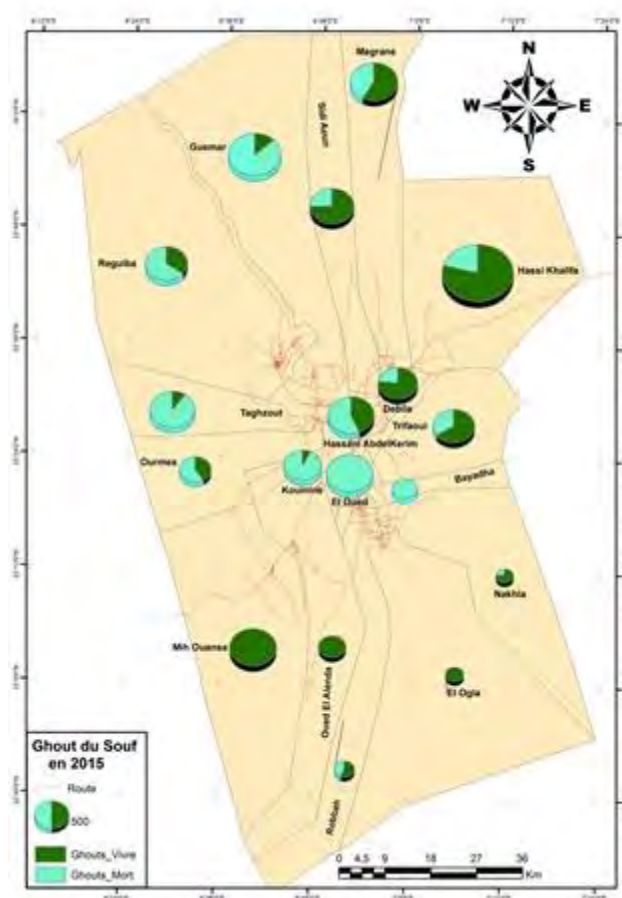


Fig. 4 The distribution of the Souf Ghouts according to 2015 inventory (DSA data, own elaboration)

3.2 The shapes of the Ghouts and their protections

The shape of the Ghout depends on the nature of the soil and the direction of the wind. There are three types of Ghout:

3.2.1 Circular Ghout

This type of Ghout is made in a windy area. It is located in the southwestern part of the Souf (Mih Ouensa, Oued Turk ... etc.) (Fig. 5). This region of the Souf, the level of the water table is shallower and is between 5 to 10 m. This region is characterized by:

- sandy soils,
- strong wind erosion,
- lively dune system,

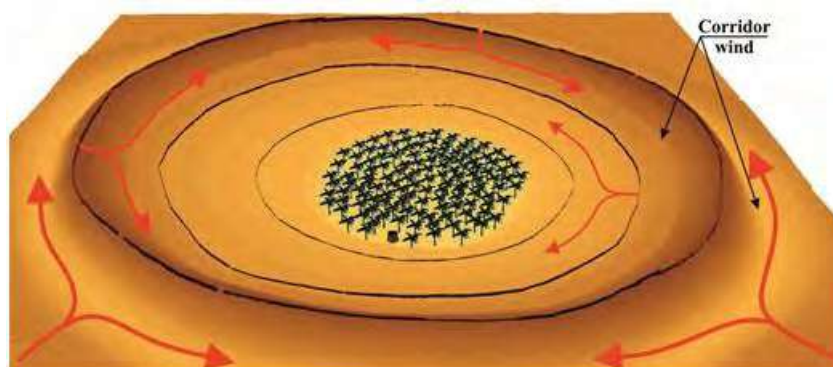


Fig. 5 Synoptic diagram of a circular Ghout (own elaboration)

In these areas, the winds blow in all directions. They are harmful to the fruits of the palm tree. Generally these Ghouts have the shape of a circular funnel. This type of Ghout requires vast spaces (Fig. 6).

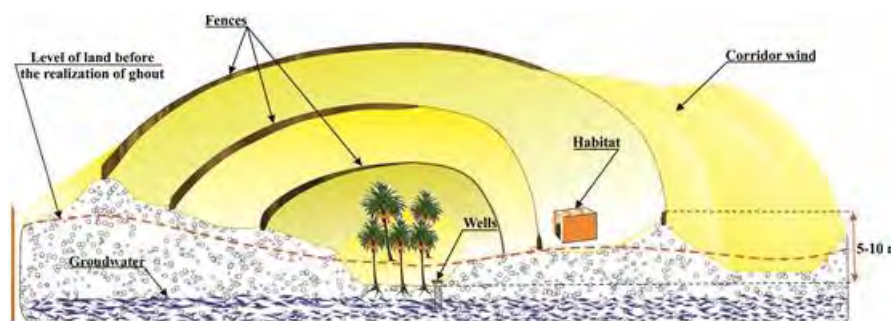


Fig. 6 Coupe a circular Ghout [8] (improved by the authors)

3.2.2 Elongated Ghout

This type of deep and elongated Ghout is found in the south and south-east of the Souf namely the oases: El Oued, Nakhla, Robbah, Bayadha. This type of Ghout is realized in a sandy area. These areas are characterized by very loose, sandy soils (Fig. 7 and 8). This type of Ghout has large size of an area equal to 1.5 to 3.5 ha; it can reach even 5 ha. A Ghout has an average of 100 to 200 palm trees. Excavation work on these large developments is enormous. This megaproject is done in a collective way. Usually 2 to 4 families or 5 to 10 farmers participating in the work. Ghout is shared among farmers according to the contribution of each.

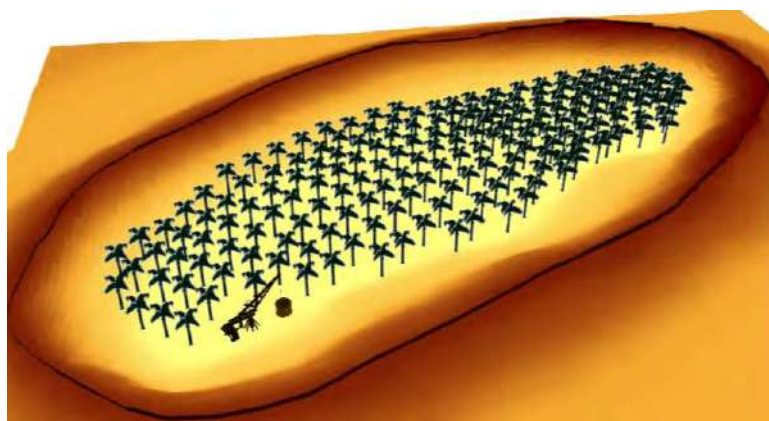


Fig. 7 Synoptic diagram of a Ghout of a sandy area (own elaboration)

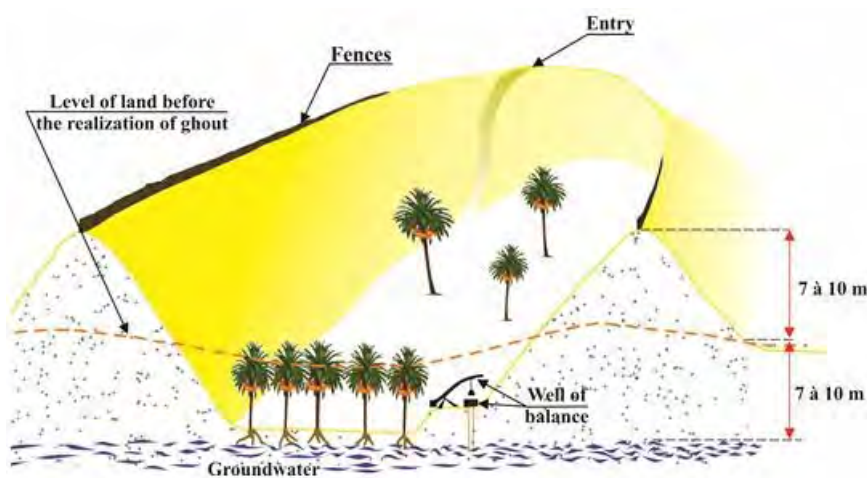


Fig. 8 Coupe of an elongated Ghout [8] (improved by the authors)

3.2.3 Rectangular Ghout

Built on a compact and clayey area, this type of Ghout is located in the northern part of the Souf: Hassi Khalifa, Magran, Hassani A-Kerim, Reguiba (Fig. 9 and 10). In these areas, this type of Ghout is realized in a clayey area. For this type of Ghout, the rectangular shape. Unlike other types of Ghout, this guy does not have palisades (Zarb).



Fig. 9 Diagram of a rectangular Ghout (own elaboration)

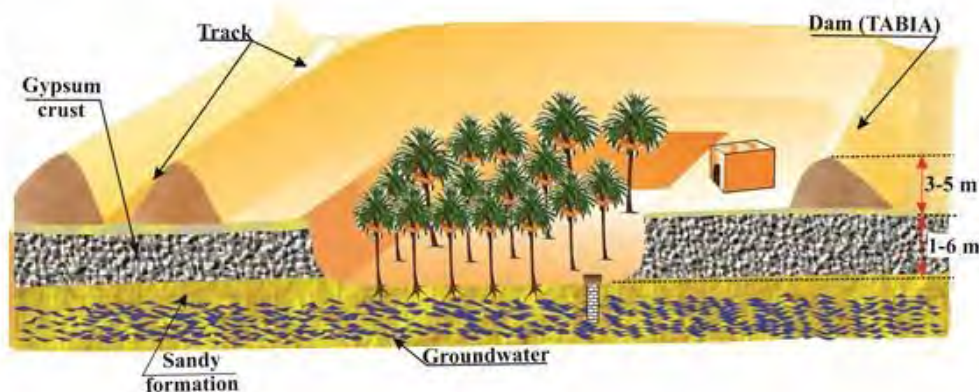


Fig. 10. Section of a rectangular Ghout [8] (Modified by authors)

4 WATERING TECHNIQUE IN THE GHOUTS

Destined for family consumption, a secondary crop behind the palm tree, the Ghout is equipped with a pendulum well for irrigation of gardens and young palms (Fig. 11). This type of well is everywhere in the village in the Ghouts and even in the middle of the dunes. In certain regions of Souf, the animal-drawn well was made by the Sufis (Fig. 12).

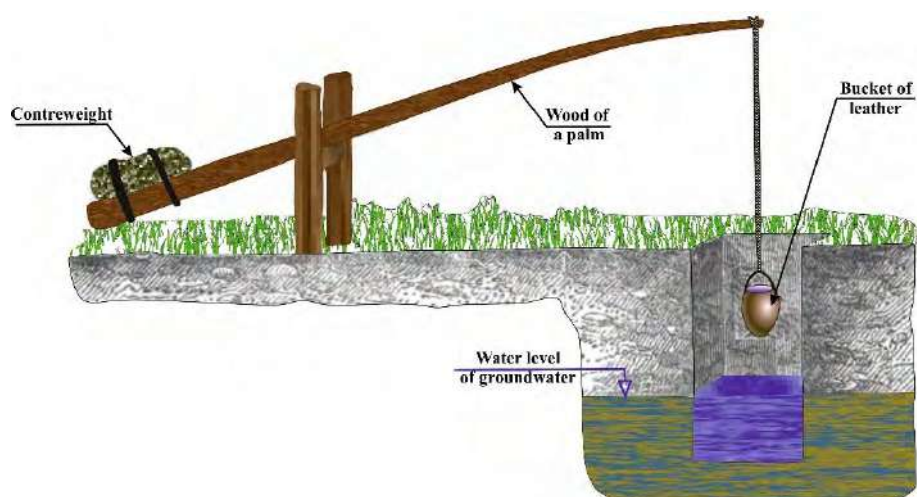


Fig. 11 Pendulum (Ghôtara) for irrigation in Ghout (own elaboration)

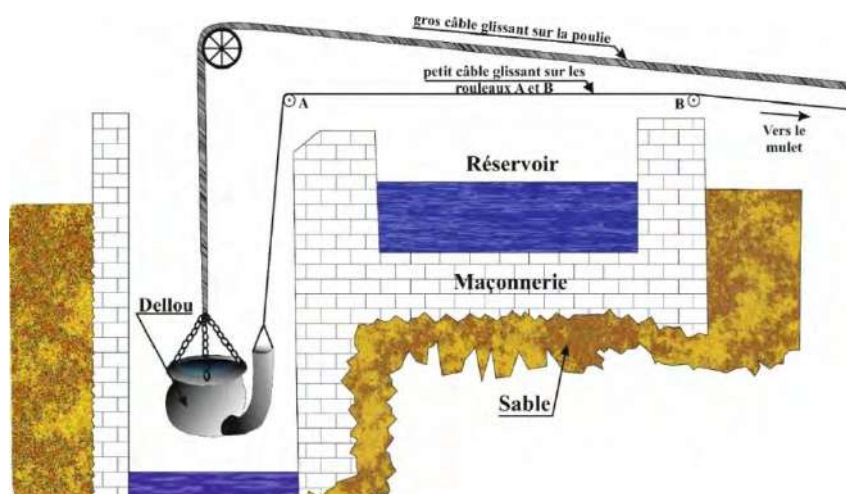


Fig. 12 Animal traction well (own elaboration)

5 THE DECLINE OF THE GHOUTS

The aquifer of the Continental Intercalary was a misfortune for the Ghout. In the early nineties this huge water reservoir was exploited by several deep drilling. Thousands of hectares of new land have been developed that require modern water harvesting techniques. It is a well as deep drilling was carried out for the water supply of the city of El Oued for irrigation. Following this very thorough irrigation, the water table could no longer withstand the return of irrigation water. This new situation caused flooding of the Ghouts. Mixed with sanitation water (lack of sanitation network), thousands of palms were asphyxiated leaving their places with reeds (Fig. 13). Dramatic adverse consequences have been recorded during this period: Pollution of the water table, flooding of the drowning Ghouts of the children in the craters of the Ghouts (Fig. 14), profuse mosquitoes [9][10][11][12][13].

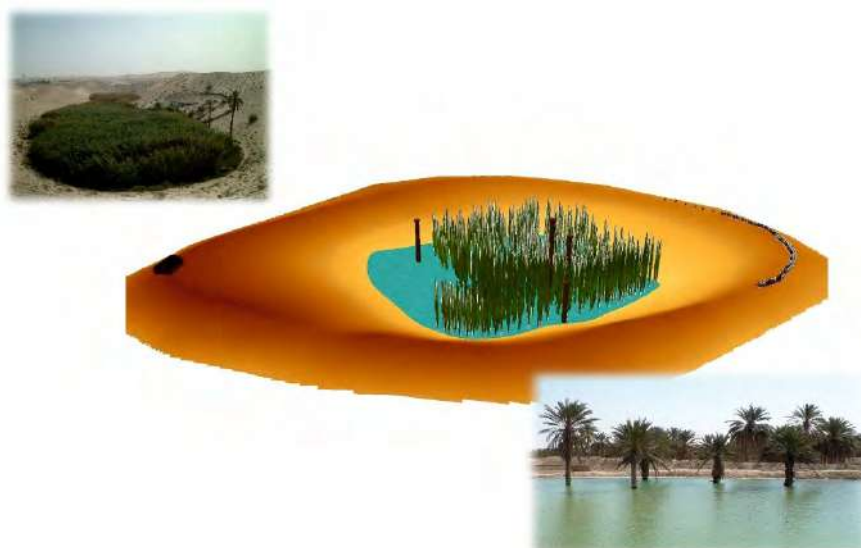


Fig. 13 Inundation of the Ghouts by the waters of the ascent of the tablecloth during the 90s (own elaboration)



Fig. 14 Ghout flooded by the waters of the tablecloth phreatic: dangerous bathing for children (photo. Miloudi, 2009)

6 WHAT SOLUTION TO SAVE THE SOUF A REGIONAL ECOLOGICAL CRISIS

For containment of the phenomenon of the rise, a mega-project was launched by the Algerian government in the early two miles. The goal is to clean up the sewage and drain excess water to evacuate to the Chott bordering Halloufa 45 km north of El Oued. Collective sanitation of collecting and transferring wastewater to the treatment plant for large agglomerations. Then for drainage, the principle is to recover all the seepage under the Greater El Oued by pumping in 58 drillings. Much of this water these waters will be used for irrigation of green areas. The purified water will be pumped to a length of 45 km to the discharge point of Chott of Halouffa.

7 7. CONCLUSION

As we mentioned at the beginning of this article, Ghout is a hydro agricultural technique originating from the Souf region. A very simple and ingenious system that involves digging in the Grand Erg Oriental craters to plant palm trees. Without irrigation, but the roots of the palm are continually in contact with the water table. Extraction of deep water by deep drilling for irrigations of irrigation and supply of drinking water causes a rise of the waters of the water table thus causing the flooding of the Ghouts. Several solutions have been applied but without results. This prompted the authorities to implement a mega project to stem the problem of rising water and its effects.

REFERENCES

- [1] REMINI B. ET REZOUG C., 2017. The khottara of Saoura: a hydraulic heritage in decline. Larhyss Journal, No. 30, June, pp. 273-296.
- [2] REMINI B. 2017. Tadmaït's foggara: without energy from the underground water to the surface of the ground. Larhyss Journal, n°32, Dec 2017, pp. 301-325.
- [3] REMINI B., ACHOUR B., ALBERGEL J., 2015. The qanat of Algerian Sahara: an evolutionary hydraulic system. Appl Water Sci (2015) 5:359–366 DOI 10.1007/s13201-014-0195-5
- [4] REMINI B., ACHOUR B. ET ALBERGEL J., 2011. Timimoun's foggara (Algeria): An heritage in danger. Arabian Journal of Geosciences (Springer), Vol. 4, n° 3, pp. 495- 506
- [5] REMINI B., 2016. The role of the gallery in the functioning of the foggara. Journal of water and land development, No. 29 (III–VI): 49–57.
- [6] REMINI B, ACHOUR B, OULED BELKHIR C, BABA AMAR, 2012. The Mzab foggara: an original technique for collecting the water rising. J. Water Land Dev., No. 16 (I–VI): 49–53
- [7] OULED BELKHIR C., REMINI B. 2016. Cleanup and valuation of the waters of the aquifer of the M'zab Valley (Algeria). Journal of Water and Land Development. No. 29 p. 23–29. DOI: 10.1515/jwld-2016-0009
- [8] COTE M., 2006. « Si le Souf m'était conté, comment fait et se défait un paysage ». Édition Média-plus, Constantine. 135 p.
- [9] REMINI B., 2004. The upwelling in the region of El Oued. Environment Vector Review (Canada). May.
- [10] REMINI B ET KECHAD R., 2011. Impact of the water table razing on the degradation of El Oued Palm Plantation (Algeria) Mechanisms and solutions. Geographia Technica, n° 1, pp. 48- 56.
- [11] REMINI B., 2006. The disappearance of ghouts in the region of el oued (Algeria). Larhyss Journal, No. 5, June, pp.49-62
- [12] MILOUDI A., REMINI B. 2018. Water resources between conditions of quality and quantity in the Oued Souf region! AIP Conference Proceedings 1968, 020015; doi: 10.1063/1.5039174.
- [13] MILOUDI A, REMINI B, 2016. Water Potentiality of Sustainable Management Challenges in the Oued Souf Region, south east Algeria. International Journal of Energetica, Vol. 1, n°1, pp. 36-39