

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de
la recherche scientifique



Université El Hadj Lakhdar
-Batna-

Institut de génie civil, d'hydraulique et d'architecture
Département d'Hydraulique
Laboratoire de recherche en hydraulique appliquée

**Mémoire en vue de l'obtention du diplôme
De Magister en hydraulique**

*Option : Construction hydro-technique et environnement
(Mobilisation des ressources hydriques et leur impact sur l'environnement)*

THEME

La remontée des eaux souterraines en
surface: mécanisme et l'impact sur l'environnement
(cas de Oued Souf)

Présenté par : ZINE Brahim
(Ingénieur d'état en hydraulique)

Jury :

Président :	Dr LAHBARI Nouredine	M.C Université de Batna
Rapporteur :	Pr BOUDOUKHA Abderrahmane	Pr Université de Batna
Examineur :	Dr ROUABHIA Abdelkader	M.C Université de Tébessa
Examineur :	Dr CHABOUR Nabil	M.C Université de Constantine

REMERCIEMENTS

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

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

Je tiens à remercier également:

- Monsieur LAHBARI Nouredine, Maître de Conférence à l'Université de Batna, qui m'a fait l'honneur de présider mon jury.
- Monsieur ROUABHIA Abdelkader, Maître de Conférence à l'Université de Tébessa, qui a bien voulu examiner ce travail.
- Monsieur CHABOUR Nabil, Maître de Conférence à l'Université de Constantine, qui a bien voulu examiner ce travail.

Monsieur MILOUDI Abdelmounem et Monsieur BENMOUSSA Hichem, ingénieurs au Bureau d'étude Bonnard & Gardel pour leurs conseils très précieux, et pour avoir voulu relire mon travail.

Nous remercions Madame TARFI Aicha et Monsieur LECHARI Mohamed El Bachir, ingénieurs de la D.H.W.d'El Oued pour tous les renseignements qu'ils ont pu nous fournir et leur soutien.

Je tiens à remercier mes parents et mes frères et mes sœurs.

Je remercie par la même occasion tous mes amis de cette promotion de 1^{ère} année de Magister.

Je n'oublierai pas mes amis N. Mega et A. Mossawi et tous mes amis pour leur aide et leur vive sympathie.

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

SOMMAIRE

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
-----------------------------------	----------

CHAPITRE 1 : CADRE NATUREL

1.1. INTRODUCTION.....	3
1.2. SITUATION GÉOGRAPHIQUE.....	3
1.3. TOPOGRAPHIE.....	5
1.4. GÉOLOGIE DE LA VILLE DE OUED SOUF.....	8
1.4.1. Secondaire.....	8
1.4.2. Tertiaire.....	10
1.4.3. Quaternaire.....	11
1.5. CONCLUSION.....	13

CHAPITRE 2 : HYDROCLIMATOLOGIE

2.1. INTRODUCTION	14
2.2. ÉTUDE DES PARAMETRES CLIMATIQUES.....	14
2.2.1. La température.....	15
2.2.1.1. La température moyenne mensuelle interannuelle.....	15
2.2.1.2. Les températures moyennes annuelles.....	16
2.2.2. La pluviométrie.....	18
2.2.2.1. Répartition moyennes mensuelles des pluies.....	18
2.2.2.2. Répartition moyennes annuelles des pluies.....	19
2.2.3. Diagramme pluviothermique.....	21
2.2.4. Climagramme d'Emberger.....	22

2.2.5. Indice d'aridité.....	24
2.2.6. L'humidité.....	24
2.2.7. Le vent.....	25
2.2.8. L'insolation.....	26
2.2.9. L'évaporation.....	27
2.3. CALCUL DES PARAMETRES DU BILAN HYDROLOGIQUE.....	28
2.3.1. Évapotranspiration.....	28
2.3.1.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP)	28
a- Formule de PENMAN.....	28
b- Formule de THORNTHWAITE.....	30
2.3.1.2. L'évapotranspiration réelle (ETR).....	32
a- Formule de L. TURC	32
b- Méthode THORNTHWAITE.....	32
2.3.2. Ruissellement	35
2.5. CONCLUSION.....	35

CHAPITRE 3 : HYDROGÉOLOGIE

3.1. INTRODUCTION.....	37
3.2. CADRE HYDROGEOLOGIQUE GENERAL.....	37
3.2.1. La Nappe phréatique.....	37
3.2.2. Complexe Terminal.....	39
3.2.3. Nappe du Continental Intercalaire.....	42
3.3. HISTORIQUE ET MECANISME DE LA REMONTEE DE LA NAPPE.....	45
3.3.1. Avant 1956.....	45
3.3.2. De 1956 à 1986.....	47
3.3.3. Après 1986.....	52
3.6. GÉOMÉTRIE DE L'AQUIFERE.....	60
3.5. CARACTÉRISTIQUES HYDRODYNAMIQUES	60

3.6. PIÉZOMÉTRIE DE LA VILLE DE OUED SOUF.....	61
3.6.1. Inventaire des points d'eau.....	61
3.6.2. Évolution de la piézométrie.....	63
3.6.2.1. La piézométrie en Mai 2008.....	63
3.6.2.2. La piézométrie en Mai 2009.....	66
3.6.2.3. La piézométrie entre Mai 2009 et Mai 2008.....	78
3.6.2.4. La piézométrie en Janvier 2009.....	70
3.7. LE BILAN DE LA NAPPE.....	71
3.8. CONCLUSION.....	73

CHAPITRE 4 : HYDROCHIMIE

4.1. INTRODUCTION	74
4.2. PRELEVEMENTS.....	74
4.3. DISCUSSION ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS.....	75
4.3.1. Les paramètres physico-chimiques.....	76
4.3.2. La température.....	76
4.3.3. Le potentiel d'Hydrogène.....	76
4.3.4. La conductivité électrique.....	76
4.3.5. Le titre Hydrotimétrique	78
4.3.6. Les Cations.....	78
4.3.6.1. Calcium	78
4.3.6.2. Magnésium.....	81
4.3.6.3. Sodium.....	81
4.3.6.4. Potassium.....	84
4.3.6.5. Ammonium.....	84
4.3.7. Les Anions	87
4.3.7.1. Chlorures.....	87

4.3.7.2. Sulfates.....	87
4.3.7.3. Bicarbonates.....	91
9.3.7.4. Nitrates.....	91
4.3.7.5. Nitrites.....	93
4.3.7.6. Fluore.....	93
4.3.8. Les métaux lourds.....	95
4.3.8.1. Le Plomb.....	95
4.3.8.2. Le Zinc.....	96
4.3.8.3. Le Cuivre.....	96
4.4. CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES EAUX	100
4.4.1. Diagramme de PIPER.....	100
4.4.2. Diagramme de Diagramme Schoeler Berkaloff	101
4.4.3. Diagramme de Rivers.ide.....	102
4.5. CONCLUSION.....	104

CHAPITRE 5 : IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

5.1. INTRODUCTION.....	105
5.2. IMPACTS DE LA REMONTEE DE LA NAPPE PHREATIQUE SUR L'ENVIRONNEMENT.....	105
5.2.1. Disparition des ghouts.....	105
5.2.2. La salinisation des eaux d'irrigation et du sol.....	107
5.2.3. L'apparition des maladies hydriques.....	108
5.2.4. Endommagement des constructions.....	109
5.2.5. Le recul du tourisme.....	109
5.2.6. La prolifération des moustiques.....	109
5.3. SOLUTIONS PROPOSEES.....	109
5.3.1. Mise en place d'un réseau d'assainissement.....	110

5.3.2. Mise en place des réseaux de drainage	110
5.3.2.1. Drainage horizontal	110
5.3.2.2. Drainage vertical.....	111
5.3.3. Épuration.....	111
5.3.4. Traitement et aménagement des ghouts.....	113
5.3.5. Création d'une ceinture verte.....	113
5.3.6. Les mesures complémentaires.....	113
5.5. CONCLUSION.....	114
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	115
BIBLIOGRAPHIE	
ANNEXES	

LISTE DES TABLEAUX

Tableau.1.1-	Répartition des tranches d'altitudes.....	5
Tableau.2.1-	Caractéristiques géographiques de la station météorologique de Guemar	14
Tableau.2.2-	Moyennes mensuelles de la température de l'air à la station de Guemar.....	15
Tableau.2.3-	Moyenne annuelle des températures de l'air à la station de Guemar (1985/86 - 2006/07).....	17
Tableau.2.4-	Récapitulation des données de la température à la station de Guemar	18
Tableau.2.5-	Répartition des précipitations moyennes mensuelles à la station de Guemar.....	18
Tableau.2.6-	Les précipitations moyennes annuelles à la station de Guemar entre 1985/86 et 2006/07	20
Tableau.2.7-	Les types du climat selon l' indice d'aridité.....	24
Tableau.2.8-	Répartition moyenne mensuelle de l'humidité à Oued Souf.....	25
Tableau.2.9-	Répartition moyenne mensuelle de la vitesse du vent à Oued Souf..	26
Tableau.2.10-	Répartition moyenne mensuelle de l'insolation à Oued Souf.....	26
Tableau.2.11-	Répartitions de l'évaporation (1985-2007) à Oued Souf	27
Tableau.2.12-	Calcul de l'ETP selon la formule de Penman à Oued Souf.....	29
Tableau.2.13-	Résultats de l'ETP issus de la formule de Thornthwaite à Oued Souf....	31
Tableau.2.14-	Application numérique de la formule de TURC à Guemar.....	32
Tableau.2.15-	Bilan hydrique de la station de Guemar d'après THORNTHWAITE...	34
Tableau.3.1-	Bilan d'eau de la ville de Oued Souf.....	72
Tableau.4.1-	Caractéristiques chimiques des eaux de la nappe superficielle de Oued Souf.....	75
Tableau.4.2-	Dureté des eaux de la région d'étude	78
Tableau.4.3-	Concentration en plomb, zinc et cuivre	95
Tableau.5.1-	Récapitulatif des dégâts de la remontée des eaux (palmiers affectés) (D.S.A, 2005).....	106
Tableau.5.2-	Répartition des cas des maladies à transmission hydrique dans les communes (Direction de la santé El Oued, 2008).....	108

LISTE DES FIGURES

Fig.1.1-	Localisation géographique de la zone d'étude.....	4
Fig.1.2-	Carte topographique de la zone d'étude.....	6
Fig.1.3-	Carte des pentes de la zone d'étude.....	7
Fig.1.4-	Carte géologique du Grand Erg Oriental, (Baba, 2005).....	10
Fig.1.5-	La lithostratigraphie du forage F1, (ANRH, 1993).....	12
Fig.2.1-	Répartition moyenne mensuelle interannuelle de la température à la station de Guemar	16
Fig.2.2-	Variation de température annuelle à la station de Guemar (1985/86 - 2006/07).....	17
Fig.2.3-	Répartition des précipitations moyennes mensuelles annuelles à la station de Guemar	19
Fig.2.4-	Précipitations moyennes annuelles à la station de Guemar (1985/86 à 2006/07).....	20
Fig.2.5-	Diagramme pluviothermique de la station de Guemar.....	22
Fig.2.6-	Position de la station de l'ONM: de Guemar sur le climagramme d'Emberger.....	23
Fig.2.7-	Répartition moyenne mensuelle de l'humidité à la station de Guemar	25
Fig.2.8-	Répartitions de l'évaporation à Oued Souf	27
Fig.2.9-	Evolution de l'ETP (mm) de Penman à la station de Guemar.....	30
Fig.2.10-	Évolution de l'ETP (mm) de Thornthwaite à la station de Guemar.....	31
Fig.3.1-	Zone d'alimentation de la nappe phréatique et le sens d'écoulement de la nappe (Cote, 2006).....	38
Fig.3.2-	Limites de l'aquifère du Complexe terminale avec les niveaux piézométrique et les sens d'écoulement (Baba et al., 2006).....	40
Fig.3.3-	Limite de l'aquifère du Continental Intercalaire avec les niveaux piézométrique et le sens d'écoulement (Baba et al., 2006).....	43
Fig.3.4-	Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara Septentrionale (UNESCO, 1972a).....	44
Fig.3.5-	Les nombres des palmiers du Souf au début de XXe siècle (Najah, 1970).....	46
Fig.3.6-	La nappe phréatique Avant 1956.....	47
Fig.3.7-	La ville d'El Oued, vue d'avion en 1980 (Cote, 2006).....	48

Fig.3.8- Évolution de la situation des ghouts autour d'El Oued en 1980 (Cote, 1998).....	50
Fig.3.9- Évolution des nombres des palmiers au début des années 80.....	51
Fig.3.10- La situation des ghouts d'El Oued en 1986 (Cote, 1998).....	51
Fig.3.11- La nappe phréatique entre 1956 à 1986.....	52
Fig.3.12- La nappe phréatique après 1986.....	53
Fig.3.13- Situation d'un ghouts complètement noyé par les eaux polluées pendant l'année 90 (Cote, 2006).....	54
Fig.3.14- Carte piézométrique de la nappe phréatique de la vallée du Souf en avril 2002 (Bonnard & Gardel, 2002).....	56
Fig.3.15- Situation des profils de dépression de la nappe phréatique.....	57
Fig.3.16- Profil Nord-sud de la nappe phréatique dans l'axe (Foulia - El Oued - Ogla).....	58
Fig.3.17- Profil Est-ouest de la nappe phréatique passant par Magrane.....	58
Fig.3.18- Profil Est-ouest de la nappe phréatique par Taghzout.....	59
Fig.3.19- Profil Est-ouest de la nappe phréatique passant par El Oued.....	59
Fig.3.20- Profil Est-ouest de la nappe phréatique passant par Ogla.....	60
Fig.3.21- Réseau de surveillance de la ville de Oued Souf.....	62
Fig.3.22- Carte piézométrique de la nappe phréatique de la ville de Oued Souf en mai 2008.....	65
Fig.3.23- La remontée de la nappe phréatique en surface dans la cité Choot (Juin, 2009).....	66
Fig.3.24- Carte piézométrique de la nappe phréatique de la ville de Oued Souf en mai 2009.....	67
Fig.3.25- Carte de battement piézométrique entre mai 2009 et mai 2008 dans la ville de Oued Souf.....	69
Fig.3.26- Zone inondée à la cité Choot (Janvier, 2009).....	70
Fig.3.27- Carte piézométrique de la nappe phréatique dans les zones inondées de la ville de Oued Souf en janvier 2009.....	71
Fig.4.1- Répartition de la température de l'eau de la nappe superficielle (Juillet, 2009).	77
Fig.4.2- Carte du pH (Juillet, 2009).....	79
Fig.4.2- Carte de la conductivité (Juillet, 2009).....	80
Fig.4.4- Carte du calcium (Juillet, 2009).....	82

Fig.4.5- Carte de magnésium (Juillet, 2009).....	83
Fig.4.6- Carte de sodium (Juillet, 2009).....	85
Fig.4.7- Carte de potassium (Juillet, 2009).....	86
Fig.4.8- Carte de l'ammonium (Juillet, 2009).....	88
Fig.4.9- Carte des sulfates (Juillet, 2009).....	89
Fig.4.10- Carte des nitrates (Juillet, 2009).....	90
Fig.4.11- Carte des nitrites (Juillet, 2009).....	92
Fig.4.12- Carte du fluor (Juillet, 2009).....	94
Fig.4.13- Carte de répartition du plomb (Décembre, 2009).....	97
Fig.4.14- Carte de répartition du zinc (Décembre, 2009).....	98
Fig.4.15- Carte de répartition du cuivre (Décembre, 2009).....	99
Fig.4.16- Diagramme de Piper pour les eaux (compagne Juillet 2009).....	101
Fig.4.17- Diagramme de Diagramme Schoeler Berkaloff (compagne Juillet 2009)....	102
Fig.4.18- Diagramme rivers.ide pour les eaux de la zone d'étude.....	103
Fig.5.1- Asphyxie des palmiers dattiers (Juin, 2009).....	107
Fig.5.2- La salinisation du sol à la cité Choot (2009).....	107
Fig.5.3- La station de pompage des eaux de drainage horizontal.....	111
Fig.5.4- Schéma directeur d'assainissement de la vallée du Souf (Bonnard & Gardel, 2003b-2004c).....	112

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ADE: Algérienne Des Eaux.

AEA : Alimentation en Eau d'Agriculture.

AEI : Alimentation en Eau d'Industrie.

AEP : Alimentation en Eau Potable.

ANRH: Agence Nationale des Ressources Hydriques

CI: Continental Intercalaire.

CT: Complexe Terminal.

DHW : Direction de l'hydraulique de la Wilaya

DSA : Direction des Services Agricoles.

ONA: Office National d'Assainissement.

ONM : Office National Météorologique.

BG : Bonnard & Gardel.

SAU : Surface Agricole Utile.

STEP: Station d'Épuration.



*Introduction
générale*

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'eau est un élément cosmique, au même titre que le soleil et la terre. Elle est la condition de la vie. Malheureusement, dans plusieurs régions algériennes, surtout celles situées au Sahara, sont confrontées aujourd'hui à des problèmes liés à des aspects quantitatifs et qualitatifs des ressources en eau.

En plus de ces problèmes certaines régions comme celle de Souf est confrontée au phénomène de la remontée en surface, des eaux souterraines depuis plusieurs années et qui ne cesse de prendre de l'ampleur chaque année. Ce phénomène de la remontée des eaux souterraines a pris des dimensions très alarmantes ces dernières années. L'utilisation des eaux des nappes profondes (le Complexe Terminal et le Continental Intercalaire) d'une façon excessive a augmenté considérablement le volume des apports, ainsi que les fuites des réseaux d'AEP et l'absence d'un exutoire naturel pour les rejets des eaux d'assainissement, sont les principales causes de ce déséquilibre écologique. Contribuant au dépérissement des palmiers, l'inondation des cratères et des dépressions (Ghouts), entraîne des conséquences néfastes tant sur l'agriculture, l'environnement, l'économie et la santé public dans la région de Oued souf. Face à cette problématique, diverses solutions ont été proposées pour mettre fin à cette inondation particulière.

Dans cette étude, nous nous sommes intéressées au mécanisme de la remontée des eaux souterraines en surface par le suivi du niveau piézométrique de la nappe libre avant et après l'apparition de phénomène. Ce problème est également abordé du côté hydrochimique qui permettra de bien cerner le phénomène. Nous terminerons par une présentation de l'impact de ce phénomène sur l'environnement avec quelques recommandations qui nous semblent être utiles.

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

Chapitre 1

Cadre naturel

1.1. INTRODUCTION

Le paysage traditionnel du souf est marqué par la beauté. Beauté spécifique, car l'originalité du souf, établissement humain créé dans un erg, est grande. Mais sa splendeur n'est pas seulement dans le mouvement des dunes ocre ou blanches de l'erg, elle est aussi dans une création humaine, inattendue.

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

1.2. SITUATION GÉOGRAPHIQUE

La ville de Oued Souf, la commune la plus agglomérée, est le chef lieu de d'El-Oued, l'une de principales oasis du Sahara septentrional Algérien dans l'Erg oriental. Elle est située au Sud-est de l'Algérie à environ 700 Km au Sud-est d'Alger et à 350 Km à l'Ouest de Gabes (Tunisie), au Nord-est du Sahara septentrional. La ville couvre une superficie totale de 40 km².

La wilaya est limitée :

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

Quant à elle, La ville d'El Oued est limitée au Nord par la commune de Kouinine, au Sud par la commune de Bayadha, à l'Est par la commune de Trifaoui et à l'Ouest par la commune de Oued Alenda (Fig.1.1).

Cette ville s'étend entre les coordonnées (UTM, Clarck 1880) suivantes:

X = 298000 m ; Y = 3690000 m

X = 304000 m ; Y = 3698000 m

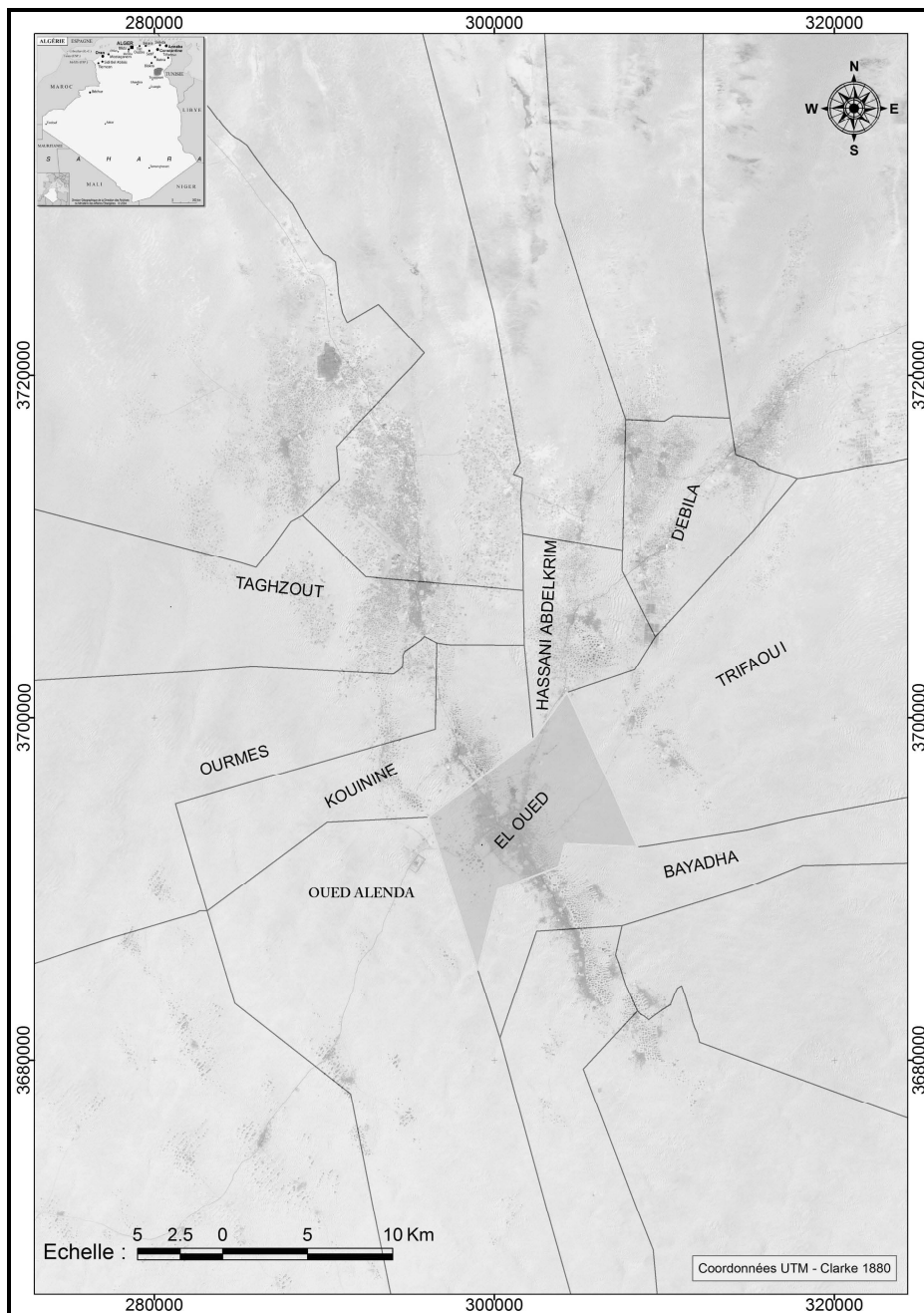


Fig.1.1- Localisation géographique de la zone d'étude

1.3. TOPOGRAPHIE

La ville occupe une partie importante de la commune d'El Oued dans laquelle la surface topographique a été interpolée à partir de 9892 points nivelés au sol pour le réseau d'assainissement dans les zones urbaines et 129 points dans les zones non-urbanisées, soit 10021 points couvrant la zone d'un modèle numérique de terrain (Fig.1.2).

D'après le MNT (Modèle Numérique du Terrain), cette région a une altitude moyenne de 82 m au dessus du niveau moyen de la mer et accusée par une diminution notable du Sud-ouest au Nord pour attendre les 66 m d'altitude.

Dans les cités du 19 mars et Errimel-ouest, il existe un dôme dont l'altitude varie entre 94 m et 100 m, il couvre une superficie de 1.2 km² (soit 3% de la superficie de la zone d'étude).

Dans les cités Chott et Nezla, il existe une dépression bien remarquée dont l'altitude varie entre 64 m et 70 m, et couvre une superficie de 3.2 km² (soit 8% de la superficie de la zone d'étude).

Dans la cité 08 mai, il existe également un dôme dont l'altitude varie entre 76 m et 82 m. Ce dôme couvre une superficie de 1.4 km² (soit 3.5% de la superficie de la zone d'étude). Ces caractéristiques topographiques ont été représentées dans le Tableau .1.1 par tranches d'altitudes.

Tableau .1.1- Répartition des tranches d'altitudes

Tranche d'altitude en m	Surface en Km ²	Surface en %
64 - 70	4.2	10.5
70 - 76	15	37.5
76 - 82	13	32.5
82 - 88	3.6	9
88 - 94	3	7.5
94 - 100	1.2	3

A partir de la carte des pentes (Fig.1.3), on remarque que cette région a une pente moins de 3% couvrant une superficie de 36 km² (soit 90% de la superficie de la zone d'étude).

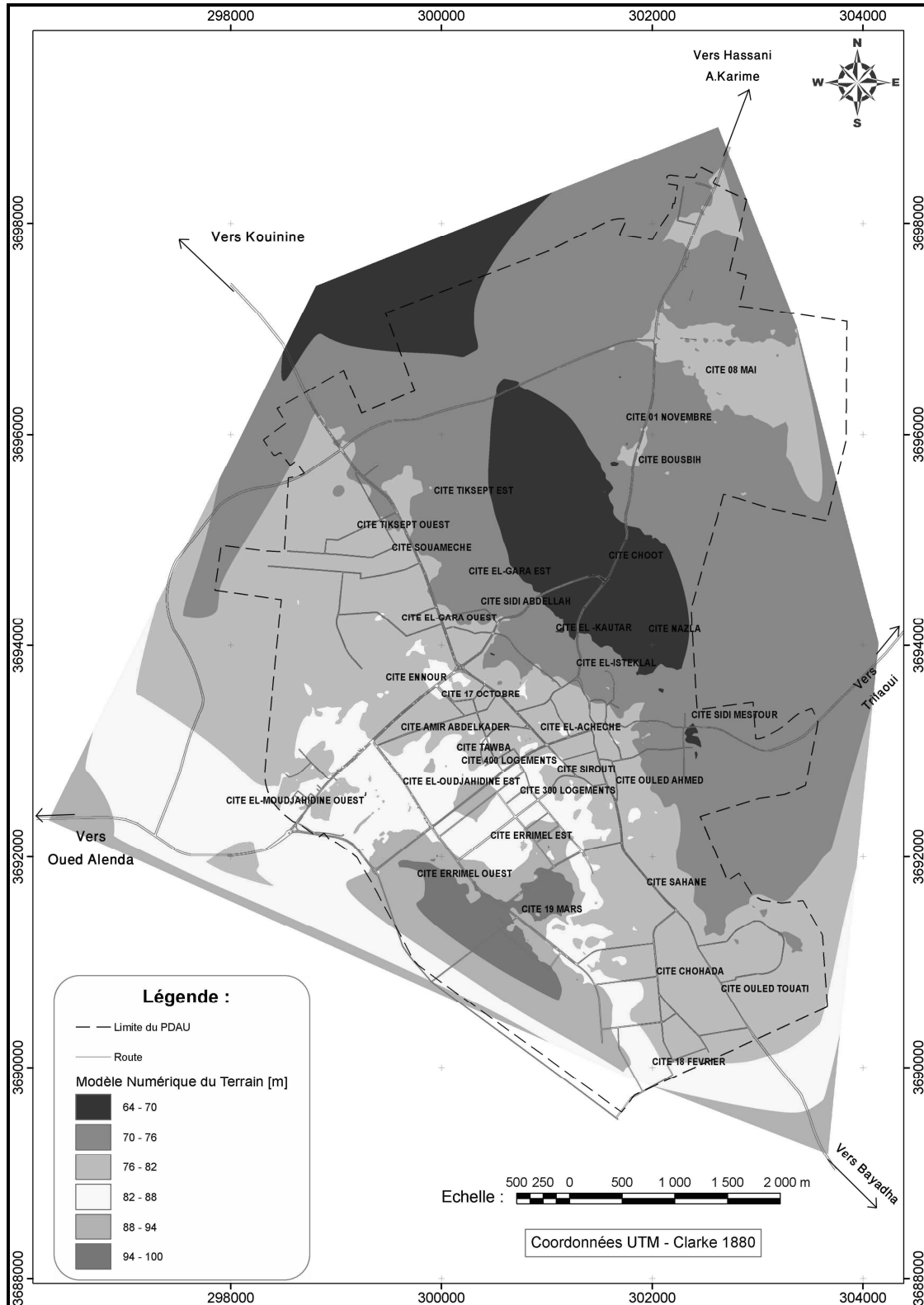


Fig.1.2- Carte topographique de la zone d'étude

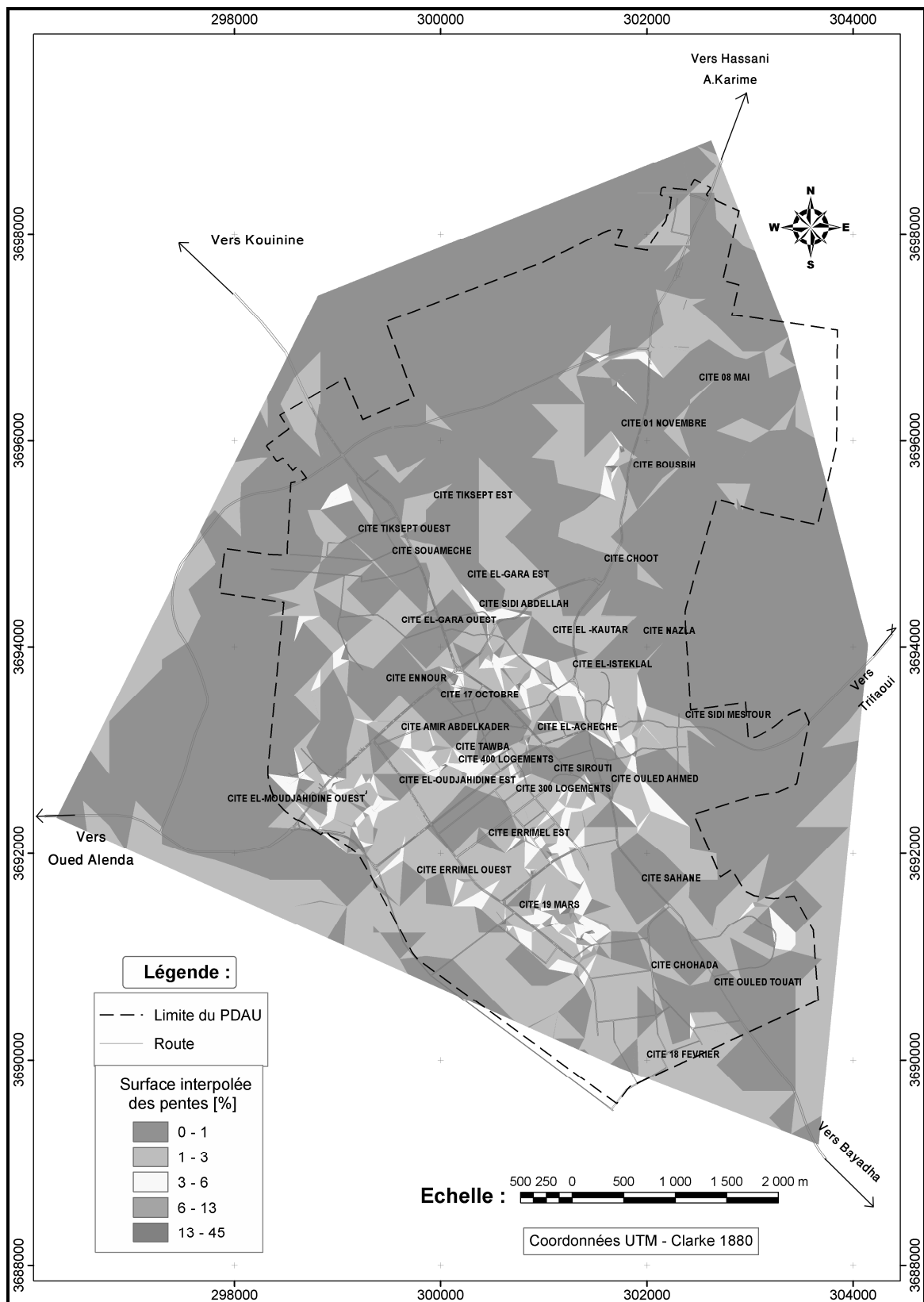


Fig.1.3- Carte des pentes de la zone d'étude

1.4. GÉOLOGIE DE LA VILLE DE OUED SOUF

La ville de Oued souf se situe dans une mer de sable de couleur jaune ocre, issue de dépôts quaternaires. D'après (Cornet 1961 et 1964 et Bel et al 1966) et les coupes de sondages établies à partir des forages, les profondeurs des étages varient d'une région à l'autre. Sur la base d'une carte géologique et de la coupe d'un forage de l'Albien (l'ANRH 2005) de la ville de Oued Souf, nous allons donner les principaux étages repérés dans cette région (*Fig. 1.4 et 1.5*):

1.4.1. Secondaire

- **Le Barrémien :**

Il est représenté par une alternance de grès et des passages d'argiles et parfois des intercalations de calcaire dolomitique. On rencontre également des sables avec la présence de silex. L'épaisseur moyenne de cet étage est de l'ordre de 200 à 230 m.

- **L'Aptien :**

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

- **L'Albien :**

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

- **Le Vraconien :**

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

- **Le Cénomaniens :**

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

- **Le Turonien :**

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

- **Le Sénonien :**

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

- **Sénonien lagunaire :**

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

– **Le Sénonien carbonaté :**

Ce second sous étage est constitué par des dolomies, des calcaires dolomitiques avec des intercalations de marnes et d'argiles, plus rarement d'anhydrite. Son épaisseur dépasse parfois les 300 mètres.

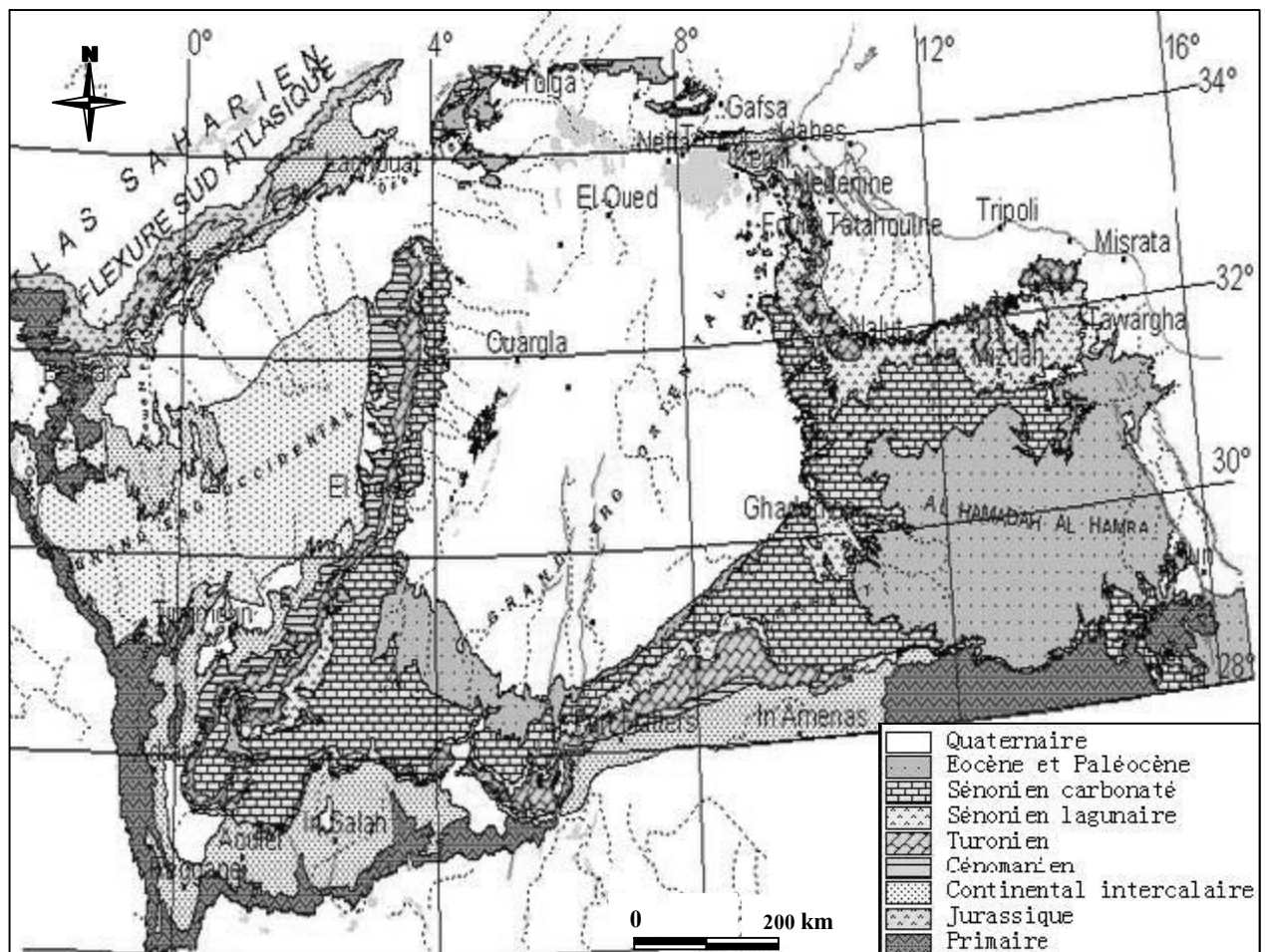


Fig.1.4- Carte géologique du Grand Erg Oriental, (Baba, 2005)

1.4.2. Tertiaire

• **L'Eocène:**

L'Eocène comme pour le Sénonien, est formés par deux ensembles distincts du point de vue lithologique :

- *L'Eocène carbonaté à la base*, formé par un très puissant ensemble calcaire.
- *L'Eocène évaporitique au sommet* est constitué par une alternance de calcaires, d'argile et d'anhydrite.

- **Le Miopliocène :**

Il repose en discordance indifféremment sur le Primaire d'une part et sur le Crétacé inférieur, le Turonien, le Cénomaniens et l'Eocène d'autre part, il appartient à l'ensemble appelé communément Complexe Terminale (C.T).

1.4.3. Quaternaire

Il est représenté par des dunes de sable récentes. On y trouve des grès beiges ou blanchâtres, des sables fins à moyens de couleur beige et de paillettes de gypse. Les terrains quaternaires représentent la couverture superficielle qui se localisent surtout au niveau des dépressions et couvrent la plus grande extension au niveau du bas Sahara, ils sont formés d'un matériel alluvial et éolien.

Coupe du forage F1 à El-Oued		X=885.300 Y=314.000 Z=98m	Description géologique	Etages
0			Alternance d'argile parfois sableuse et de sable hétérogène à intercalation de gypse	Mio-pliocène
50				
100				Eocène
150				
200				
250				
300		300		
350				
400				
450				
500				
550				
600				Sénonien
640		640	Alternance de marne gris- verdâtre et de calcaire gris, compact et dur ;	
700		740		Carbonaté
750			Alternance de dolomie beige compact, d'anhydrite blanche et de calcaire argileux	
800		840		Sénonien Lagunaire
850				
900			Anhydrite blanche, massive dure avec des passages de dolomie gris clair	
950			e et des intercalations de calcaire	
1000				Turonien
1050				
1100		1110		Cénomani
1150		1167	Dolomie beige microcristalline compacte, dure, avec des passages de calcaire peu dolomitique	
1200		1200	Anhydrite massive et calcaire argileux à passages de marnes	Cénomani
1250			Anhydrite avec passage de calcaire, de dolomie et de marne	
1300		1270	Anhydrite avec passage de calcaire, marne et dolomie avec intercalation d'argile	
1350		1374		Vraconien
1400			Calcaire gris clair argileux à passage de dolomie compact, parfois microcristalline	
1450		1498		Albien
1500			Marne grise à passage d'argile gris-vert, intercalation de silex, à faible passage de grès calcaire	
1550		1589		Aptien
1600		1613	Dolomie, calcaire, marne	
1650		1683		Barrémien
1700			Argile brune rouge à intercalations de grès	
1750		1720		
1800		1770	Grès, dolomie, calcaire et sable avec une intercalation de silex	
1850		1800		
		1850		

Fig.1.5- La lithostratigraphie du forage F1, (ANRH, 1993)

1.5. CONCLUSION

La ville de Oued Souf s'étend sur une superficie de 40 Km². Elle est limitée au Nord par la commune de Kouinine, au Sud par la commune de Bayadha, à l'Est par la commune de Trifaoui et à l'Ouest par la commune de Oued Alenda.

D'après le Modèle Numérique du Terrain (MNT), cette région a une altitude moyenne de 82 m au dessus du niveau moyen de la mer et accusée par une diminution notable du Sud-ouest au Nord pour atteindre les 66 m d'altitude.

La zone d'étude est caractérisée par deux dômes importants dans les cités du 19 mars et du 8 mai et par une dépression dans les cités Choot et Nezla.

Selon la carte des pentes, cette région se caractérise par une pente de moins de 3% qui couvrent presque toute la zone d'étude. Selon la coupe d'un forage de l'Albien de la ville de Oued Souf, les principaux étages repérés dans cette région sont :

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

Chapitre 2

Hydroclimatologie

2.1. INTRODUCTION

Le climat joue un rôle essentiel sur la morphologie du relief, la végétation, la genèse et le type de sols et sur l'activité agricole. Le climat algérien est caractérisé par sa grande variabilité des précipitations et des températures annuelles. Cette variation est due essentiellement aux irrégularités topographiques et aux influences opposées de la Méditerranée et du Sahara. Le climat de la ville de Oued souf est de type saharien caractérisé par un faible taux de précipitations, des températures élevées, d'une évaporation intense et d'un rayonnement solaire excessif.

2.2. ETUDE DES PARAMETRES CLIMATIQUES

Pour cette étude, les séries des données, qui sont à la base de la détermination des différents paramètres climatiques, ont été enregistrées à la station pluviométrique de Guemar (*Tableau.2.1*).

Tableau .2.1- Caractéristiques géographiques de la station météorologique de Guemar

Station	Coordonnées		Altitude (m)
	Longitude	Latitude	
Guemar	06°47' E	33°30' N	63

2.2.1. La température

L'étude hydrogéologique de la zone d'étude devrait comporter l'analyse du caractère thermique, car l'étude de l'évolution de la température est d'une grande importance dans l'estimation de l'évaporation et de l'évapotranspiration. Ce paramètre rend compte également de son apport d'énergie à la végétation, au pouvoir évaporateur qu'il exerce sur les surfaces mouillées, et, enfin, il est à l'origine du fonctionnement du cycle de l'eau.

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

2.2.1.1. La température moyenne mensuelle interannuelle

La période qui s'étale du mois de novembre au mois d'avril correspond à la période froide avec un minimum durant le mois de janvier de (11.30 °C) alors que la période chaude commence à partir du mois de mai et s'étale jusqu'au mois de septembre avec un maximum pendant le mois de août (33.91 °C). La moyenne annuelle est de l'ordre de 22.47°C.

Le tableau 2.2 récapitule les températures moyennes mensuelles interannuelles, qui ont été reportées également dans la figure 2.1.

Tableau.2.2- Moyennes mensuelles de la température de l'air à la station de Guemar

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	An
T _{moy} (°C)	28.72	23.62	16.81	11.93	11.30	13.46	17.32	21.43	26.21	31.13	33.77	33.91	22.47

(ONM-2008)

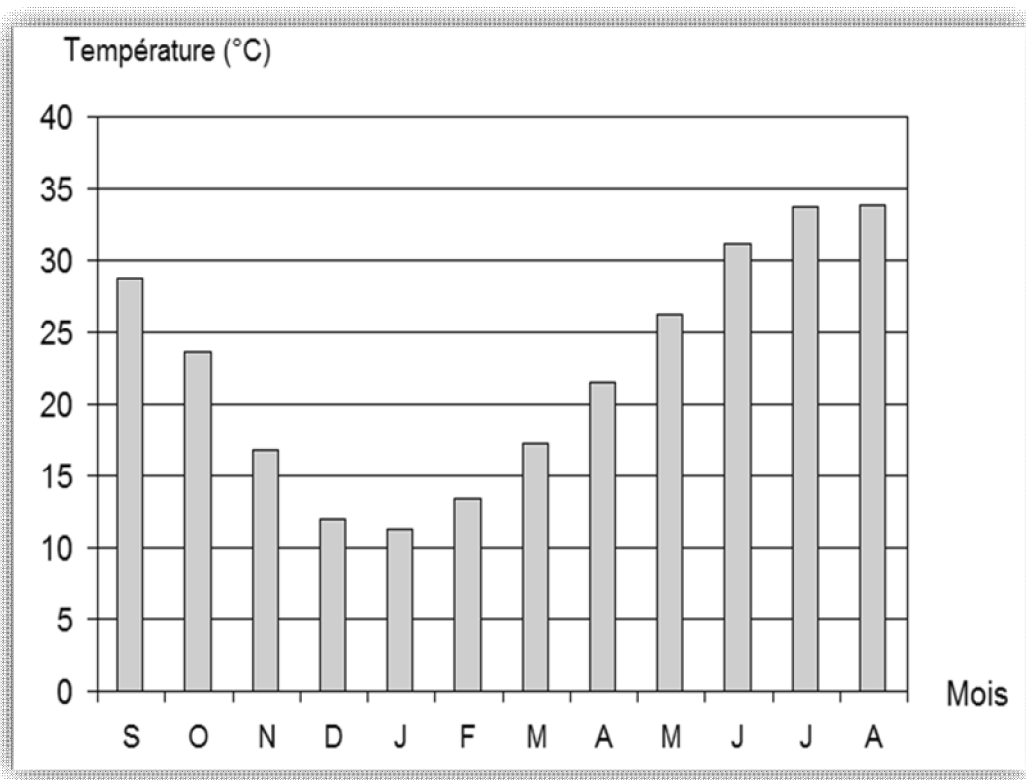


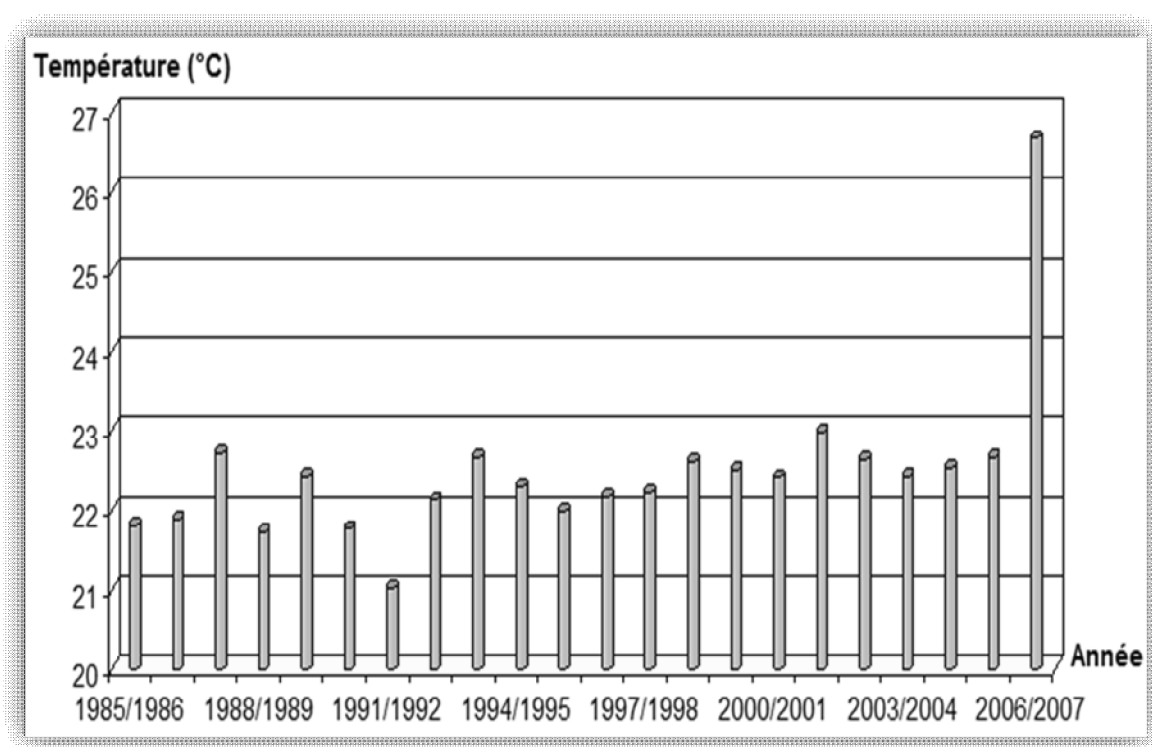
Fig.2.1- Répartition moyenne mensuelle interannuelle de la température à la station de Guemar

2.2.1.2. Les températures moyennes annuelles

Le tableau 2.3 et la figure 2.2 présentent la variation de la température moyenne annuelle sur une période de 22 ans (1985 à 2007). On remarque bien l'irrégularité de ce paramètre. L'année la plus chaude est 2006/2007 avec une température moyenne égale 26.67°C et l'année la plus froide est l'année 1991/1992 avec une moyenne de température égale à 21.02°C (Tableau.2.4).

**Tableau.2.3- Moyenne annuelle des températures de l'air
à la station de Guemar (1985/86 - 2006/07)**

Années	T(C°)	Années	T(C°)
1985/1986	21.80	1996/1997	22.18
1986/1987	21.89	1997/1998	22.23
1987/1988	22.71	1998/1999	22.60
1988/1989	21.73	1999/2000	22.50
1989/1990	22.43	2000/2001	22.42
1990/1991	21.77	2001/2002	22.98
1991/1992	21.02	2002/2003	22.65
1992/1993	22.13	2003/2004	22.42
1993/1994	22.67	2004/2005	22.54
1994/1995	22.30	2005/2006	22.67
1995/1996	21.98	2006/2007	26.67



**Fig.2.2- Variation de température annuelle
à la station de Guemar (1985/86 - 2006/07)**

**Tableau.2.4- Récapitulation des données de la température
à la station de Guemar**

Paramètres Station	température moyenne mensuelle interannuelle (°C)		température moyenne annuelle (°C)			Année la plus froide	Année la plus chaude	Mois la plus froid	Mois la plus chaud
	min	max	min	moy	max				
Guemar	11.30	33.91	21.02	22.47	26.67	1991/1992	2006/2007	Janvier	Août

2.2.2. La pluviométrie

L'étude de la pluviométrie présente un intérêt considérable dans l'hydroclimatologie qui permet de faire une description des régimes pluviométriques d'une part et d'analyser l'écoulement d'autre part. La lame d'eau globale tombée, a une influence sur la variation des niveaux d'eau souterraine à travers la zone d'étude.

2.2.2.1. Répartition moyennes mensuelles des pluies

Le tableau 2.5 et la figure 2.3 récapitule la répartition des moyennes mensuelles des relevés pluviométriques à la station de Guemar sur la période de 22 ans.

**Tableau.2.5- Répartition des précipitations moyennes mensuelles
à la station de Guemar**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	An
P moy (mm)	7	7	9	8	16	3	7	7	6	2	0	2	74

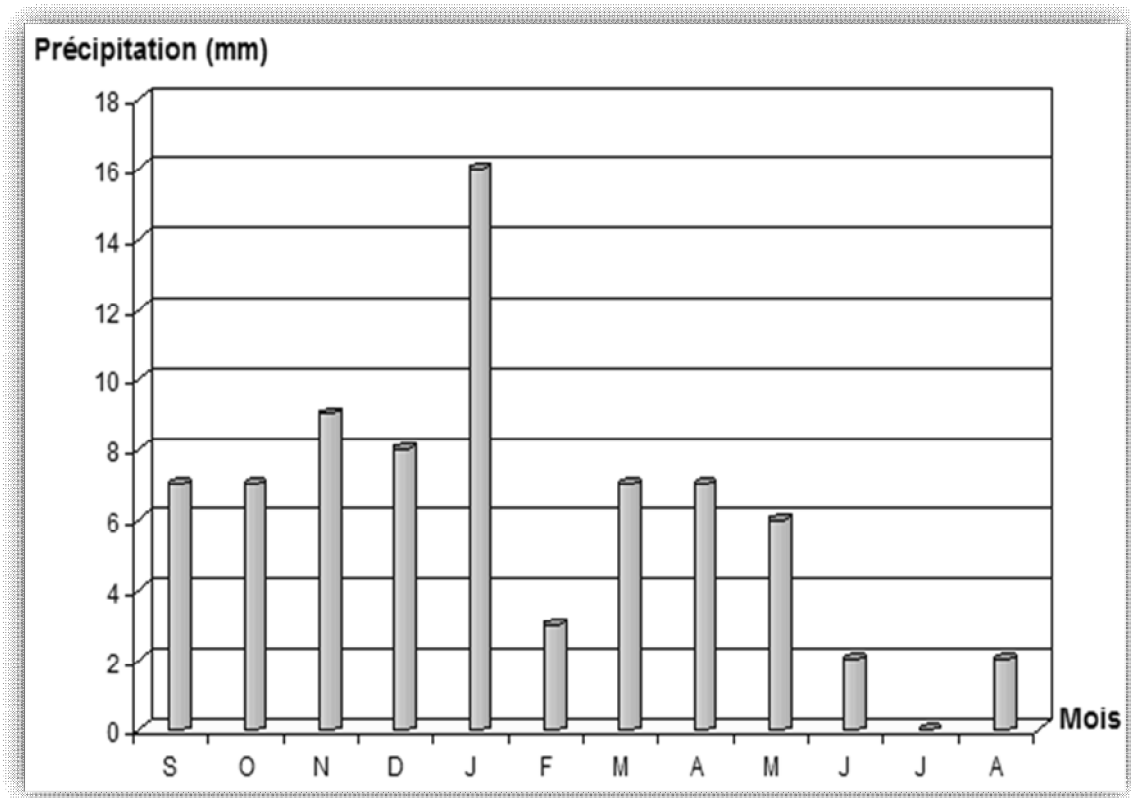


Fig.2.3- Répartition des précipitations moyennes mensuelles annuelles à la station de Guemar

Nous observons que tout au long de ces 22 ans, une grande irrégularité des précipitations moyennes mensuelles avec un maximum de l'ordre de 16 mm enregistré pendant le mois de janvier, un minimum de l'ordre de 00 mm enregistré pendant le mois de juillet, et une précipitation moyenne annuelle de 74 mm.

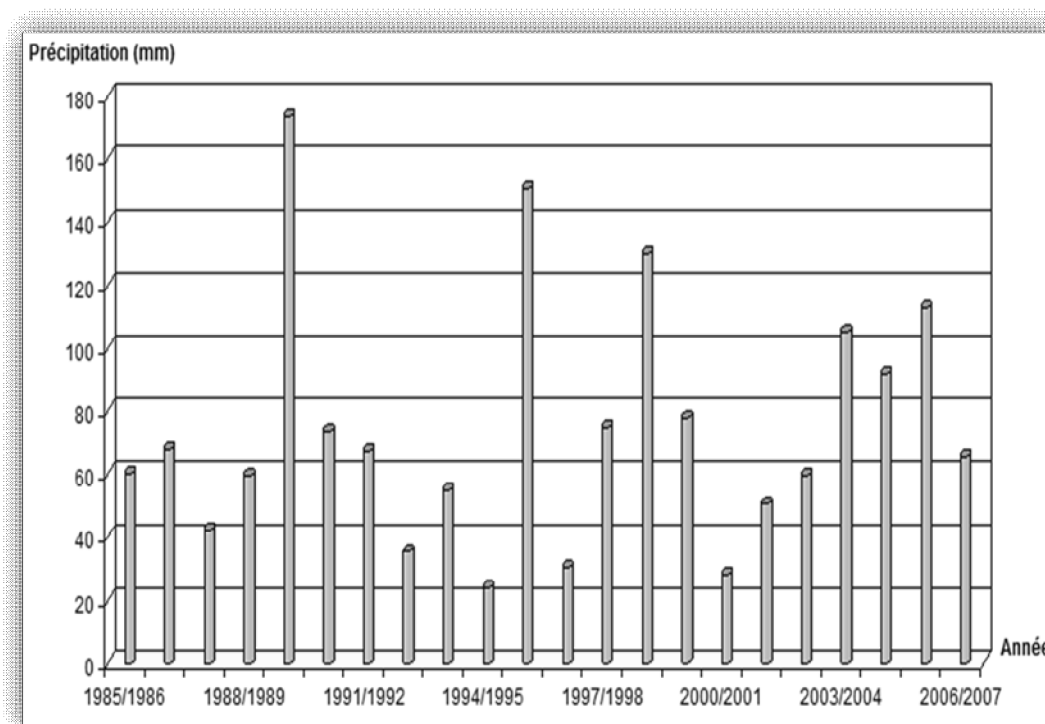
2.2.2.2. Répartition moyennes annuelles des pluies

Sur un cycle de vingt deux ans (1985/1986 – 2006/2007), les précipitations observées à la station de Guemar, montrent une grande variabilité d'une année à une autre. Ainsi, l'année la plus arrosée est celle de (1989/1990) avec 174 mm/an et l'année la plus sèche est telle de (1994/1995) avec 20mm/an.

Les résultats sont regroupés dans le tableau 2.6 et la figure 2.4.

**Tableau.2.6- Les précipitations moyennes annuelles
à la station de Guemar entre 1985/86 et 2006/07**

Années	P (mm)	Années	P (mm)
1985/1986	60	1996/1997	30
1986/1987	68	1997/1998	75
1987/1988	42	1998/1999	130
1988/1989	60	1999/2000	78
1989/1990	174	2000/2001	28
1990/1991	74	2001/2002	51
1991/1992	67	2002/2003	60
1992/1993	35	2003/2004	105
1993/1994	55	2004/2005	92
1994/1995	24	2005/2006	113
1995/1996	151	2006/2007	65



**Fig.2.4- Précipitations moyennes annuelles
à la station de Guemar (1985/86 à 2006/07)**

L'analyse des données pluviométriques enregistrées à la station météorologique de l'aéroport de Guemar sur la période allant de 1985 jusqu'au 2007 permet de dire que :

- La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 74 mm et elle est très variable à l'échelle annuelle (l'écart type est de 39.93 mm);
- Le mois de janvier est le mois le plus arrosé avec une moyenne de 16 mm.
- Le mois le moins pluvieux est le mois de juillet avec une moyenne de 0 mm.

L'origine des précipitations dans les régions sahariennes est différente selon les saisons. Durant l'été elles sont dues aux dépressions de mousson, en hiver elles sont dues aux dépressions accompagnant la migration vers le Sud des fronts polaires. Pendant la période intermédiaire, ces précipitations sont dues aux dépressions soudano sahariennes traversant le Sahara du Sud vers le Nord. (Dubief, 1959 et 1963).

2.2.3. Diagramme pluviothermique

Le but du diagramme est de déterminer la période sèche et la période humide.

L'examen de ce diagramme (Fig. 2.5), montre que la région d'étude est caractérisée par une période sèche durant toute l'année et donc par l'absence totale de la période humide, même pour le mois de janvier caractérisé par la précipitation la plus élevée (16 mm) et la température la plus basse (11.3 °C)

La détermination de cette période a une importance primordiale pour les besoins en eau d'irrigation.

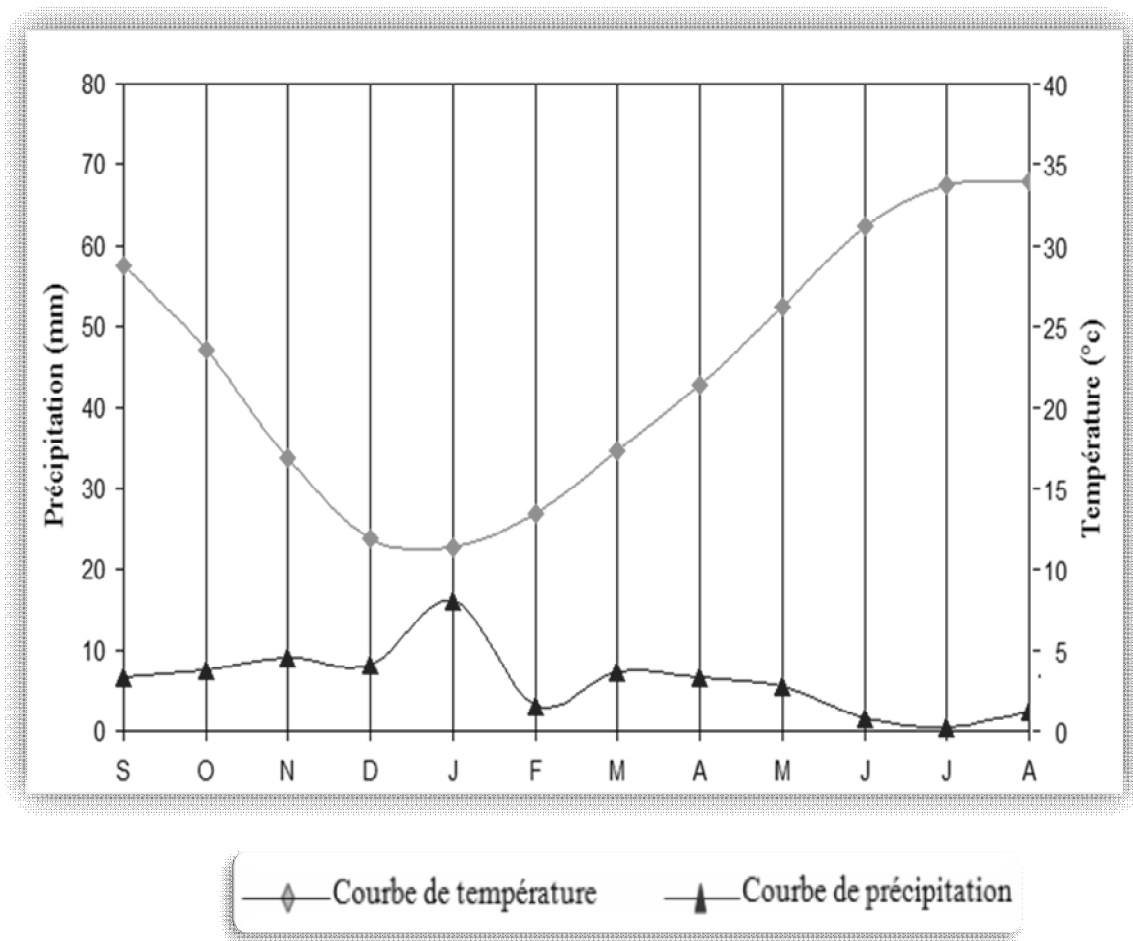


Fig.2.5- Diagramme pluviothermique de la station de Guemar

2.2.4. Climagramme d'Emberger

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

$$Q_2 = 3,43P / (M-m)$$

Avec :

Q_2 : Quotient pluviométrique d'Emberger.

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

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

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

Pour notre cas :

$$P = 74 \text{ mm}$$

$$M = 41.01 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

$$m = 5.44 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

$$\text{donc : } Q_2 = 3,43 * 74 / (41.01 - 5.44) = 7.14$$

La température minimale enregistrée pendant le mois de janvier au cours des 22 ans dans cette station est 5.44 °C.

Donc, la position de la station de Guemar sur le climagramme se situe aux coordonnées suivantes (5.44 ; 7.14).

Selon le climagramme d'Emberger, le climat de la région est de type hyper-aride à hiver doux (Fig.2.6).

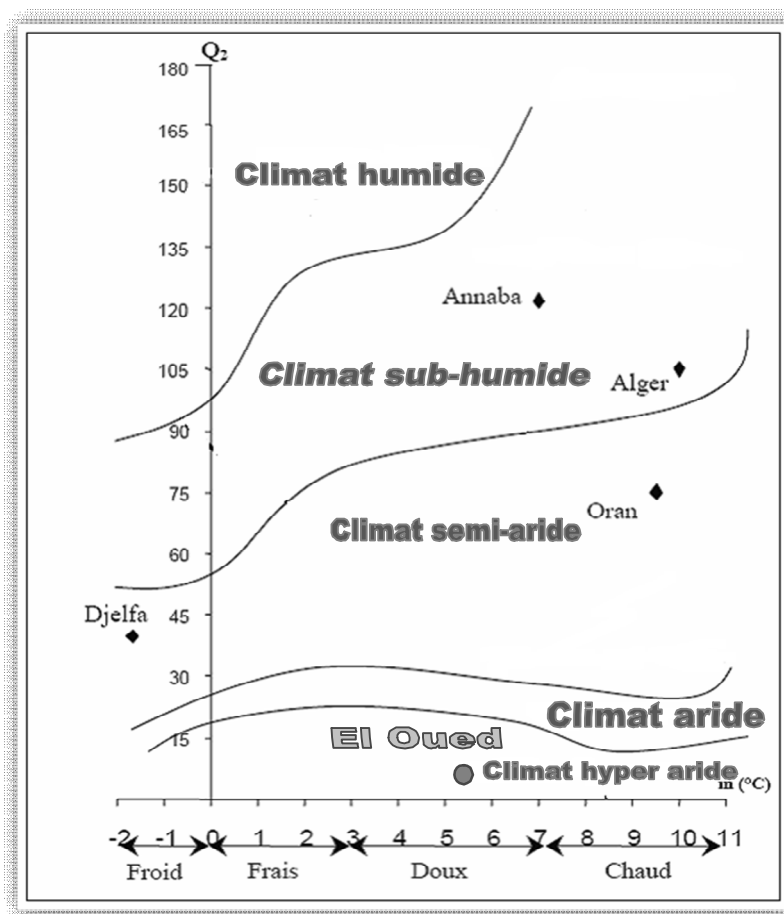


Fig.2.6- Position de la station de l'ONM: de Guemar sur le climagramme d'Emberger

2.2.5. Indice d'aridité

Cet indice dépend essentiellement des précipitations moyennes mensuelles et de la température annuelle. Cet indice est calculé à l'aide de la formule suivante :

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

Avec :

I : Indice d'aridité.

P : Précipitation moyenne mensuelle (mm).

T : Température moyenne annuelle (°C).

P = 74 mm ; T = 22.47 °C donc I = 2.28 mm/°C

Sur la base des fourchettes de l'indice d'aridité fixées par De Martonne (Tableau 2.7), nous pouvons dire que le type de climat de la région de Oued Souf est de type hyper-aride.

Tableau.2.7- Les types du climat selon l'indice d'aridité

Indice d'aridité	type de climat
I < 5	Climat hyper-aride
5 % < I < 7.5	Climat désertique
7.5 % < I < 10	Climat steppique
10 % < I < 20	Climat semi-aride
20 % < I < 30	Climat tempéré

2.2.6. L'humidité

L'humidité est un état de climat qui représente le pourcentage de la vapeur d'eau qui se trouve dans l'atmosphère. Dans la région de Oued Souf l'humidité de l'air est faible et la moyenne annuelle est de 48.4 %. Cette humidité varie sensiblement en fonction des saisons. En effet, pendant l'été, elle chute jusqu'à 31.9 % pendant le mois de Juillet, et ceci sous l'action d'une forte évaporation et

des vents chauds; alors qu'en hiver, elle s'élève et atteint une moyenne maximale de 68% au mois de Décembre (*Tableau.2.8 et figure 2.7*).

Tableau.2.8- Répartition moyenne mensuelle de l'humidité à Oued Souf

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	An
H (%)	45,5	52,6	60,1	68,0	65,9	55,6	49,5	43,8	38,9	34,3	31,9	34,7	48,4

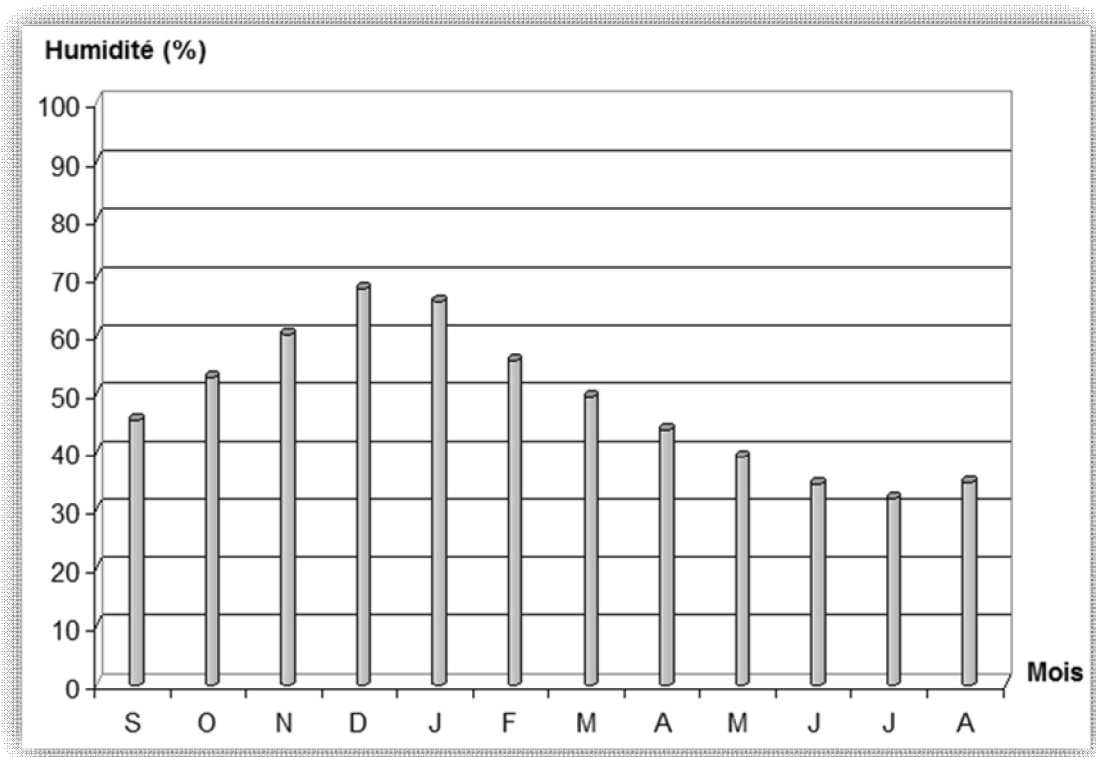


Fig.2.7- Répartition moyenne mensuelle de l'humidité à la station de Guemar

2.2.7. Le vent

Selon le Tableau 2.9, nous remarquons que les vents sont fréquents durant toute l'année. Les vitesses les plus élevées sont enregistrées durant la période allant du mois de Mars jusqu'au mois d'Août, avec un maximum de 4.4 m.s^{-1} durant le mois de Mai.

Les vents Est et Nord-Est prédominent, puis avec un degré moindre ceux de direction Ouest et Sud-ouest (sirocco) caractérisés par une température élevée. Généralement, c'est au printemps que les vents sont les plus forts

(période de pollinisation des palmiers), ils sont chargés de sables éoliens donnant au ciel une teinte jaune et peuvent durer jusqu'à trois jours consécutifs avec une vitesse allant de 30 à 40 Km / h.

Tableau.2.9- Répartition moyenne mensuelle de la vitesse du vent à Oued Souf

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	An
Vitesse moy (m/s)	3,1	2,4	2,4	2,3	2,4	2,9	3,6	4,3	4,4	4,3	3,7	3,1	3,2

2.2.8. L'insolation

À cause de la faible nébulosité, la quantité de lumière solaire est relativement forte, ce qui est en effet desséchant en augmentant la température. En effet, La durée d'insolation est très importante au Sahara et varie avec d'une manière très importante d'une année à l'autre et même au cours de la même année.

La répartition des moyennes mensuelles d'insolation nous permet de constater que la brillance du soleil est maximale au cours du mois de juillet avec une moyenne de 352.9 heures, le minimum est enregistré pendant le mois de décembre avec une moyenne de 218.9 heures, *Tableau 2.10*.

Dans la région d'étude, le rayonnement solaire est excessif durant l'année avec une moyenne de 3295.3 h ce qui se traduit par un pouvoir évaporant élevé.

Tableau.2.10- Répartition moyenne mensuelle de l'insolation à Oued Souf

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	An
INSO moy (heures)	271,3	253,3	229,9	218,9	232,7	235,3	265,3	279,0	301,6	324,4	352,9	330,8	3295,3

2.2.9. L'évaporation

En zone aride, l'évaporation et la transpiration sont les mécanismes majeurs de perte en eau. Le tableau 2.11 et la figure 2.8 récapitulent les répartitions de l'évaporation dans la station sur une période de (22 ans).

Tableau .2.11- Répartitions de l'évaporation (1985-2007) à Oued Souf

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	An
Eva (mm)	198	148	99	73	76	101	148	196	248	276	309	274	2146

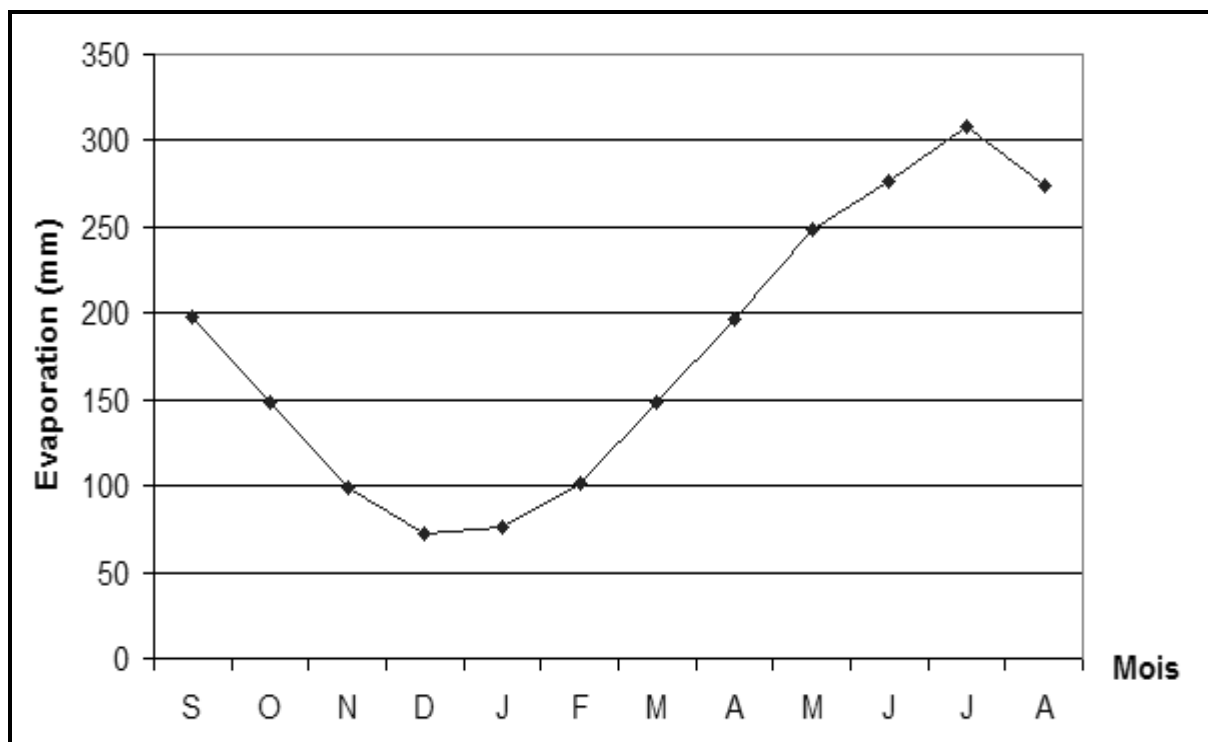


Fig.2.8- Répartitions de l'évaporation à Oued Souf

Le minimum est enregistré aux mois de décembre et janvier alors que le maximum est enregistré au mois de juillet.

2.3 CALCUL DES PARAMETRES DU BILAN HYDROLOGIQUE

2.3.1. Évapotranspiration

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

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

Nombreuses formules ont été établies pour calculer l'ETP à partir de quatre éléments climatiques fondamentaux: température, humidité relative, insolation et vitesse du vent. Pour notre cas on utilise les formules de Penman et Thornthwaite. Les données climatiques utilisées sont celles de la station de Guemar sur une période de 22 ans (1985-2007).

2.3.1.1 L'évapotranspiration potentielle (ETP)

a. Formule de PENMAN :

La formule qui permet d'estimer l'ETP mensuelle est la suivante

$$ETP = \left[\frac{Iga}{59} (1 - a) \left(0.18 + 0.62 \frac{h}{H} \right) - \frac{\sigma}{59} T^4 (0.56 - 0.08 \sqrt{e}) \left(0.10 + 0.90 \frac{h}{H} \right) \right] \frac{\frac{\Delta}{\gamma}}{1 + \frac{\Delta}{\gamma}} + \frac{0.26}{1 + \frac{\Delta}{\gamma}} (E - e) (1 + 0.54 u)$$

L'application de cette formule à la station de Guemar a permis d'obtenir les résultats qui ont été consignés dans le tableau 2.12 et reportée dans la figure (2.9).

Avec :

ETP : Evapotranspiration potentielle mensuelle (mm).

Iga: La radiation maximale théorique donnée par des tableaux exprimée en $\text{cal/cm}^2/\text{jour}$ ne dépendant que de la latitude du lieu.

H : Durée maximale possible d'insolation du jour (heures).

h: Durée réelle d'insolation (heures).

Hr: Humidité relative (%)

V: Vitesse moyenne du vent (m/s).

t : Température moyenne mensuelle ($^{\circ}\text{C}$).

T : Température moyenne mensuelle ($^{\circ}\text{K}$).

e : Tension moyenne de la vapeur d'eau dans l'air (millibars).

E : Tension maximale de la vapeur d'eau dans l'air (millibars).

Δ : Pente de la courbe de tension de vapeur saturante pour la température de l'air.

Tableau .2.12- Calcul de l'ETP selon la formule de Penman à Oued Souf

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	An
ETP (mm)	172	113	61	36	42	73	126	179	230	263	273	240	1808

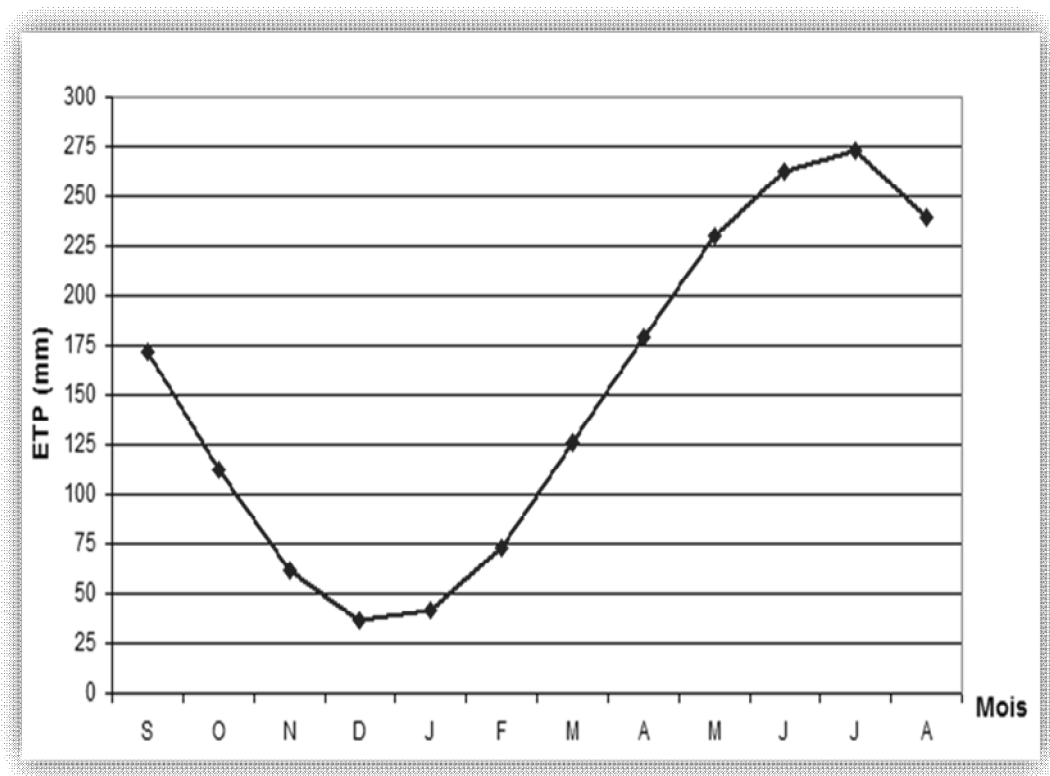


Fig.2.9- Evolution de l'ETP (mm) de Penman à la station de Guemar

b. Formule de THORNTHWAITE :

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

L'application de cette formule à la station de Guemar a permis d'obtenir les résultats qui ont été consignés dans le tableau (2.13) et reportée dans la figure (2.10).

Avec :

ETP : évapotranspiration potentielle (mm)

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

I : indice thermique annuel

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

Calcul de l'indice thermique mensuel i : $i = \left[\frac{T}{5} \right]^{1.514}$ D'où $I = \sum i$

K : coefficient d'ajustement mensuel

Tableau .2.13- Résultats de l'ETP issus de la formule de Thornthwaite à Oued Souf

Paramètre Mois	T (°C)	i	K	ETP (mm)
Septembre	28.72	14.10	1.03	134
Octobre	23.62	10.49	0.98	79
Novembre	16.81	6.27	0.89	31
Décembre	11.93	3.73	0.88	13
Janvier	11.30	3.44	0.9	12
Février	13.46	4.48	0.87	18
Mars	17.32	6.56	1.03	39
Avril	21.43	9.05	1.08	68
Mai	26.21	12.29	1.18	123
Juin	31.13	15.94	1.18	187
Juillet	33.77	18.03	1.2	232
Août	33.91	18.14	1.14	223
Total	269.6	122.52	-	1159

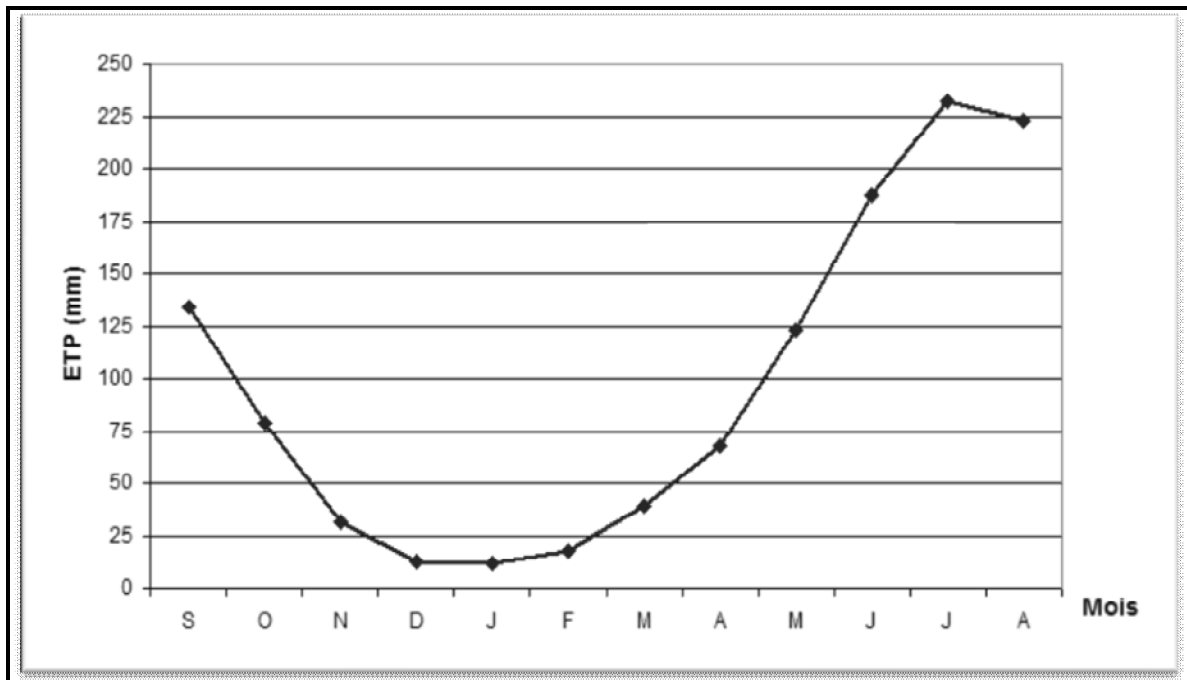


Fig.2.10- Évolution de l'ETP (mm) de Thornthwaite à la station de Guemar

2.3.1.2 L'évapotranspiration réelle (ETR)

a. Formule de L. TURC annuelle:

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

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

Avec :

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

P : précipitation moyenne annuelle en (mm).

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

$L = 0.05T^3 + 25T + 300$ d'où T est la température moyenne annuelle en °C.

L'application de cette formule a permis d'obtenir les résultats qui ont été reportés dans le tableau 2.14.

Tableau .2.14- Application numérique de la formule de TURC à Guemar

Station \ Paramètres	P (mm)	T (°C)	L	ETR (mm/an)
Guemar	74	22.47	1429.01	78

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

b. Méthode de THORNTHWAITE:

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

Les résultats des calculs sont résumés dans le tableau 2.15.

Le bilan hydrique établi par la méthode de Thornthwaite a montré que l'ETP atteint le maximum au mois de juillet (232 mm) et son minimum au mois de janvier (12 mm).

La constitution de la RFU ne s'effectue qu'au mois de janvier avec une valeur de 4 mm et le reste de l'année est épuisée.

Le bilan hydrologique pour une période de 22 ans (1985-2007) de la région de Oued Souf est déficitaire (DA= 1085 mm) et donc avec un excédent nul.

On remarque que le bilan établi à l'échelle mensuelle ne fait pas sortir un excédent. Par contre, on peut remarquer un relèvement du niveau piézométrique après une averse suite à une infiltration des pluies efficaces. L'établissement du bilan hydrologique à l'échelle mensuelle n'est pas alors adapté à notre région, considérée comme hyper-aride. Donc, seul un bilan hydrologique à l'échelle journalière permettrait de faire sortir un excédent et donc une infiltration efficace. La non disponibilité de ce type des données ne permet plus de faire ce genre de traitement.

Tableau .2.15- Bilan hydrique de la station de Guemar d'après THORNTWAITE

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Total
T (°C)	28.72	23.62	16.81	11.93	11.30	13.46	17.32	21.43	26.21	31.13	33.77	33.91	
I	14.104	10.49	6.27	3.73	3.44	4.48	6.56	9.05	12.29	15.94	18.03	18.14	
K	1.03	0.98	0.89	0.88	0.9	0.87	1.03	1.08	1.18	1.18	1.2	1.14	-
ETP (mm)	134	79	31	13	12	18	39	68	123	187	232	223	1159
P (mm)	7	7	9	8	16	3	7	7	6	2	0	2	74
P-ETP	-127	-72	-22	-5	4	-15	-32	-61	-117	-185	-232	-221	
RFU (mm)	00	00	00	00	4	00	00	00	00	00	00	00	
ETR (mm)	7	7	9	8	12	7	7	7	6	2	0	2	74
DA (mm)	127	72	22	5	00	11	32	61	117	185	232	221	1085
EX (mm)	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00

2.3.2 Ruissellement

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

2.5. CONCLUSION

Le climat de la ville de Oued-Souf est connu par son aridité marquée notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations d'une part, et par les amplitudes thermiques et les températures trop élevées d'autre part. Cette aridité n'est pas seulement due à la rareté de la pluie, mais aussi à la forte évaporation qui constitue l'un des facteurs climatiques majeurs actuels qui règnent dans la région.

La synthèse des données climatiques nous permet de dire que la région est caractérisée par un climat hyper-aride, caractérisé par une irrégularité pluviométrique annuelle et interannuelle. Ce climat est caractérisé par l'existence de deux périodes différentes :

L'une sèche et chaude, qui s'étale de mars à novembre et l'autre humide et froide pendant le reste de l'année.

Le mois le plus humide est décembre, il est caractérisé par une forte humidité (environ 68%) et d'un faible rayonnement solaire (environ 218.9 heures). Le mois le plus sec est juillet, il est caractérisé par une faible humidité (32 % environ). La brillance du soleil est très élevée avec 352,9 heures, ce qui traduit un pouvoir évaporant excessif.

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

- Le bilan est déficitaire ; l'excédent est nul et la RFU est épuisée durant toute l'année malgré qu'elle ne représente que 4 mm pendant le mois de janvier.

- La précipitation moyenne annuelle est de l'ordre de 74 mm qui est complètement reprise par l'évapotranspiration.

Chapitre 3

Hydrogéologie

3.1. INTRODUCTION

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

3.2. CADRE HYDROGEOLOGIQUE GENERAL

La nappe phréatique du Souf, contenue dans le réservoir sableux superficiel Quaternaire, représente la principale ressource hydrique pour l'irrigation des palmeraies. Elle est exploitée par des puits traditionnels au nombre de 10 000 puits selon l'enquête effectuée en 1993 par l'A.N.R.H, de Ouargla.

Dans le Sahara Septentrional, les nappes aquifères les plus sollicitées sont la nappe du Continental Intercalaire (C.I) et celle de Complexe Terminale (C.T).

3.2.1. La Nappe phréatique

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

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

Les études passées montrent d'une manière générale, comme d'ailleurs dans tout le Bas-Sahara que le sens de l'écoulement des eaux de la nappe libre suit celui de la nappe du Complexe Terminal, c'est-à-dire du Sud vers le Nord (Fig.3.1).

L'aquifère quaternaire du Souf présente une épaisseur moyenne de 40 m. Son substratum est structuré en de nombreuses dépressions, dômes et sillons. Il affleure au Nord-ouest de la région de Foulia et se situe à moins de 10 m de profondeur à l'extrémité Nord-est de la région d'étude. Cette nappe a engendré un problème néfaste pour l'environnement dans certaines zones de la vallée. La nappe monte dans les zones de recharge, sous les agglomérations et baisse dans les zones irriguées à partir de la nappe phréatique.

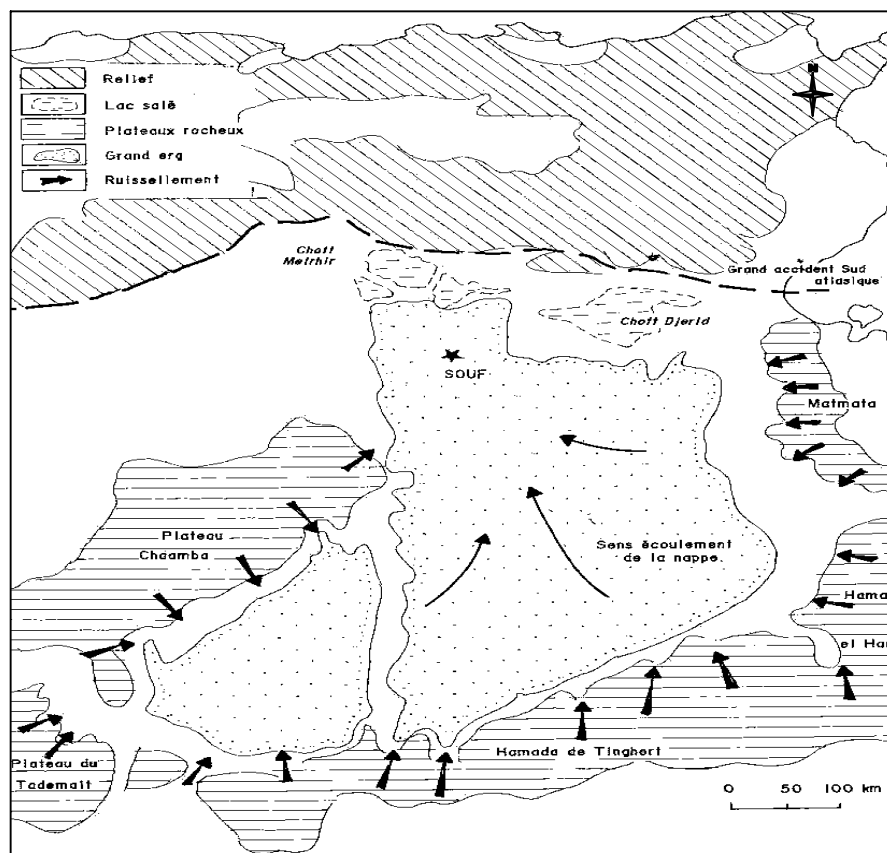


Fig. 3.1- Zone d'alimentation de la nappe phréatique et le sens d'écoulement de la nappe (Cote Marc, 2006)

3.2.2. Complexe Terminal

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

C'est avec le projet ERESS que l'on verra apparaître la notion du «*Complexe Terminal*», appellation publiée pour la première fois par BEL et Cuhe (1969) : ce terme de « *nappe du Complexe Terminal* » qui groupe sous une même dénomination plusieurs aquifères situés dans des formations géologiques différentes, a été retenu car ces nappes font bien partie d'un même ensemble hydraulique. Les intercommunications entre Sénonien, Eocène et Miopliocène sont évidentes sur l'ensemble du Bassin, à l'exception de la région des Chotts où l'Eocène moyen et supérieur imperméable vient s'intercaler. La nappe turonienne est plus individualisée par suite de la couverture imperméable du Sénonien lagunaire. Cependant, ces niveaux concordent avec ceux du Sénonien ou du Miopliocène sur la bordure du bassin.

Les terrains constitutifs du Complexe Terminal s'étendent sur une superficie de 350 000 km² d'environ (Fig.3.2) en Algérie et en Tunisie couvrant ainsi essentiellement la majeure partie du bassin oriental et l'ensemble du Sahara septentrional, depuis la Saoura à l'Ouest jusqu'au Graben de Hun (et même jusqu'au Golfe de Syrte) à l'Est, depuis l'accident Sud-Atlantique au Nord jusqu'au flanc Nord des plateaux de Tademaït et du Tinhert en Algérie, de Gargaf (Nord du Fezzan) en Libye. Son extension longitudinale est donc au moins égale à celle du Continental Intercalaire (1600 km), tandis que sa hauteur dans le sens Nord-Sud est plus réduite (600 km) (BRL-BNEDER, 1992).

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

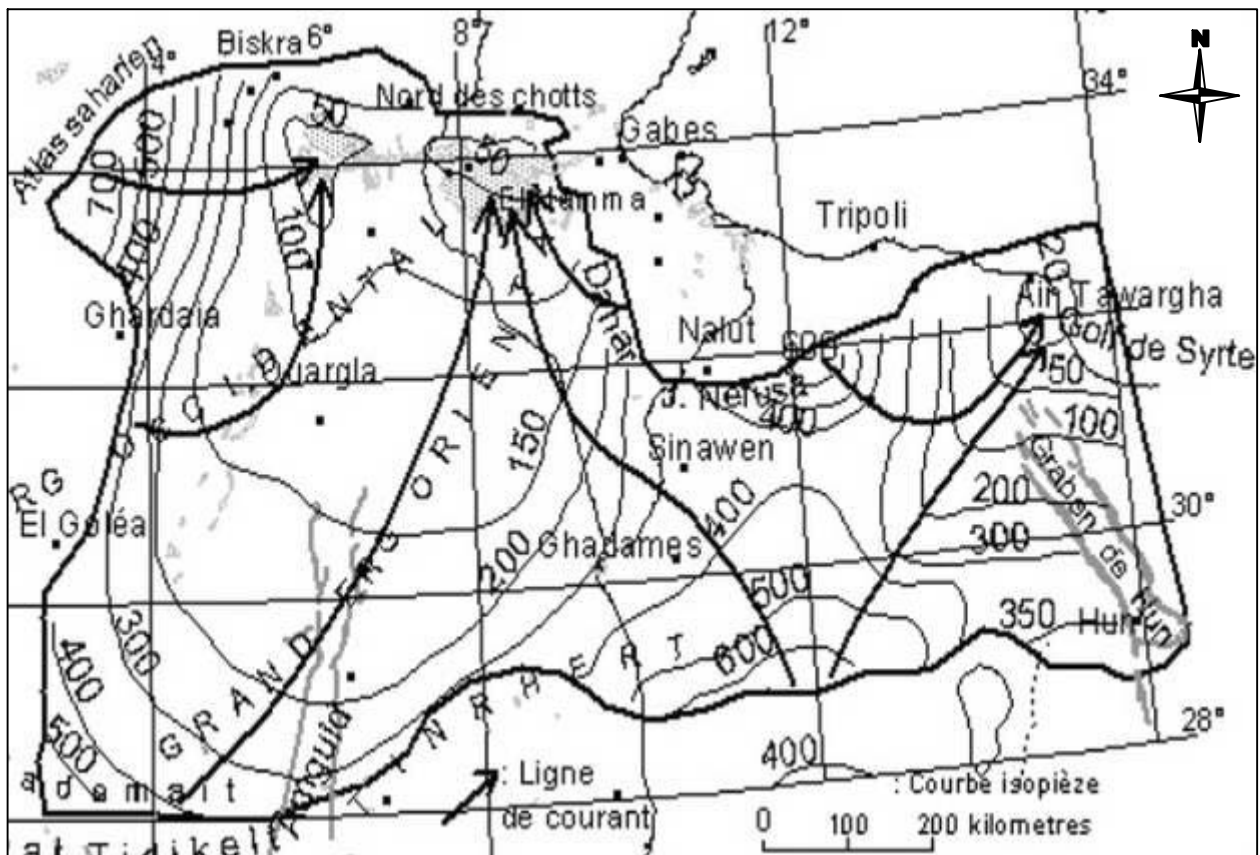


Fig. 3.2- Limites de l'aquifère du Complexe terminale avec les niveaux piézométrique et les sens d'écoulement (Baba SY et al., 2006)

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

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

Les zones d'exutoire sont principalement centrées sur les Chotts Algéro-Tunisiens et sur le Golfe de Syrte, où les nappes sont artésiennes sous couverture semi-perméable peu épaisse (Fig.3.4). Les sources constituent également un autre exutoire. La plupart d'entre elles ont aujourd'hui disparu à cause de la baisse du niveau des nappes, et les seules qui subsistent, se localisent dans les chotts.

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

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

Les formations du Complexe Terminal sont très hétérogènes. Elles englobent les assises perméables du Sénonien calcaire et du Mio-Pliocène. En effet, il est possible d'y distinguer trois corps aquifères principaux, séparés localement par des horizons semi-perméables ou imperméables. Ces trois corps sont représentés par les calcaires et les dolomies du Sénonien et de l'Eocène inférieur, par les sables, les grès et les graviers du Pontien, et par les sables du Mio-Pliocène.

La profondeur du Complexe Terminal est comprise entre 100 et 600 mètres et sa puissance moyenne est de l'ordre de 300 m. Elle est exploitée par 102 forages dans la région de Oued Souf d'après l'inventaire et l'enquête sur les débits extrait dans la Wilaya d'El Oued (B.G 2002).

3.2.3. Nappe du Continental Intercalaire

On appelle du " Continental Intercalaire " englobe au sens large l'ensemble des dépôts sédimentaires d'un long épisode continental intercalé entre les deux cycles marins du Paléozoïque et du Crétacé supérieur. A cette définition stratigraphique, qui présente l'inconvénient d'englober des épisodes lagunaires, voire franchement marins, nous préférons emprunter la définition hydrogéologique plus classique d'un continental intercalaire au sens strict réduit aux seuls dépôts clastiques (argilo-gréseux) véritablement continentaux constituant un réservoir plus ou moins homogène rempli d'eau douce. Ces dépôts, d'âge Crétacé inférieur, recouvrent en discordance des terrains d'âges variés allant du toit du Primaire à l'Ouest (le mur du Continental Intercalaire correspondant ici avec la discordance hercynienne) au toit du Néoconien à l'Est. Le toit du réservoir correspond à la base du Cénomaniens argileux à l'Ouest, de l'Albien argileux à l'Est.

Le Continental Intercalaire constitue le réservoir profond du Sahara septentrional. Il s'étend sur plus de 600 000 km² sur les seuls territoires algériens et tunisiens, depuis l'accident Sud-atlasique au Nord jusqu'aux affleurements du Tidikelt et du rebord méridional du Tihert au Sud. Limité à l'Ouest selon un axe Béchar - Reggane, sa prolongation vers l'Est en Libye sous la Hamada al Hamra jusqu'au Graben de Hon couvre encore quelques 250 000 km² supplémentaires (BRL-BNEDER, 1992).

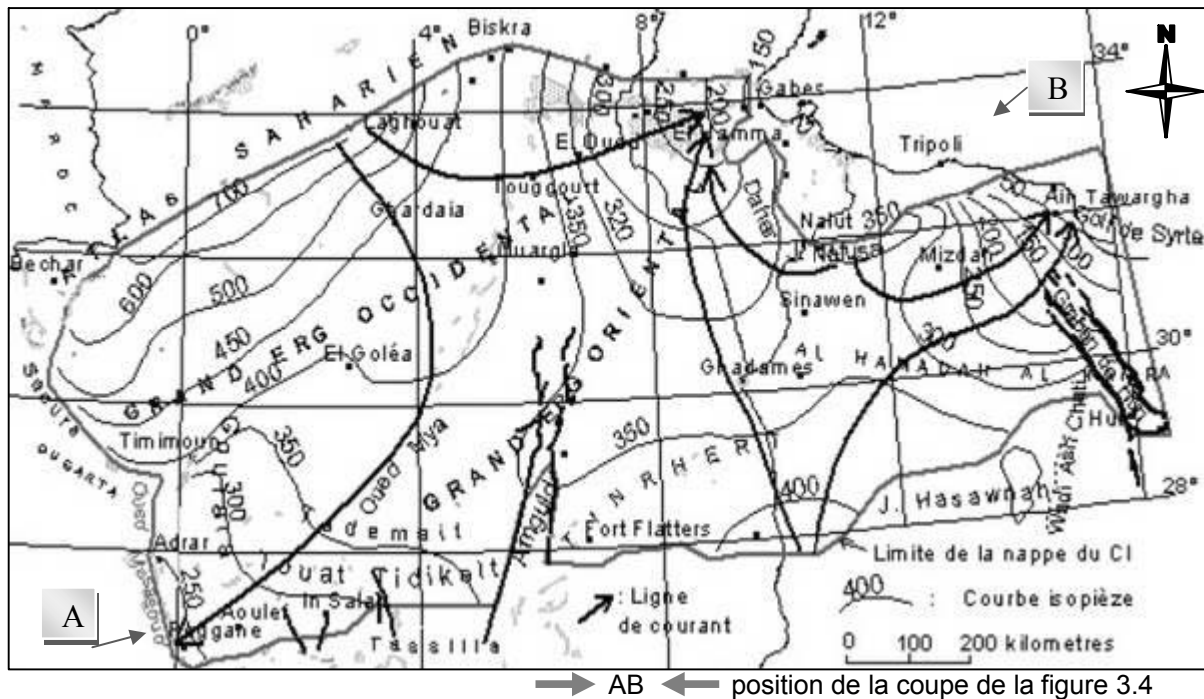


Fig. 3.3- Limite de l'aquifère du Continental Intercalaire avec les niveaux piézométrique et le sens d'écoulement (Baba SY et al., 2006)

Baba SY et al., (2006) met en évidence les zones d'alimentation qui sont:

- piémont sud atlasique au Nord-Ouest,
- Tinrhert au Sud,
- Dahar à l'Est,
- Jebel Nafusa au Nord-est,
- Jebel Hassawna au Sud,

où la nappe du Cambro-Ordovicien est drainée vers le Nord par la nappe du Continental Intercalaire (Fig. 3.3).

L'exutoire naturel principal de l'aquifère est situé en Tunisie. Il consiste en des remontées verticales par failles dans la zone du Chott Fedjaj et grâce à un écoulement vers la nappe de la Geffara tunisienne par l'intermédiaire des failles d'El Hamma et de Medenine. Les bordures occidentales et méridionales du Tademaït constituent également une zone d'exutoire naturelle importante, probablement jalonnée anciennement par des sources, dont les foggaras ont pris la relève. L'eau non captée s'évapore dans un chapelet de sebkhas qui occupent le fond des dépressions du Gourara, du Touat et du Tidikelt. Par ailleurs, des transferts verticaux à partir du Continental Intercalaire vers le Complexe Terminal existent peut-être à la faveur des fractures qui jalonnent la dorsale

d'Amguid-El Biod. Sur le reste du domaine, mis à part la zone de communication possible avec le Complexe Terminal sur le Grand Erg Occidental (*Fig.3.4*), le toit de la formation, constitué d'une épaisse couche d'argile et d'anhydrite, est parfaitement imperméable et isole complètement les deux réservoirs. L'exploitation du Continental Intercalaire s'est d'abord effectuée, depuis de longs siècles des exutoires artificiels, par le système traditionnel des foggaras, introduit sur la bordure du plateau du Tademaït dès le X^e siècle (UNESCO, 1972a ; BRL-BNEDER, 1992).

La formation du Continental Intercalaire est représentée par des dépôts continentaux sablo-gréseux et sablo-argileux du Crétacé Inférieur. C'est un système aquifère multicouches dont la profondeur atteint localement 2000 mètres et dont la puissance varie entre 200 et 400 m. Elle est exploitée par trois forages artésiens. La commune d'El-Oued exploite cet aquifère par deux forages artésiens pour l'AEP d'un débit cumulé de 340 l/s et une température avoisinant les 70 °C.

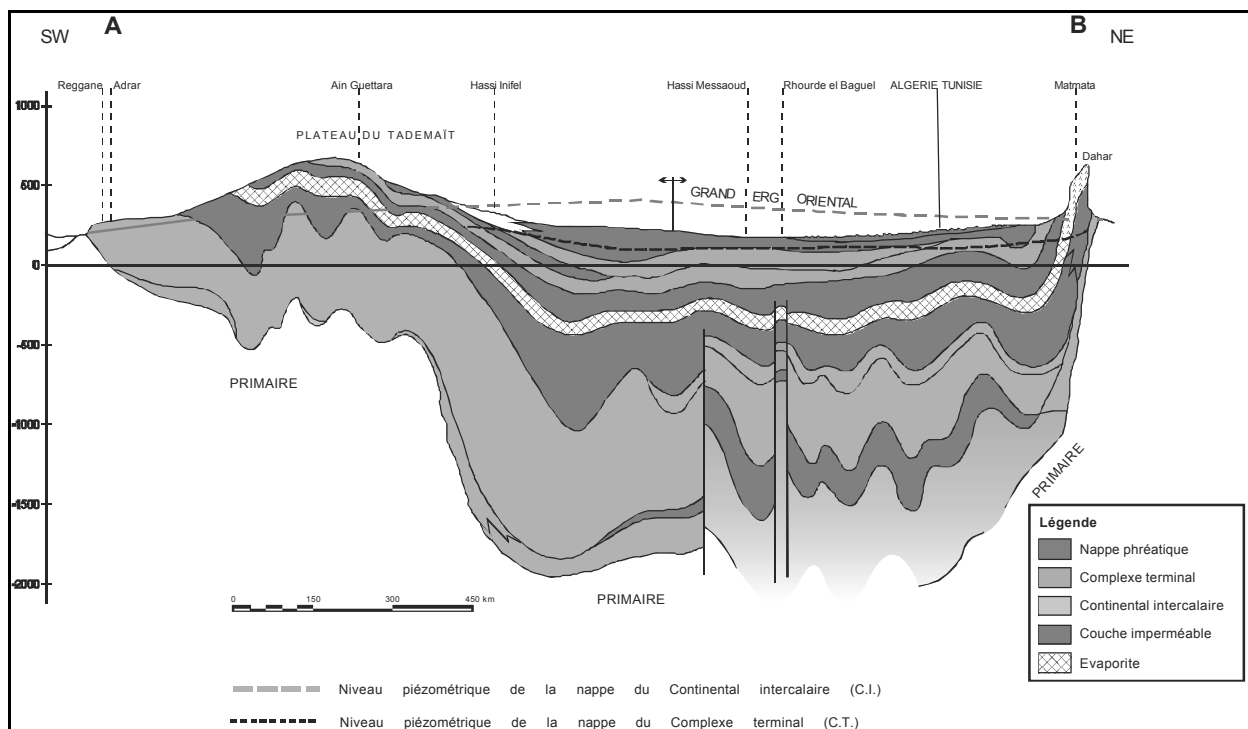


Fig. 3.4- Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara Septentrionale (UNESCO, 1972a)

3.3. HISTORIQUE ET MECANISME DE LA REMONTEE DE LA NAPPE

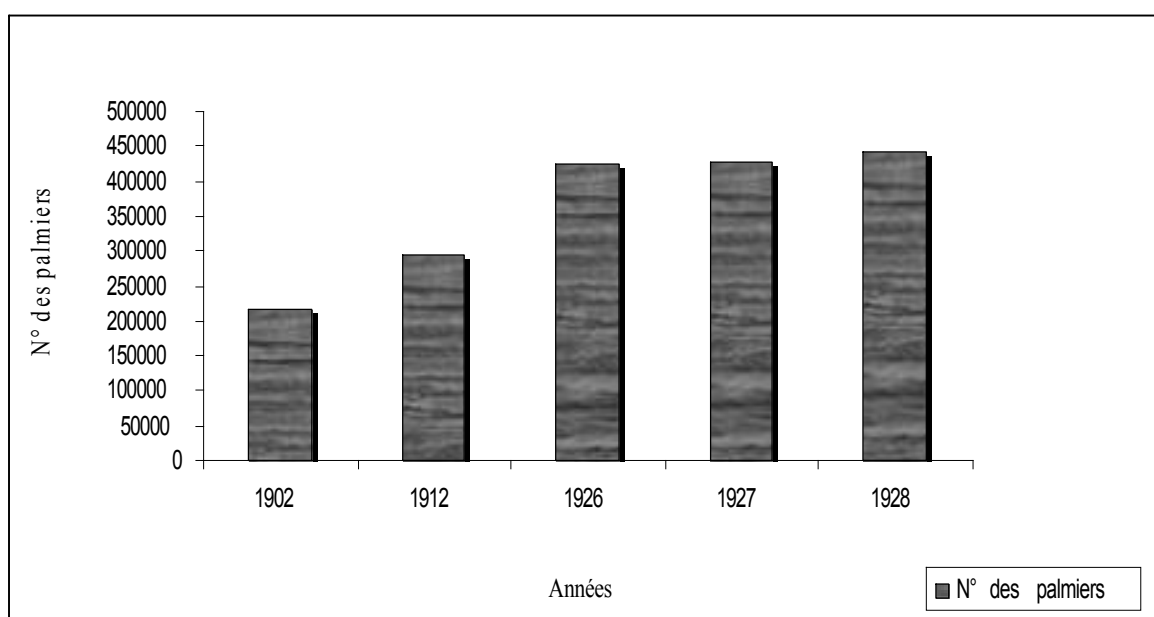
L'Oasis saharienne classique fonctionne comme un agro-système, reposant sur la trilogie eau/habitat/palmeraie. Pour la région du Souf, les Soufis ne se sont pas implantés n'importe où dans le Grand Erg. Ils ont choisi le centre nord de ce vaste ensemble, c'est-à-dire le secteur qui combine un couvert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

3.3.1 Avant 1956

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

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

La société Soufie le sait bien, qui au cours des derniers siècles a eu à faire face à un lent rabattement de cette nappe, et a dû mettre au point les techniques d'approfondissement des ghouts et de "descente" du palmier (réaliser en creusant sous le palmier, et en descendant progressivement celui-ci avec des cordes, jusqu'à ce que ses racines atteignent à nouveau la nappe). A l'aide de cette technique, le Soufi a réussi à augmenter le nombre de palmiers (*Fig.3.5*), mais toujours il y a eu une réaction de la nature par le rabattement de la nappe phréatique à cause du débit extrait.



*Fig.3.5- Les nombres des palmiers du Souf au début de XXe siècle
(Najah A., 1970)*

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. Elle devient de plus en plus catastrophique dans certaines rues de palmeraies, ce qui conduit à l'affaiblissement, sinon à l'assèchement total, des palmiers souffrant de la soif. Les roches souterraines du Souf sont encore en voie de croissance caractéristique qu'on reconnaît unanimement au développement de la rose de sable restant sous terre. C'est que dans la plupart des endroits où la voûte de la nappe phréatique – la seule

touchée – a considérablement baissé, il constaté la présence soit de forte formation de Lous, comme à Hassi Khalifa-Ghamra- Djedaida- soit l'apparition d'épaisses couches de Tafza jusque-là insoupçonnées (Najah A, 1970).

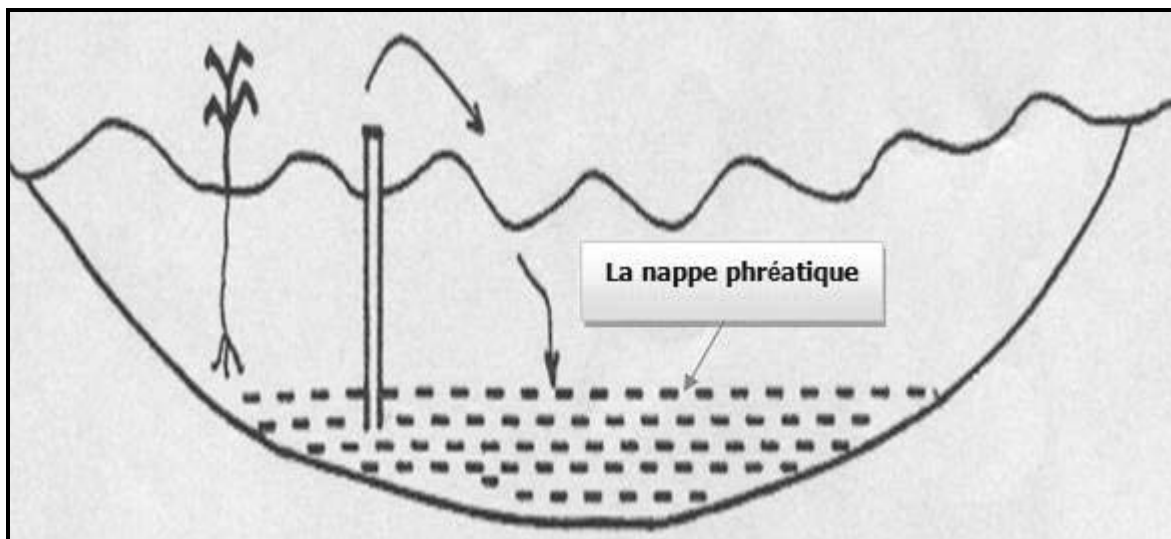


Fig.3.6- La nappe phréatique Avant 1956

3.3.2. De 1956 à 1986

Devant cette situation d'accroissement démographique à cette époque, et les besoins en eau de l'agriculture, on a observé une baisse générale de la nappe phréatique. Pour remédier à cette situation on a opté pour la réalisation des forages, où en 1957 il a été réalisé le premier forage dans le Complexe terminal. Un autre forage exécuté à Hobba (30 Km de Nord Ouest d'El Oued), il donne 158 litres par seconde sous une pression au sol de 22 m 50. La profondeur exploitée allant de 325 à 400 m. Un troisième forage, à Guemmar, donne 8,3 litres par seconde sous une pression au sol de 8 m ; la profondeur exploitée allant de 285 à 350 m.

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

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

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

En 1973, le premier rapport de la direction de l'hydraulique de la Wilaya d'El Oued, notait des traces d'humidité au sol dans le fond du ghout, dans le ghout Sardouke au Nord-est de la ville d'El Oued (Fig.3.7).

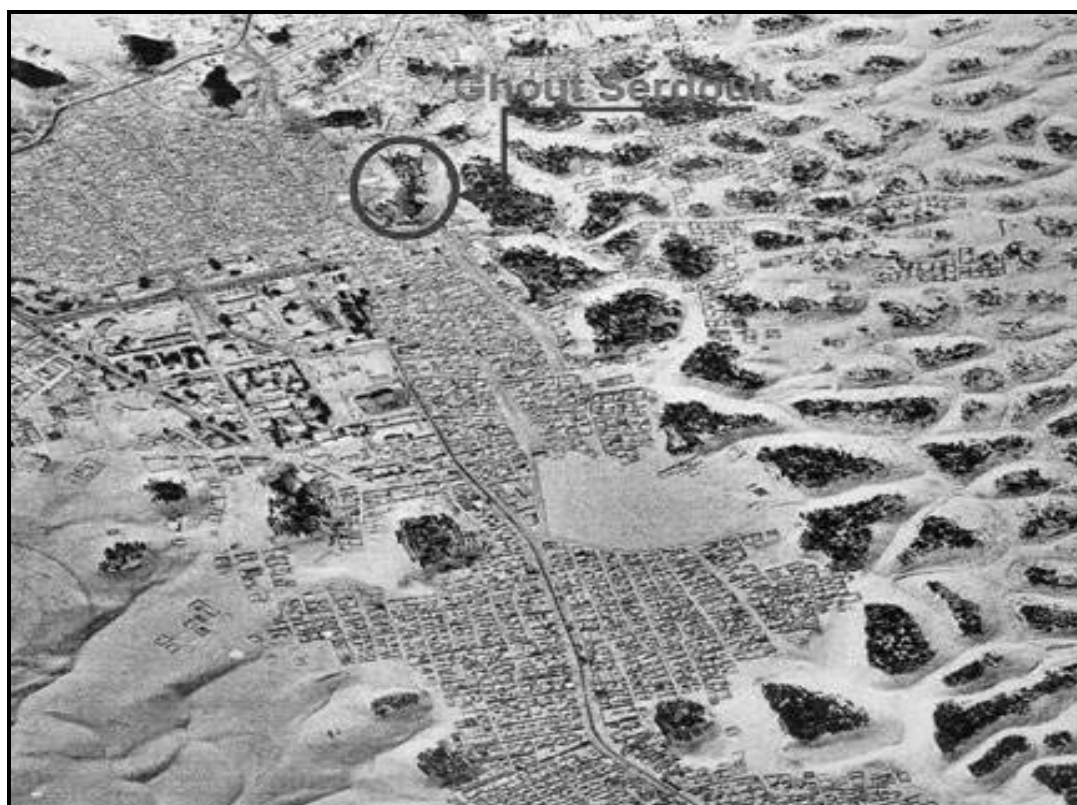


Fig.3.7- La ville d'El Oued, vue d'avion en 1980 (Cote Marc, 2006)

On peut ajouter à ces 3 périmètres publics le grand périmètre privé de Dahouia, crée et développé au cours des 40 dernières années par M^{er} Djilali Mahri. Au prix de très gros investissements, il a réalisé une mise en valeur spectaculaire de 568 ha, portant sur environ 15 000 palmiers et 12 000 oliviers,

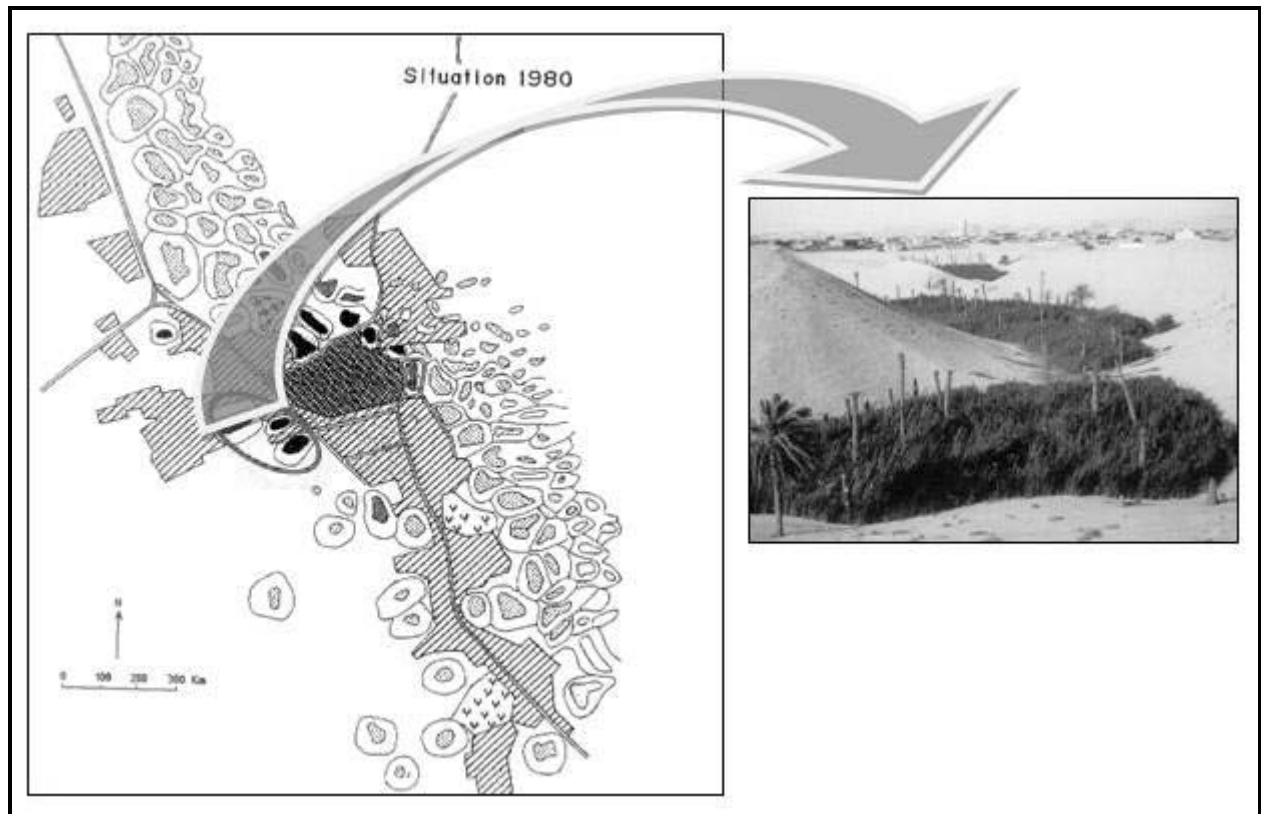
irrigués par deux forages d'une profondeur de 90 mètres chacun et 7 forages d'une profondeur de 280 mètres.

L'accroissement démographique de cette région a entraîné une forte demande en eau ce qui a nécessité la réalisation d'un grand nombre de forages pour l'alimentation en eau potable sur une période relativement courte. Depuis l'année 1970, le rythme de la réalisation des forages, s'est accéléré où chaque année on a vu la réalisation de 2 ou 3 forages. Pendant l'année 1977 seule, le nombre de forage réalisé est de douze (12) à l'échelle de la région du Souf, neuf (9) pour l'alimentation d'eau potable et trois (3) pour le besoin d'irrigation, de 30 litres par seconde en moyenne chacun.

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

Durant la décennie 1980, le Souf s'est senti basculer et entrainer la rupture d'un système fermé ou en d'autres termes, la mort du paysage agraire. Et ce basculement s'est présenté sous un visage inattendu, celui d'une crise hydraulique spectaculaire, par excès d'eau (*Fig.3.8*), comme il n'y en a eu nulle part ailleurs au Sahara.

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



*Fig.3.8- Évolution de la situation des ghouts autour d'El Oued en 1980
(Cote Marc, 1998)*

La répercussion sur les palmiers sont claires et directes : envahissement par les joncs et roseaux, arrêt de fructification des palmiers, puis dépérissement des arbres, et enfin morts des palmiers et abandon du ghout (*Fig.3.8*). On remarque qu'entre la saison 1980/81 et la saison 1982/83 il n'y a pas une diminution du nombre total des palmiers dans la région, mais il ya une diminution du rendement productif, qui passe de 74 % en 1980/81 à 32 % en 1982/83. (Travail effectué par la direction des services agricoles d'El Oued, 1984) (*Fig.3.9*).

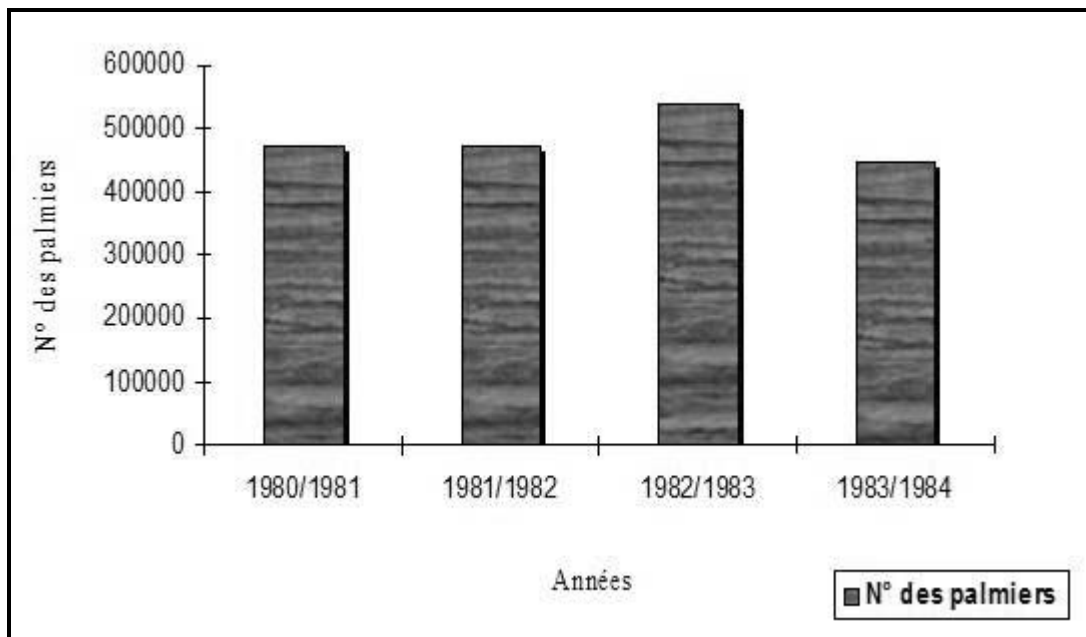


Fig.3.9- Évolution des nombres des palmiers au début des années 80

Année après année, la nature du Souf souffre en silence, et le charme de ce paysage commence à disparaître sous la source de notre vie. La situation devient plus complexe aux environs de la ville de Oued Souf, le phénomène s'est développé et a touché des autres cites (ghouts), Fig.3.10.

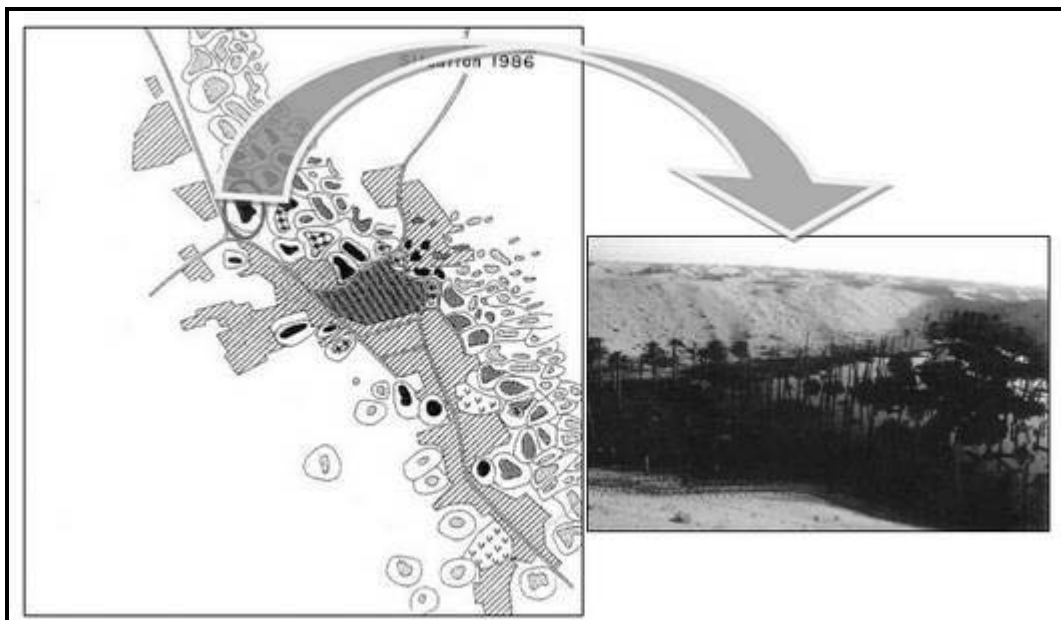


Fig.3.10- La situation des ghouts d'El Oued en 1986 (Cote, 1998)

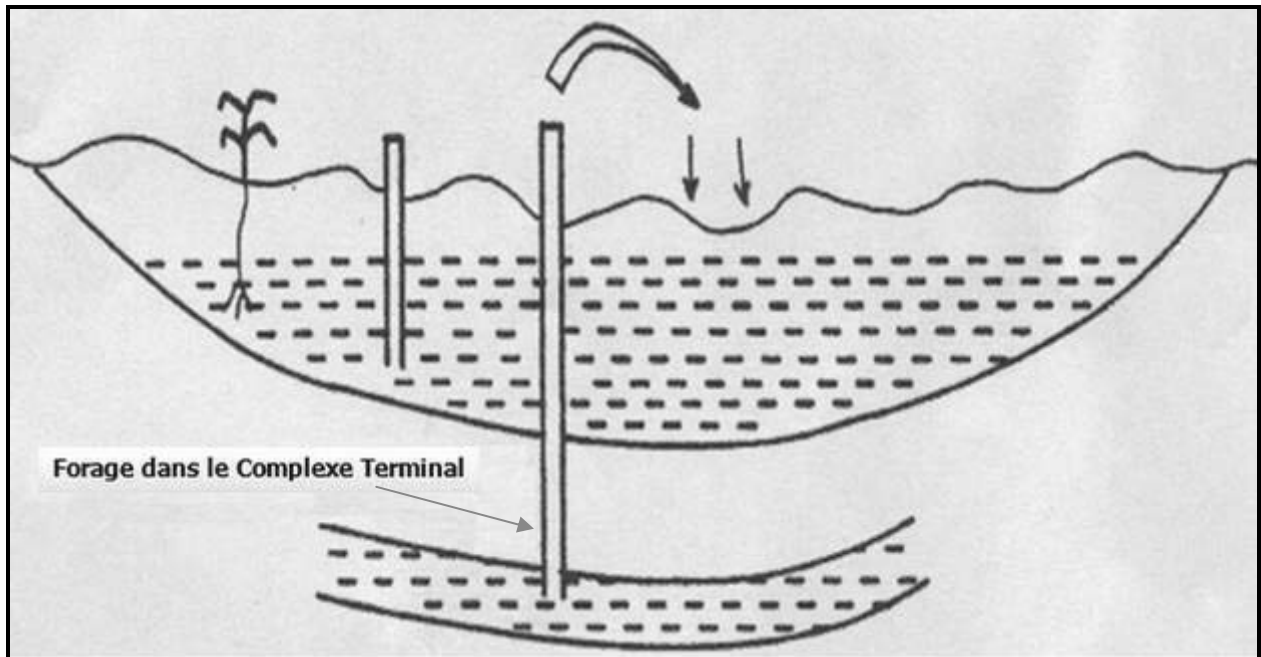


Fig.3.11- La nappe phréatique entre 1956 à 1986

3.3.3. Après 1986

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

Les forages profonds ont aggravé la crise et le système est toujours perturbé. Le prélèvement pour le besoin d'alimentation en eau potable à partir de la nappe du complexe terminale et celle du continental intercalaire a atteint les 3789 litres par seconde en 1993 (3109 l/s du CT et 680 l/s par le CI). Concernant l'irrigation, le débit prélevé dans la nappe phréatique est de 6123 litres par seconde (BRL-BNEDER, 1999). (Fig.3.12).

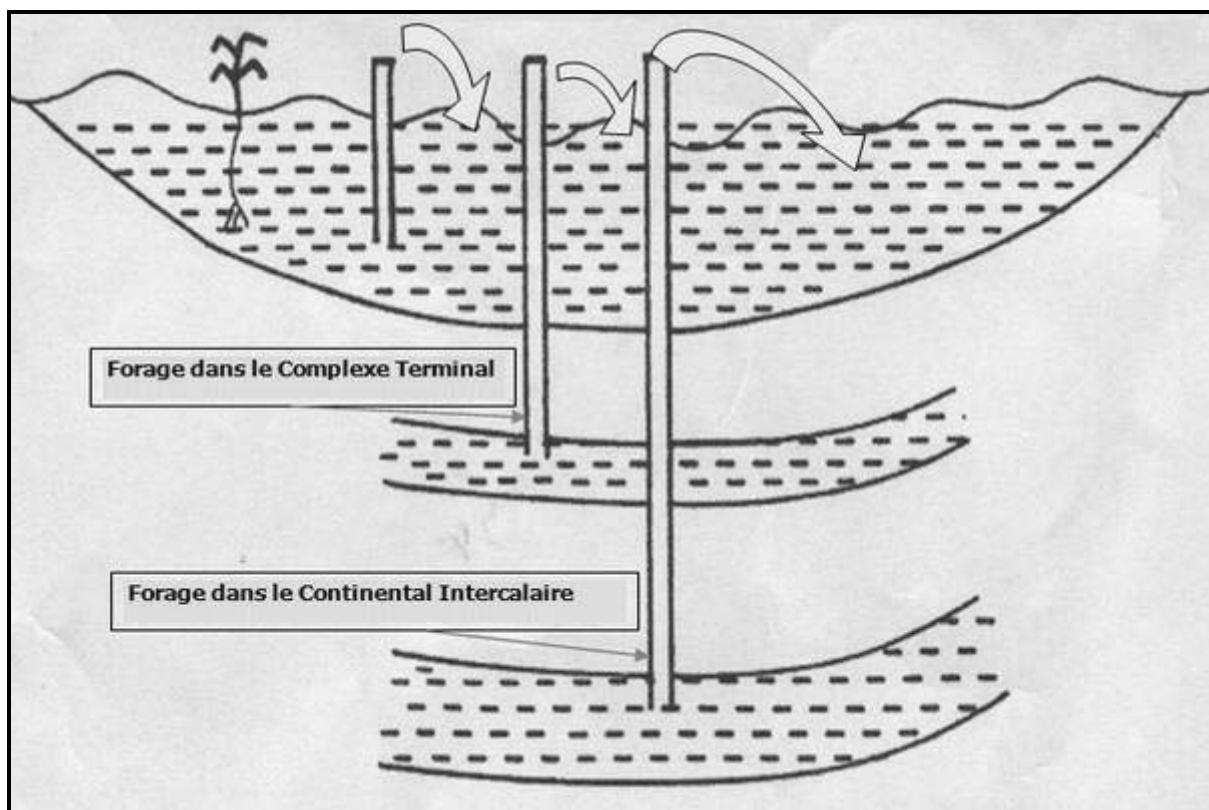


Fig.3.12- La nappe phréatique après 1986

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

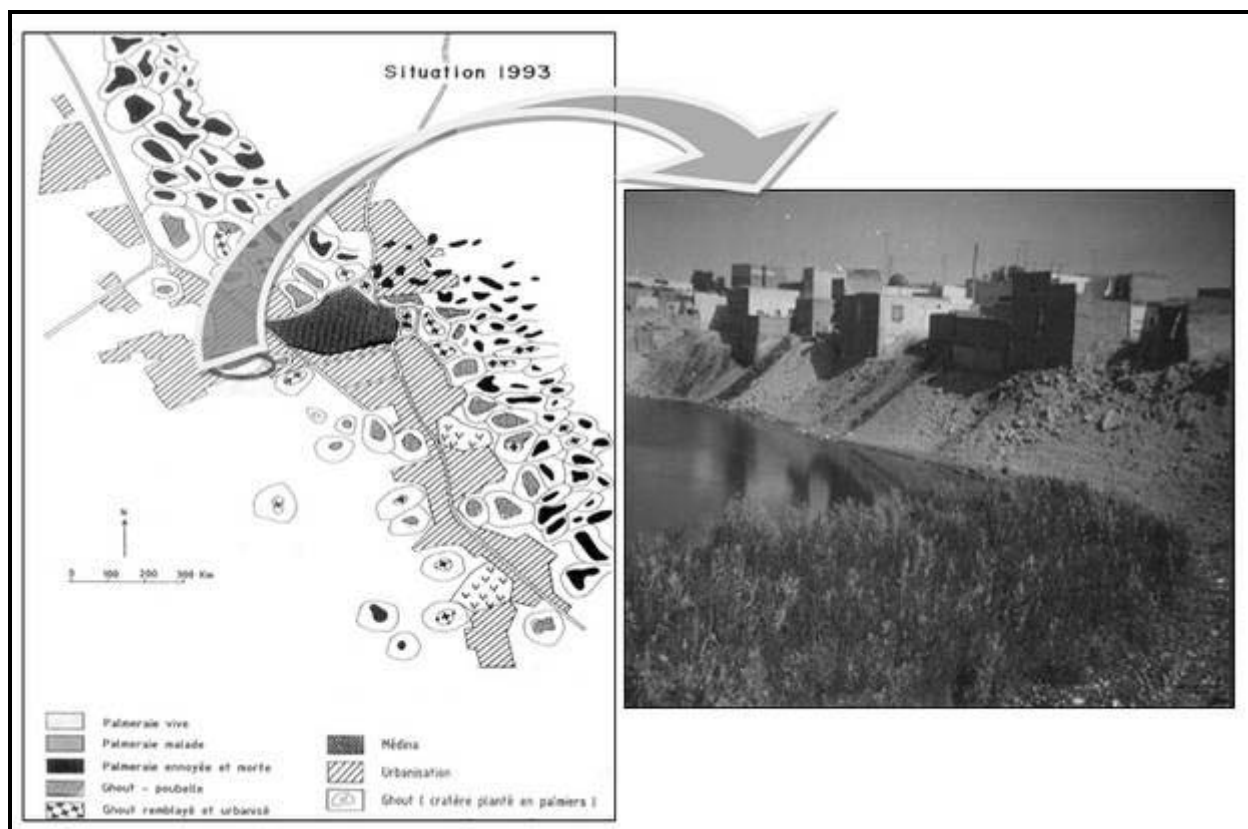


Fig.3.13- Situation d'un ghouts complètement noyé par les eaux polluées pendant l'année 90 (Cote, 2006)

En 1993, l'eau avait noyé la palmeraie sur 25 km dans le couloir Kouinine – Robbah (Fig.3.13). Un réseau de surveillance de la nappe phréatique est mis en place et une série de recommandations ont été émises. Les zones touchées par le phénomène de la remontée de la nappe phréatique sont au nombre de 6. La plus importante est centrée sur El Oued et s'étend d'El Oglia au Sud-Est à Guemar au Nord-Ouest. Les autres sont centrées sur Z'goum, Debila, Mihouensa, Reguiba et Hobba. Et entre 1993 et 2000, des mesures concrètes ont été prises telles que l'arrêt de fonçage des forages pour l'irrigation dans le CT et le CI qui ont été remplacés par des puits dans la nappe phréatique, la réduction des allocations d'AEP à la population, la mise en valeur de nouveaux périmètres agricoles. Ces mesures ont eu un impact positif avec ce qui a eu pour conséquence la stabilisation ou la baisse du niveau piézométrique dans certaines zones affectées alors que dans la ville de Oued Souf, la nappe

continue à monter de 40 à 60 cm par année comme dans les ghouts ennoyés où il se dégage une odeur nauséabonde (*Fig.3.13*).

Suite à cette remontée des eaux souterraines en surface, les habitations se sont endommagées, des fissures préjudiciables se sont apparues dans plusieurs maisons, notamment au niveau des quartiers de Sidi Mastour, Nezla et Choot. Plusieurs familles ont dû être transférées vers d'autres lieux par peur d'effondrement de leurs maisons.

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

Entre mars 1993 et avril 2002 et, une montée du niveau de la nappe phréatique a été constatée :

- aux plantations irriguées par des forages au CT de Foulia (avec 1.4 mètres) et du domaine Daouia où il a été enregistré une remontée de 3 mètres.
- près du rejet de la ville de Oued Souf avec 4.5 mètres au H090 à 1 km au nord-ouest.

Un rabattement dans la quasi-totalité du reste de la zone d'étude, avec 5.8 mètres au nord-est de Guemar, 2.1 mètres dans la région de Reguiba, 1.9 mètres dans la région de Hassi Khalifa, 1.7 mètres au sud de Nakhla et 1.7 mètres dans la région de Oued Turk.

En avril 2002, Le niveau piézométrique a été relevé sur les 177 puits, dont une centaine de nouveaux points situés dans la zone urbanisée.

La partie haute de la nappe, représentée en vert dans la *Figure 3.14*, est située au sud-ouest avec une cote de près de 90 m au piézomètre P039 implanté sur la route de Touggourt au Sud-ouest de Mihouensa. Une zone basse au Nord-ouest, représentée en bleu, avec une cote d'une trentaine de mètres au

puits H01 à Foulia et - 6 m au piézomètre P036 à la limite Nord-ouest, sur la route de Biskra.

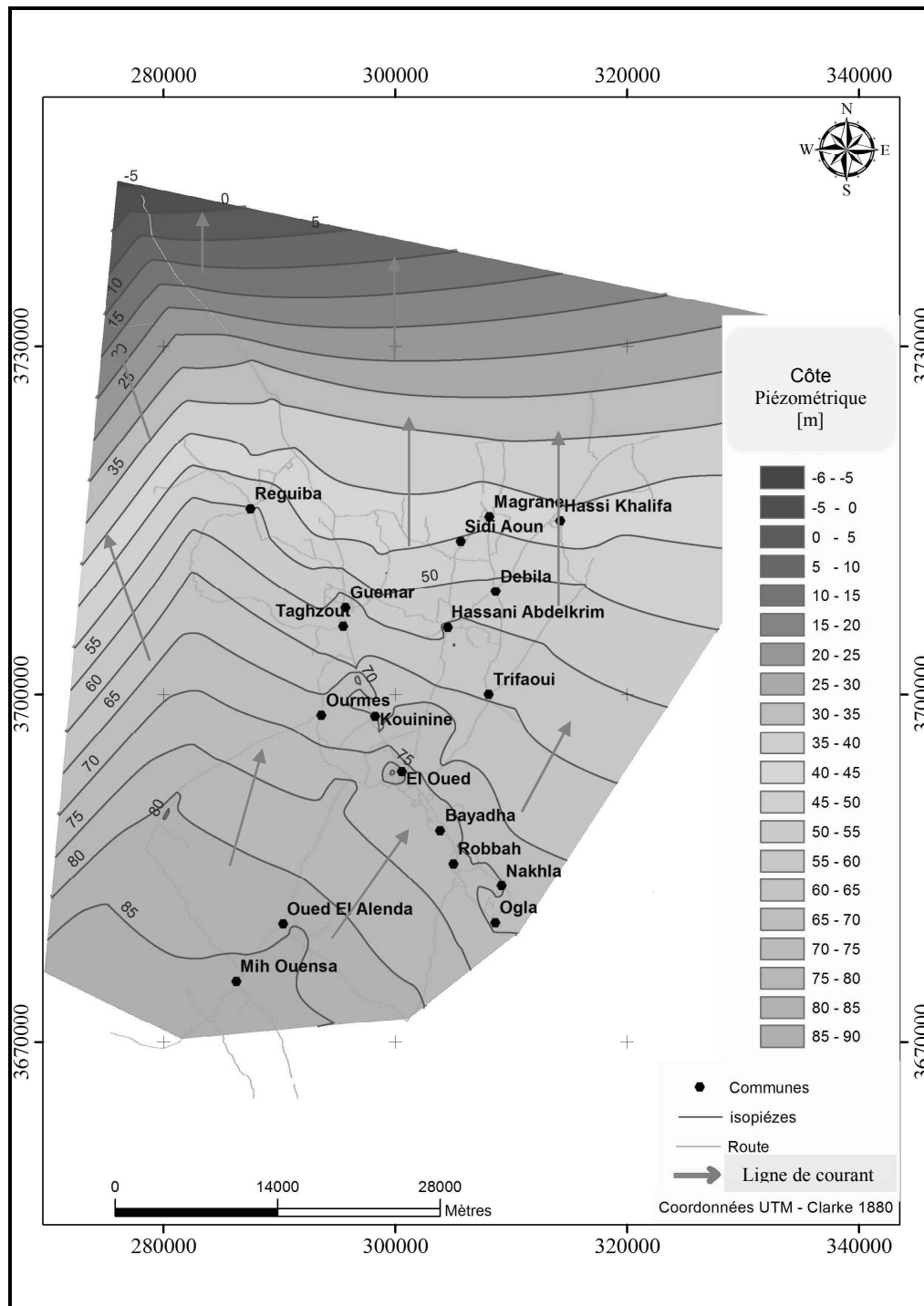


Fig.3.14- Carte piézométrique de la nappe phréatique de la vallée du Souf en avril 2002 (Bonnard & Gardel, 2002)

Ainsi qu'on peut facilement le constater, la surface piézométrique n'est pas régulière (Fig.3.15 et profils 1 à 5 ci-après – Fig.3.16 à Fig.3.20). Elle présente

des points hauts dans les zones d'alimentation représentées par les agglomérations et les plantations irriguées à partir des nappes profondes et des points bas dans les zones de prélèvement par évaporation des surfaces d'eau libre (Chott, ghouts inondés) et évapotranspiration de la végétation.

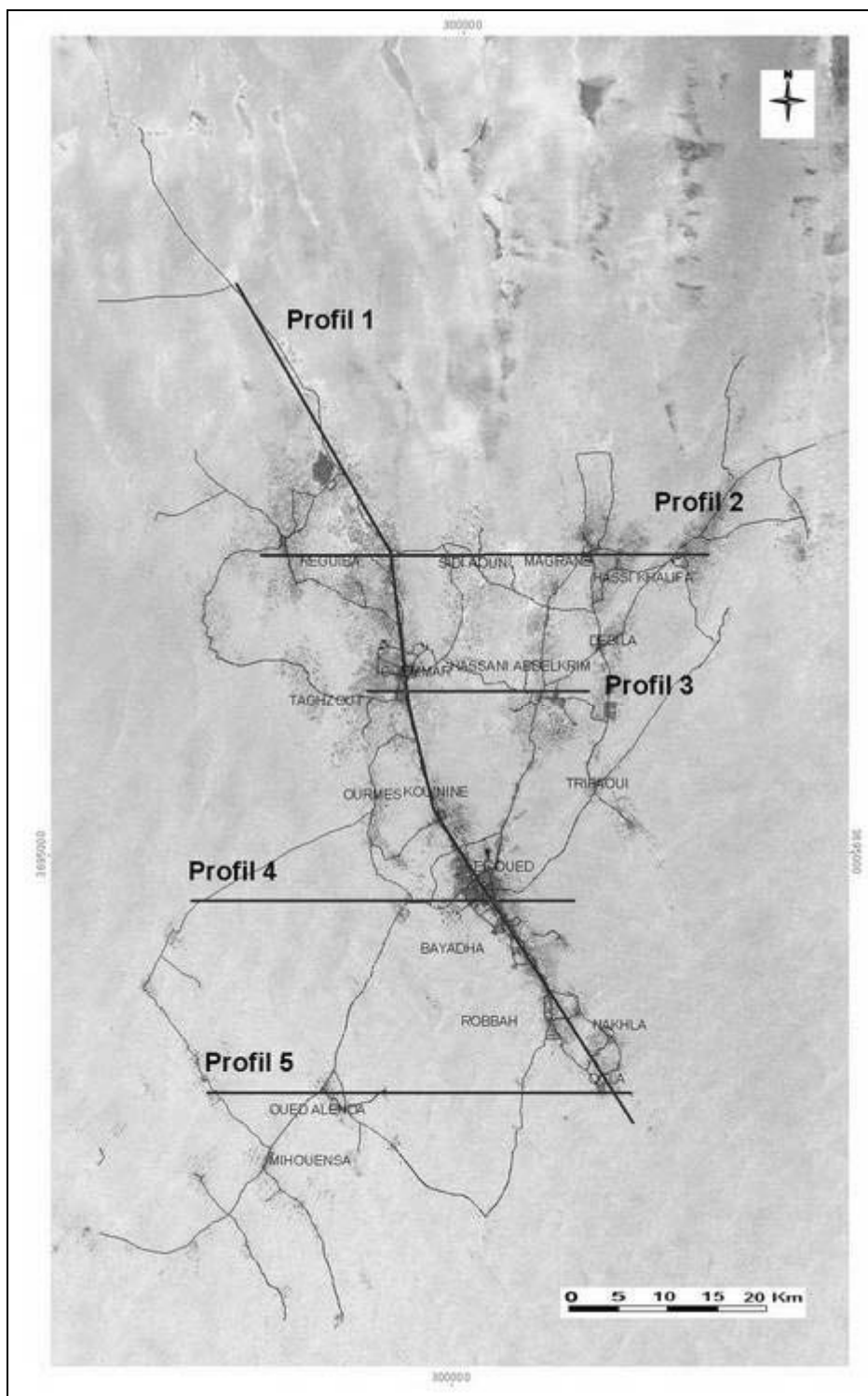


Fig.3.15- Situation des profils de dépression de la nappe phréatique

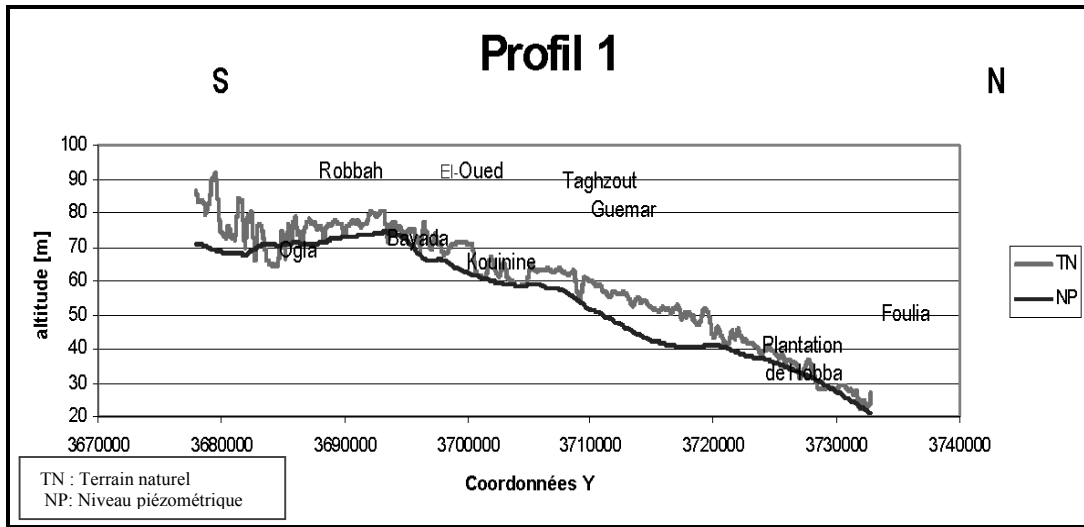


Fig.3.16- Profil Nord-sud de la nappe phréatique dans l'axe Foulia - El Oued - Oglia

Le profil 1 passe par les principales agglomérations. La nappe affleure au niveau des ghouts près de celles-ci. Au Nord, elle s'approche de la surface du sol.

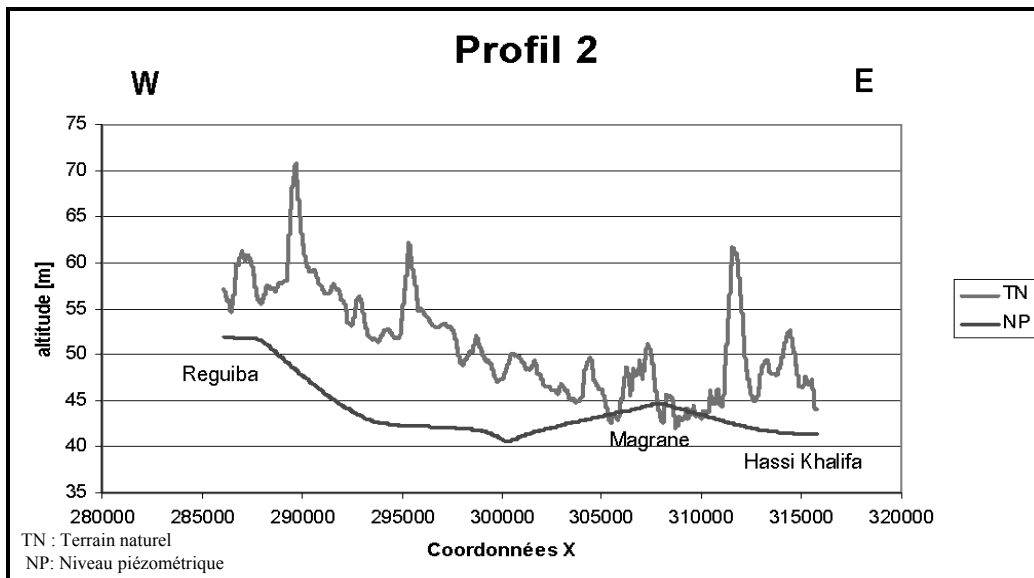


Fig.3.17- Profil Est-ouest de la nappe phréatique passant par Magrane

La nappe est profonde à l'Ouest et au centre, très proche de la surface du sol près de Magrane. Elle est déprimée sous les zones de cultures.

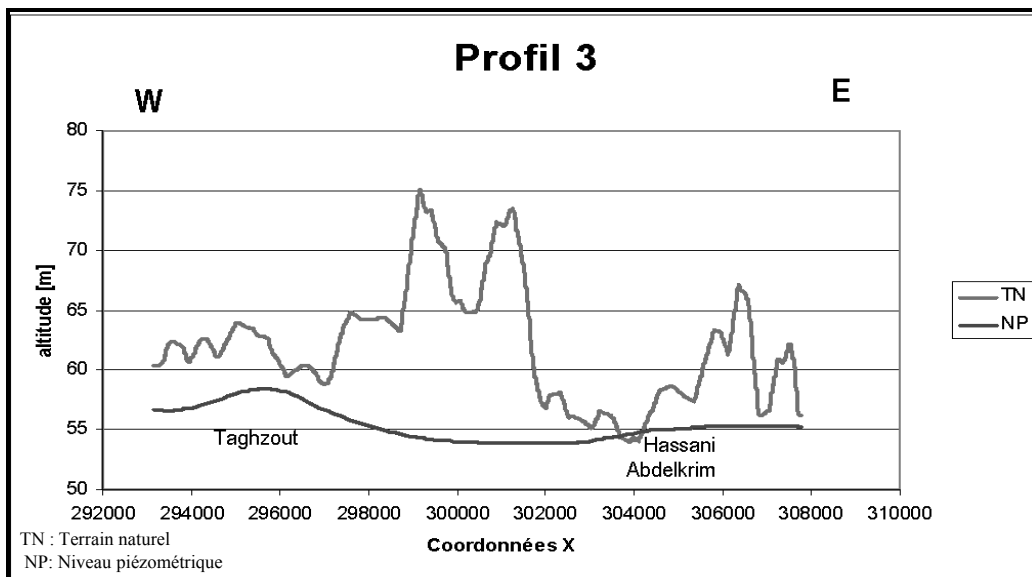


Fig.3.18- Profil Est-ouest de la nappe phréatique par Taghzout

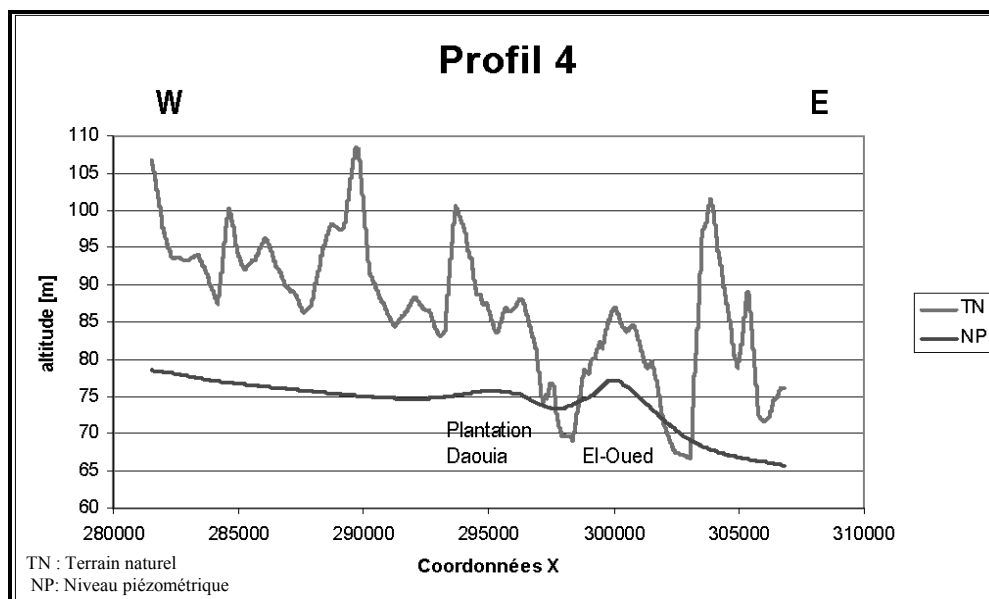


Fig.3.19- Profil Est-ouest de la nappe phréatique par El Oued

Ce profil met en évidence la remontée sous les zones d'alimentation du domaine de Daouia (irriguée à partir du CT) et l'agglomération d'El Oued.

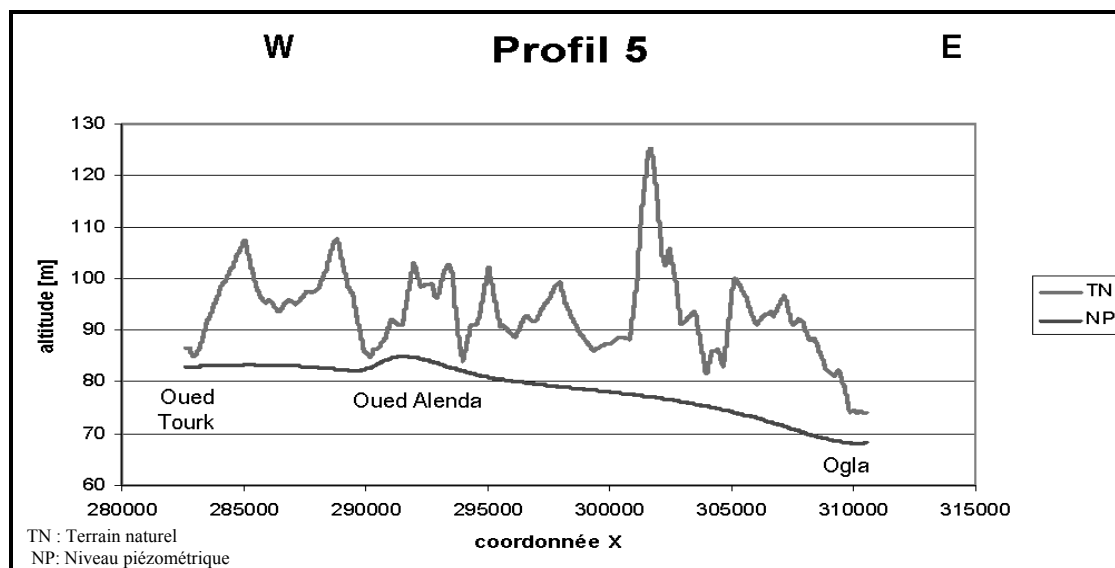


Fig.3.20- Profil Est-ouest de la nappe phréatique par Ogla

Ce profil, situé plus au Sud, présente la nappe à son état quasi naturel, mis à part l'AEP de Oued Alenda qui fait monter la nappe localement.

3.4. GÉOMÉTRIE DE L'AQUIFERE

Dans la zone d'étude, La superficie de l'aquifère à nappe libre est de 40 km². D'après les coupes lithologiques des forages, la profondeur du substratum est caractérisée par une valeur moyenne de 60 mètre.

Sur la base de mesures piézométriques de mai 2009, La profondeur moyenne du niveau statistique est 5m. Des essais de pompage en 2003, des coupes lithologiques de forages, on a estimé que le volume d'eau de l'aquifère est 154 Hectomètres cubes.

3.5. CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

L'essai de pompage sert à déterminer les paramètres de l'aquifère, tels que la porosité efficace (S_y), la transmissivité (T), le débit spécifique et le coefficient de perméabilité (K).

En 2003, des essais de pompage par paliers et de longue durée ont été réalisés par le bureau d'étude Suisse « BG » dans la commune d'El Oued. (Bonnard & Gardel, Mai 2003).

Le site des essais de pompage est constitué par un puits de pompage et 3 piézomètres complets, situés à 5, 15 et 45 m du puits de pompage. Le rejet des eaux de pompage a été fait à plus de 98 m plus loin.

L'essai par paliers est composé de trois débits d'une durée de pompage de 6 heures chacun à débit constant, séparés par un intervalle de 12 heures. L'essai de longue durée a consisté en un pompage à débit constant de 72 heures suivi de 24 heures de remontée. Son interprétation a permis de calculer la transmissivité (T), le coefficient de perméabilité (K), le coefficient de perméabilité verticale (Kv) et la porosité efficace (Sy).

L'interprétation des essais de pompage par paliers et à longue durée ont permis de constater que :

- Le débit spécifique est $2.15 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$.
- La transmissivité moyenne est de $2.5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.
- La perméabilité moyenne est de $4.91 \times 10^{-5} \text{ m/s}$.
- La porosité efficace est de 7.05 % valeur usuelle pour les sables fins.

Le coefficient de perméabilité dans la zone d'aération est de 10^{-2} m/s .

3.6. PIÉZOMÉTRIE DE LA VILLE DE OUED SOUF

3.6.1. Inventaire des points d'eau

Le réseau de surveillance de la ville de Oued Souf, mis en place en 2006 a été composé à l'origine de 62 points, répartis dans la ville dans une zone de 40 km², les coordonnées ont été relevées au GPS et toutes les données recueillies ont été introduites dans une base de données liée à un S.I.G (système d'information géographique) (Fig.3.21).

En 2008, une campagne de mesure des niveaux piézométriques de la nappe phréatique a été effectuée par l'ANRH au mois de mai.

En 2009, on a fait une campagne de mesure des niveaux piézométriques de la nappe phréatique dans les zones inondées au mois de janvier et au mois de mai.

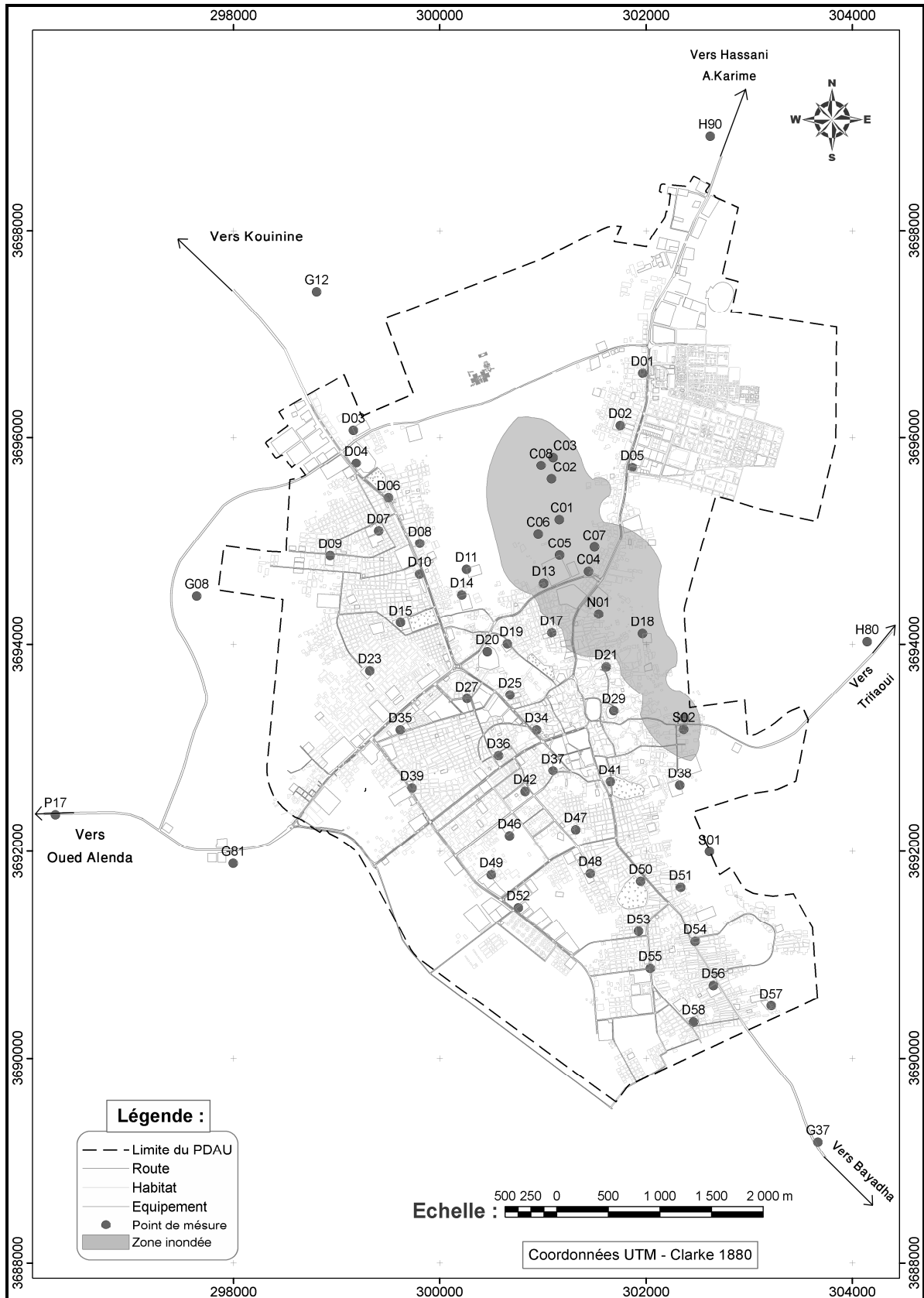


Fig.3.21- Réseau de surveillance de la ville de Oued Souf

3.6.2. Évolution de la piézométrie

L'objectif principal de l'étude de l'évolution de la piézométrie dans le temps est de visualiser la direction de l'écoulement horizontal et éventuellement vertical (drainance), ainsi que la profondeur du niveau d'eau dans le sol.

C'est d'après l'écoulement qu'on peut reconnaître les zones vulnérables ou contaminées à condition de pouvoir localiser les rejets.

3.6.2.1. La piézométrie du mois de Mai 2008

Les mesures piézométriques qui ont été réalisées en mai 2008 par l'ANRH nous ont permis d'établir une carte piézométrique (*Fig.3.22*). On remarque que La nappe phréatique est caractérisée l'existence de trois zones importantes.

- Zone A1, celle de la cité du 19 mars, Errimel-ouest, Errimel est, El-Moudjahidine ouest, El-Moudjahidine-est, 300 logements, 400 logements, Tawba, Amir abdelkader, 17 octobre et Ennour caractérisée par la présence d'un dôme piézométrique d'une altitude allant de 74.7 m à 77.7 m.
- Zone B1, représentée par les cités 08 mai et 1 novembre au N.E dont caractérisée par un dôme piézométrique d'une altitude allant de 67.2 m à 70.2 m.
- Zone C1, au centre représentée par la cité Choot correspondant à une dépression importante d'une altitude allant de 64.2 m et 65.7 m, elle est caractérisée par la remontée de la nappe phréatique en surface (*Fig.3.22* et 3.23).

On remarque au passage que

- Le dôme piézométrique correspond à une zone d'alimentation.
- Une dépression piézométrique correspond à un drainage.

La nappe phréatique dans la ville de Oued Souf présente les directions d'écoulement suivantes :

- Du Nord-est de la zone A1 vers la zone C1 (cité Choot).
- Du Nord de la zone A1 vers le Nord-ouest de la ville près du point G12.

- Du Sud-ouest de la ville près du piézomètre P17 vers le Nord-ouest de la ville près du puits G12.
- De l'Est de la zone A1 vers l'Est la ville près du puits H80.
- Du Sud de la zone B1 vers la zone C1 (cité Choot).
- On a un écoulement divergent à partir du dôme piézométrique de la zone A1 donc du SW vers le NE et du NE vers le SW.
- On a un 2^{ème} écoulement diverge à partir du dôme piézométrique de la zone B1 au NE donc de l'Est vers l'ouest et de l'ouest vers l'est.
- Une convergence des écoulements de tous les sens vers la zone C1 du Choot.

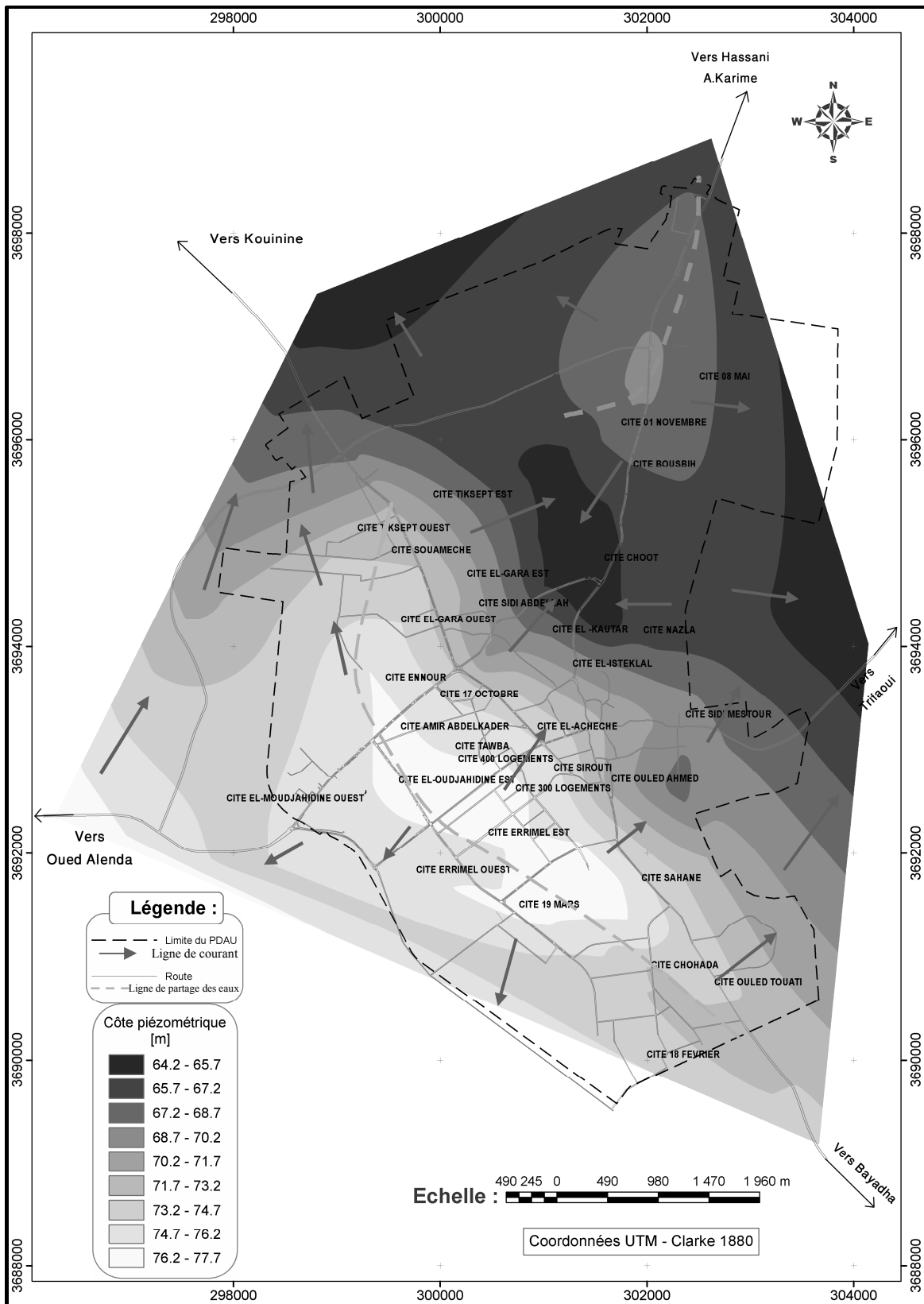


Fig.3.22- Carte piézométrique de la nappe phréatique de la ville de Oued Souf en mai 2008



*Fig.3.23- la remontée de la nappe phréatique en surface dans la cité Choot
(Juin, 2009)*

3.6.2.2. La piézométrie du mois de Mai 2009

Pour suivre l'évolution de la nappe phréatique, nous avons fait des mesures piézométriques en mai 2009, elles nous ont permis d'établir une carte piézométrique (*Fig.3.24*). Nous avons remarqué que la nappe phréatique a gardé la même structure que précédemment, avec une remontée sensible du niveau piézométrique.

Nous avons estimé cette remontée à 50000 m³ d'eau en une année.

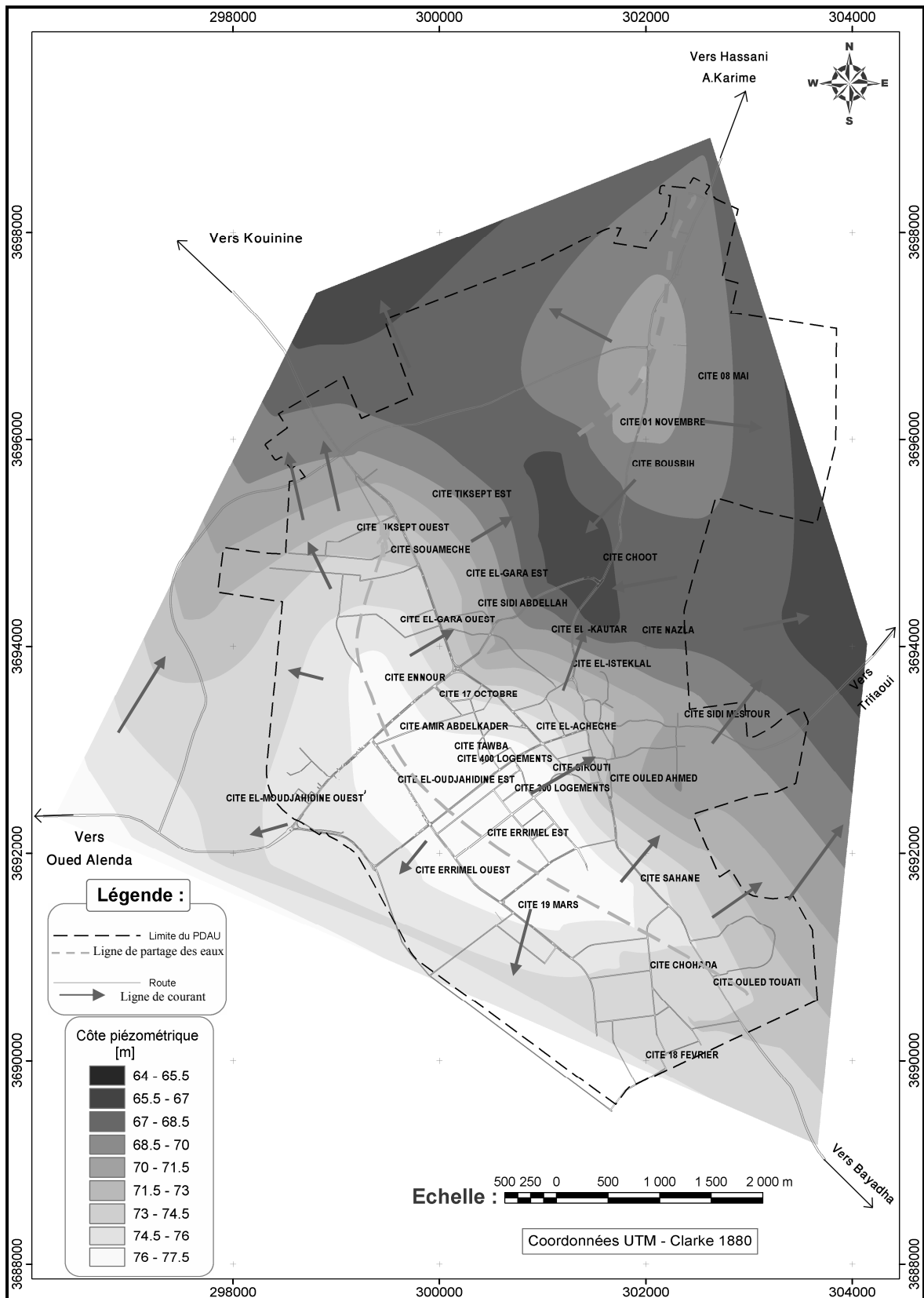


Fig.3.24- Carte piézométrique de la nappe phréatique de la ville de Oued Souf en mai 2009

3.6.2.3. La piézométrie entre Mai 2009 et Mai 2008

La carte de la figure ci-dessous (*Fig.3.25*) montre l'évolution de niveau piézométrique d'une année à l'autre.

Entre mai 2009 et mai 2008, une montée du niveau de la nappe phréatique atteignant 1.2 mètre a été constatée aux zones d'alimentation représentées par les agglomérations et un rabattement atteignant 0.6 mètre dans les zones de prélèvement par évaporation des surfaces d'eau libre (Chott, ghouts inondés) et évapotranspiration de la végétation (cultures traditionnelles en ghouts, cultures irriguées par des puits traditionnels ou améliorés dans la nappe phréatique).

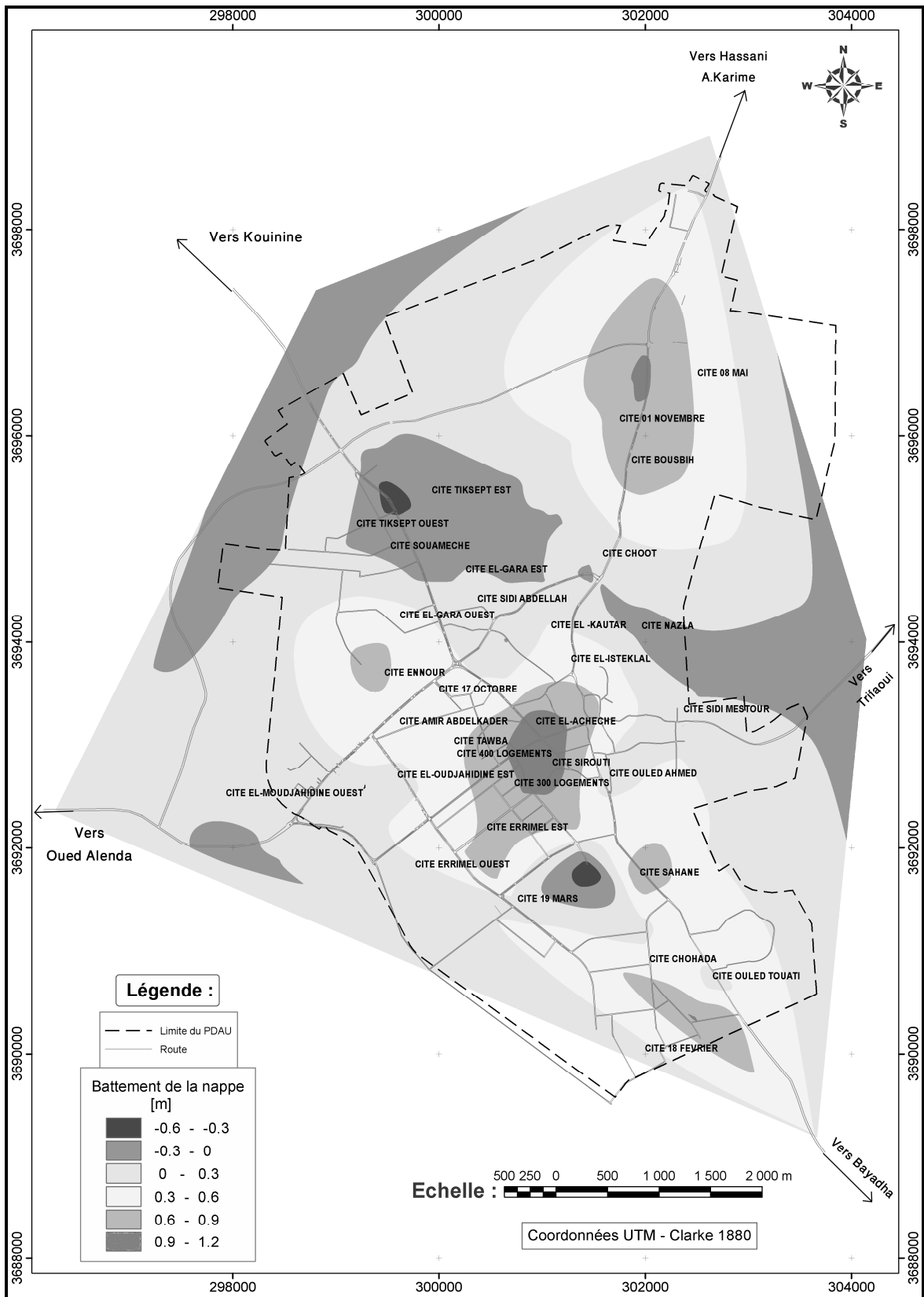


Fig.3.25- Carte de battement piézométrique entre mai 2009 et mai 2008 dans la ville de Oued Souf

3.6.2.4. La piézométrie en Janvier 2009

En janvier 2009, suite à de fortes pluies, une remontée générale de la nappe a été constatée avec inondation de quelques cités dans la ville de Oued Souf (*Fig.3.26*). Et pour suivre l'évolution de la nappe phréatique dans les zones inondées on a fait des mesures piézométriques.

Les mesures nous ont permis d'établir la carte piézométrique qui est représentée dans la figure (*Fig.3.27*).

Les zones touchées par l'inondation dans la période de crue sont : Les cités du Choot, El-koutar, Nazla et Sidi mestour correspondant à la zone de dépression.

La quantité d'eau qui a augmentée au dessus de la surface dans les zones inondées est 350000 mètre cube dont une lame d'eau de 115 mm.



Fig.3.26- Zone inondée à la cité Choot (janvier, 2009)

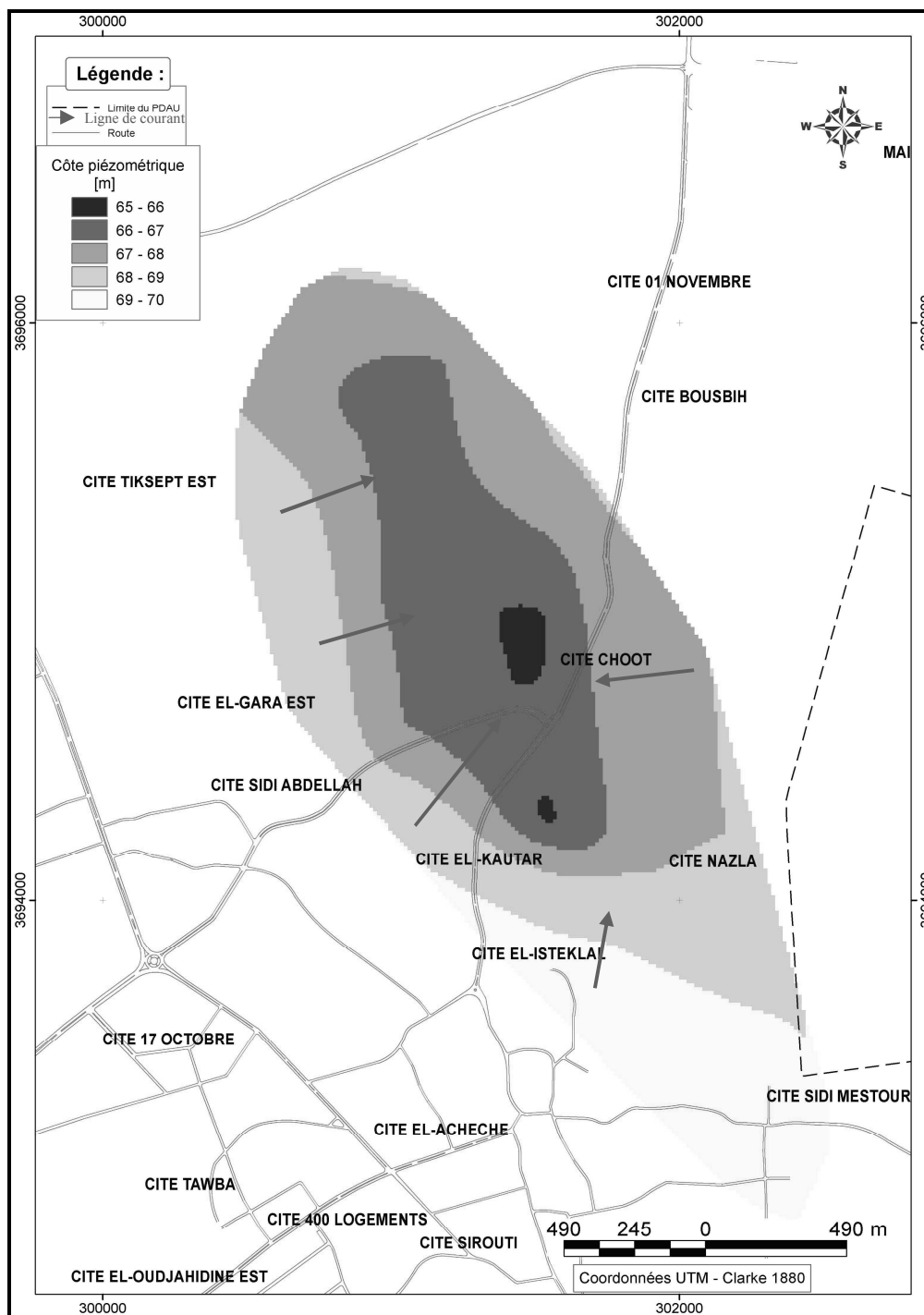


Fig.3.27- Carte piézométrique de la nappe phréatique dans les zones inondées de la ville de Oued Souf en janvier 2009

3.7. LE BILAN DE LA NAPPE

L'établissement d'un bilan d'eau au niveau d'une nappe exige la connaissance précise de son alimentation et de ses pertes. Or, celles-ci sont

multiples, directes ou indirectes, superficielles ou profondes. Ce bilan a pour but d'étudier la balance entre les apports et les pertes et d'étudier ainsi la variation des réserves en eau. (Tableau 3.1).

Tableau .3.1- Bilan d'eau de la ville de Oued Souf

Entrées	m³/j	m³/j
$Q_{F-Irr-Inf}$: Eau d'irrigation infiltrée	4550	
$Q_{AEP-Fuit}$: Fuite d'AEP (départ-arrivé)	9616	
Q_{EU-Inf} : Eau usée infiltrée	10770	
Q_{P-Eff} : Précipitations efficaces	?	
Sorties		
Q_D : Drainage provenant de la station 10		5482
Q_{F-Irr} : Infiltration à partir de l'irrigation		6500
$Q_{E-PI Zh}$: Evaporation des plans d'eau libres et des zones humides		1764
Totaux	24936	13746
Soit une différence de $24936-13746=11190$ m³/j.		

L'examen de ce bilan permet de formuler les remarques suivantes :

- Le débit d'eau responsable de la remontée de la nappe phréatique est de 11190 m³/j.
- La lame d'eau remontée est de 102 mm/an.

3.8. CONCLUSION

Les seules ressources hydriques disponibles sont les nappes souterraines. L'aquifère de la vallée du souf est contenu dans des formations de nature différente. L'alimentation de l'aquifère superficiel est assurée par l'infiltration des eaux des forages profonds du CT et CI, par les eaux urbaines, par les eaux d'irrigation et par les rares et faibles précipitations exceptionnelles. Cette nappe remonte dans les dépressions, sous les agglomérations et baisse dans les zones irriguées.

Le sens général d'écoulement des eaux souterraines est du S-W vers le N-E.

Les cartes piézométriques de la ville de Oued Souf montrent bien cette situation.

Devant cette situation critique, surtout dans les zones d'agglomération, il y a plusieurs solutions qui ont été proposés et qui en cours d'exécution pour façonner aujourd'hui un nouveau paysage Soufi.

Chapitre 4

Hydrochimie

4.1. INTRODUCTION

Dans la région de Oued Souf, la remontée et la dégradation qualitative continue des eaux de la nappe phréatique sont des problèmes sérieux et qui restent, encore, l'un des handicaps pour le développement durable.

L'abondance de l'eau souterraine a incité les habitants à l'extraire à partir des trois nappes (celle de l'Albien, celle du Pontien et la nappe phréatique) des quantités importantes et de la consommer d'une manière irrationnelle. Les eaux d'irrigation et usées pompées de l'Albien et du Pontien s'infiltrant lentement à travers les couches sableuses, et rejoignent celles de la nappe phréatique. Au cours des années, ces couches se sont saturées, et elles ne sont plus capables de recevoir toutes les quantités rejetées. On a assisté alors à un déséquilibre du système hydrique traditionnel.

L'approche hydrochimique a pour but l'identification de ce problème et la définition des caractéristiques physico-chimiques des eaux de la nappe phréatique et leurs faciès chimiques ce qui permettra de déceler son origine et mettre en relie la remontée des eaux souterraines.

4.2. PRELEVEMENTS

Dans le cadre de cette étude, on a effectué un échantillonnage au niveau de quelques points d'eau sélectionnés de manière à avoir un réseau de surveillance de la ville de Oued Souf plus ou moins homogène.

Durant le mois de juillet 2009, nous avons prélevé 19 échantillons d'eaux dans les puits et un échantillon dans un piézomètre soit au total 20 échantillons. Ces analyses ont été effectuées dans le laboratoire de l'Algérienne Des Eaux (ADE).

Les paramètres analysés sont :

- Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ ;
- Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- , NO_2^- , F^- ;
- La conductivité électrique (CE), la salinité, la turbidité, le résidu sec et le pH.

Durant le mois de décembre 2009, au sein du laboratoire de l'université de Constantine et du laboratoire de l'Algérienne Des Eaux (ADE) d'El Oued, nous avons procédé à l'analyse de 03 métaux lourds (Pb, Zn et Cu) dans 09 échantillons d'eaux qui ont été prélevés dans 08 puits et un piézomètre.

Les caractéristiques de ces eaux ont été reportées dans le tableau 4.1.

Tableau.4.1- Caractéristiques chimiques des eaux de la nappe superficielle de Oued Souf

Elements chimiques	Valeur Maximale (mg/l)	Valeur Moyenne (mg/l)	Valeur Minimale (mg/l)	Ecart type (mg/l)
Ca^{++}	773.54	593.58	224.45	122.48
Mg^{++}	432.63	155.06	29.17	105.62
Na^+	482.50	311.28	142.50	103.45
K^+	54.00	22.85	9.00	10.11
NH_4^+	0.31	0.12	0.00	0.10
Cl^-	1640.23	686.33	344.06	394.45
SO_4^{--}	3373.00	1745.65	869.00	681.99
HCO_3^-	1305.40	237.18	32.94	310.70
NO_3^-	97.19	39.68	1.50	26.51
NO_2^-	2.84	0.30	0.00	0.75
F^-	1.83	1.38	0.57	0.33

4.3. DISCUSSION ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

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

4.3.1. Les paramètres physico-chimiques

4.3.2. La température

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

Lors de la campagne de 2009, nous avons remarqué que la température varie entre 23 et 29 °C, et que les températures élevées ont été remarquées près aux zones inondées et dans les zones où il y a une infiltration à travers les canalisations d'alimentation en eau potable provenant des forages albien. (Fig.4.1).

4.3.3. Potentiel d'Hydrogène

Le pH est une mesure de l'activité des ions hydrogènes (H^+) dans une solution aqueuse exprimée en moles /litre. L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcaline). La valeur médiane 7 correspond à une solution neutre. *Le pH des échantillons d'eau prélevés varie entre 7.3 et 8.2* (Fig.4.2), les zones inondées caractérisées par des valeurs qui varient entre 7.3 et 7.5.

D'après l'OMS; on déduit que la plupart des échantillons des eaux de la nappe phréatique de la zone d'étude sont alcalines.

4.3.4. La conductivité électrique

La conductivité électrique est une mesure qui permet un contrôle simple et rapide de la minéralisation des solutions. Elle dépend de la force ionique de l'eau et augmente en fonction de la teneur en ions dissous, de la nature des différentes substances dissoutes, à leurs concentrations réelles et relatives et à la température à laquelle elle est mesurée.

La conductivité électrique de l'eau de la nappe phréatique renseigne sur le degré de la salinité et les risques de salinité des sols. Les mesures de la

conductivité pendant le mois de juillet 2009 montrent un dépassement de la norme recommandée pour les eaux d'alimentation en eau potable. Elle varie

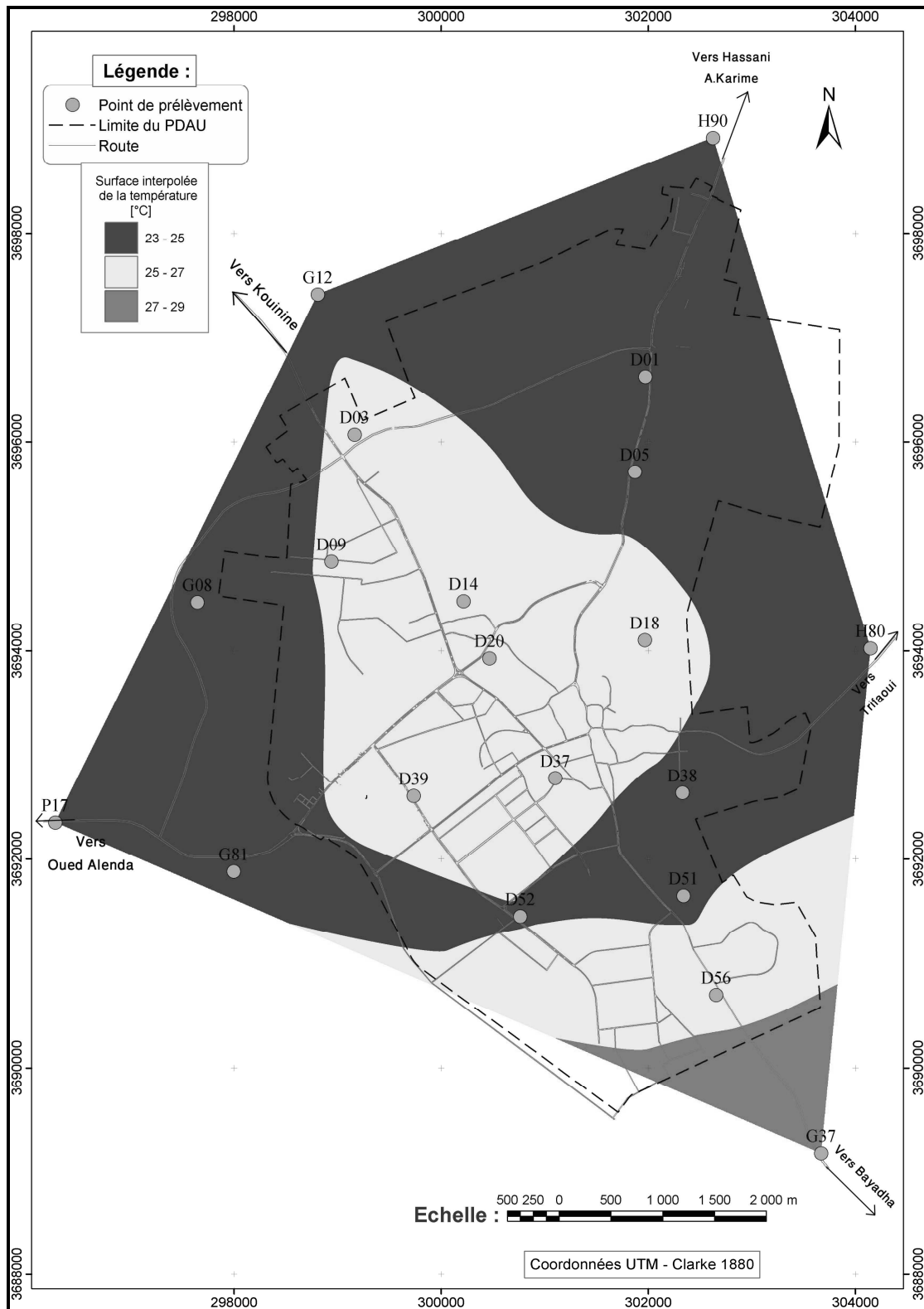


Fig.4.1- Répartition de la température de l'eau de la nappe superficielle (Juillet, 2009)

entre 2170 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à l'Ouest de la ville au niveau du puits G08 et 7270 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à l'Est (Fig.4.3).

La figure 4.1 montre que la conductivité électrique augmente dans les zones inondées (de 4200 à 7270) par rapport aux autres zones. Ceci est lié à plusieurs facteurs tels:

- L'existence d'un réseau de drainage.
- L'évaporation : lorsque le niveau piézométrique est proche de la surface du sol.

4.3.5. Le titre Hydrotimétrique

Ce paramètre exprime des ions calcium (Ca^{2+}) et des ions magnésium (Mg^{2+}) contenue dans un litre d'eau. En règle générale, la quantité de calcium est 3 à 10 fois supérieure à celle du magnésium.

Les valeurs de la dureté mesurée, pour tous les échantillons prélevés dans la nappe phréatique de la région d'étude, sont représentées dans le tableau 4.2.

Tableau.4.2- Dureté des eaux de la région d'étude

Points de prélèvements	G08	G12	G81	P17	H80	H90	G37	D01	D03	D05	D09	D14	D18	D20	D37	D38	D39	D51	D52	D56
TH (°F)	167	254	161	80	300	267	210	195	200	301	225	204	197	190	220	231	201	205	250	180

D'après les normes de potabilité des eaux établies par l'O.M.S, on remarque que pour tous les échantillons prélevés, le titre hydrotimétrique dépasse 54°F ; ce qui montre que les eaux de cette région sont très dures.

4.3.6. Les Cations

4.3.6.1. Calcium

Le calcium est l'un des principaux cations qui soient associés à la dureté de l'eau potable. C'est le cinquième élément le plus abondant dans la nature. La

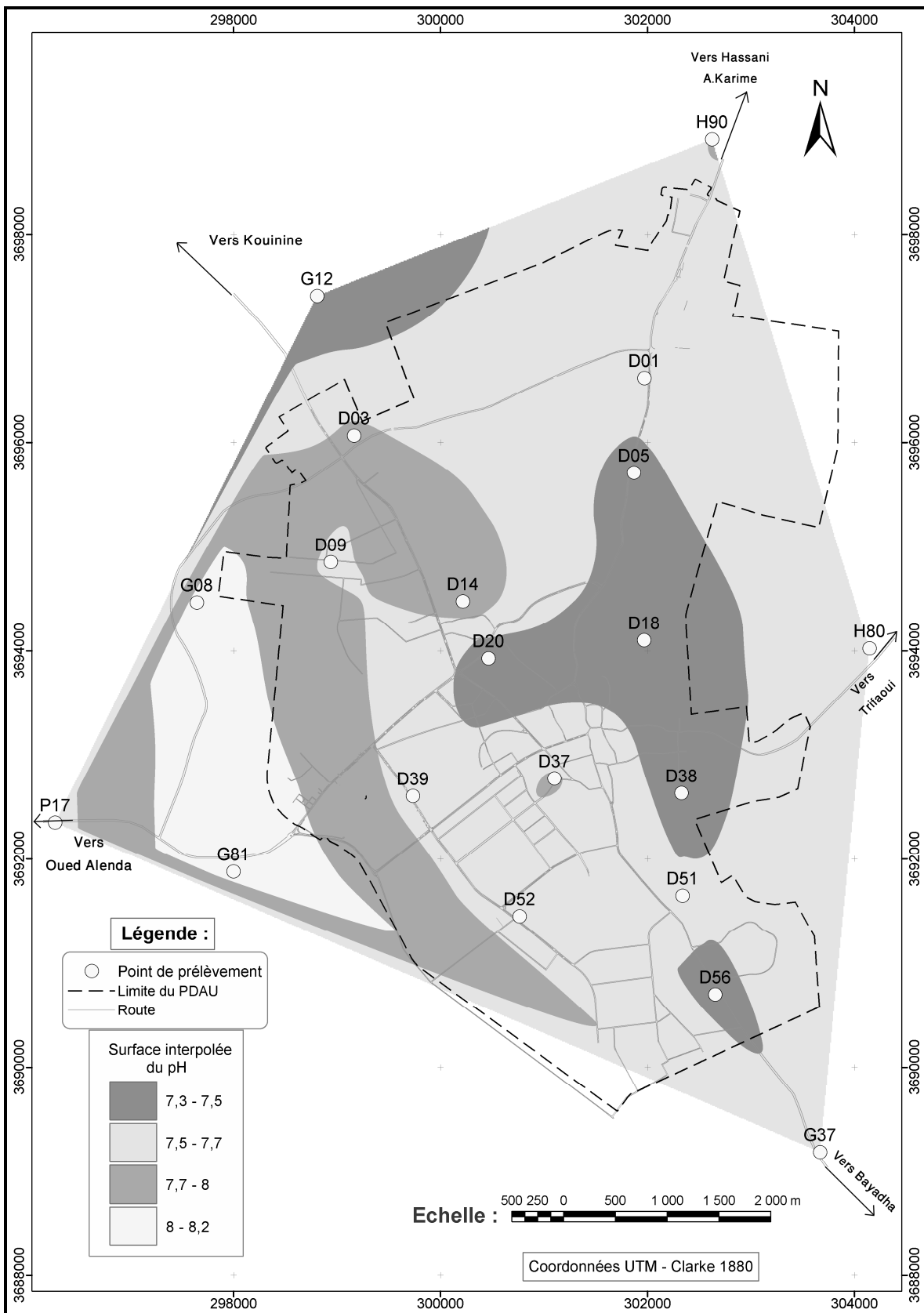


Fig.4.2- Carte du pH (Juillet, 2009)

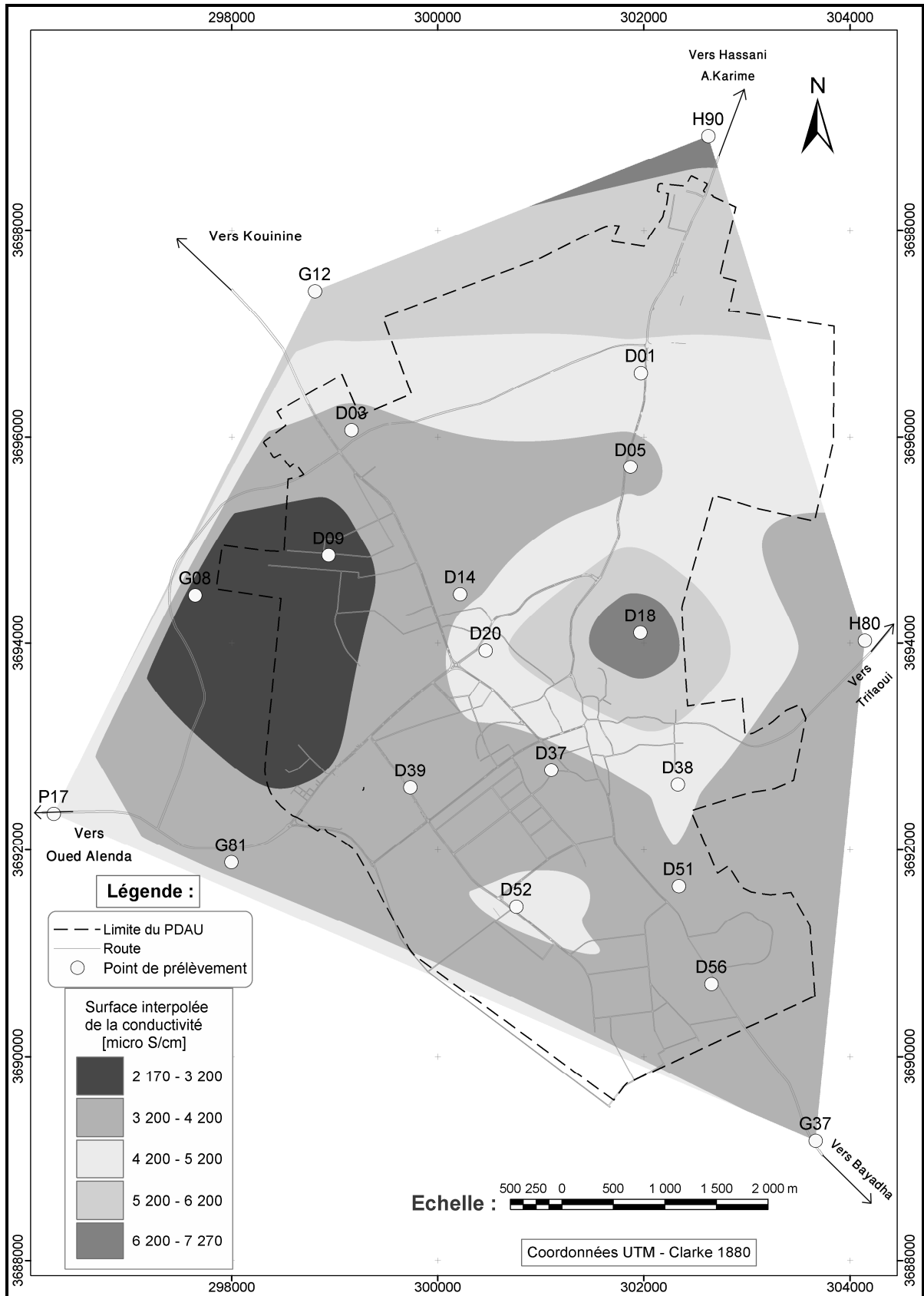


Fig.4.3- Carte de la conductivité (Juillet, 2009)

concentration du calcium dans l'eau dépend du temps de séjour de l'eau dans des formations géologiques riches en calcium.

Le calcium peut provenir également des formations gypsifères ($\text{Ca SO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$), qui sont facilement solubles.

D'après les mesures qu'on a effectuées sur les échantillons d'eau prélevés, la concentration de calcium varie entre 224.45 mg/l au piézomètre P17 situé au Sud-est de la zone d'étude et 773.54 mg/l au puits D38 localisé à l'extrémité Sud-est des zones inondés. Dans les zones inondées, les concentrations sont élevées (de 500 mg/l à 770 mg/l) (Fig.4.4).

D'après l'OMS; la valeur maximale admissible de calcium 200 mg/l. Alors on constate qu'on a un dépassement de la norme.

4.3.6.2. Magnésium

Le magnésium se place au huitième rang parmi les éléments naturels les plus abondants. Il constitue 2,5 pour cent de la croûte terrestre et forme généralement des minéraux comme la giobertite (magnésite), la dolomie, l'olivine, la serpentine, le talc et l'amiante. Toutes les eaux naturelles en contiennent et il contribue largement à leur dureté. Les principales sources du magnésium contenu dans ces eaux sont les minéraux ferromagnésiens des roches ignées et les carbonates de magnésium des roches sédimentaires.

D'après l'OMS; la valeur maximale admissible de Magnésium 150 mg/l. Les mesures de la conductivité de la compagnie du juillet 2009 montrent *que la moitié* des échantillons ne dépassent pas la norme recommandée pour les eaux d'alimentation en eau potable, la teneur minimale du magnésium est enregistrée au puits D01 avec 29.17 mg/l et la teneur maximale est enregistrée au puits H90 avec 432.63 mg/l. Les zones inondées ont des teneurs inférieures à la valeur moyenne (155.06 mg/l) (Fig.4.5).

4.3.6.3. Sodium

Le sodium est un métal mou, blanc argenté et fortement réactif qui, dans la nature, ne se rencontre qu'à l'état combiné. Ce métal alcalin se présente

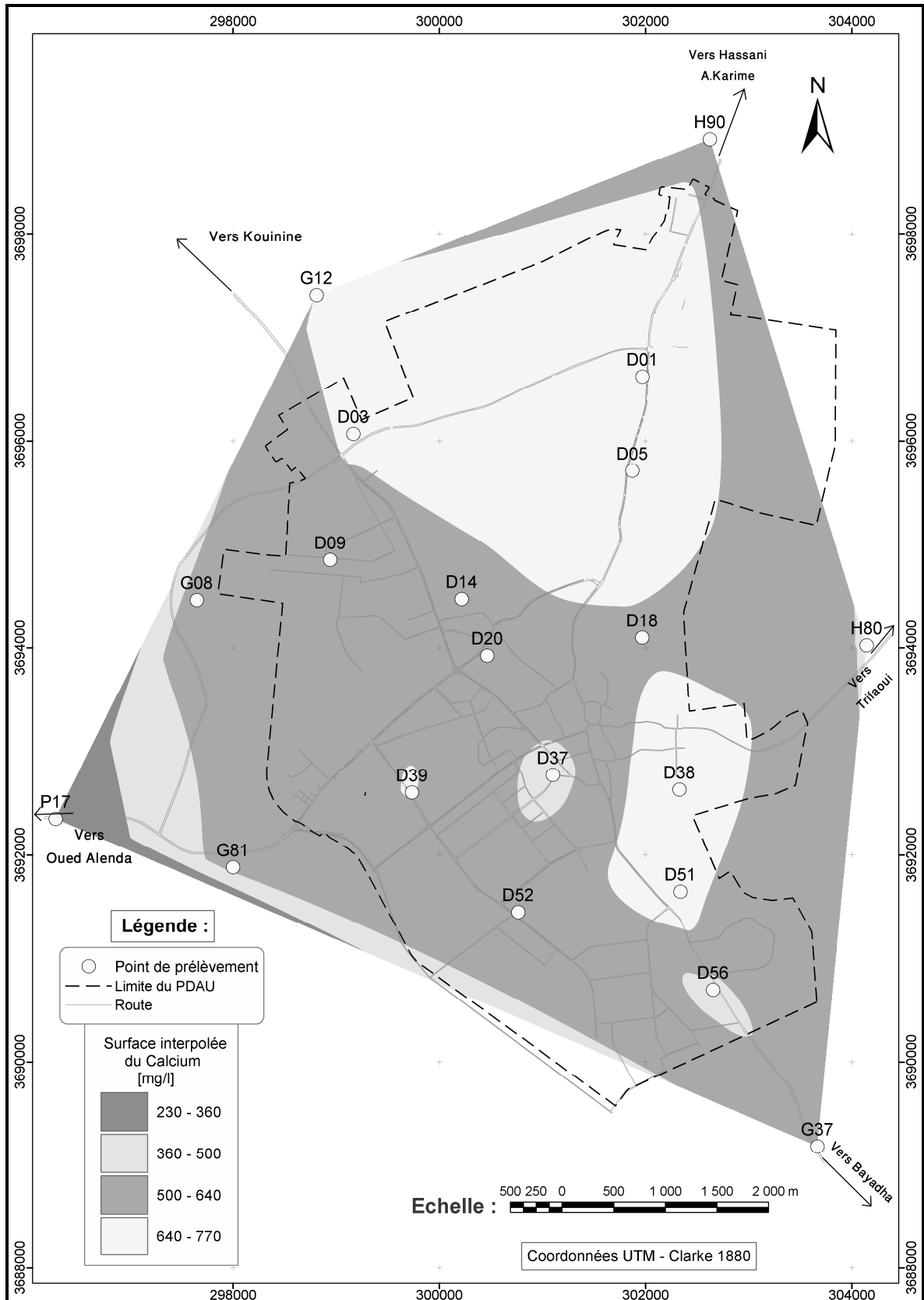


Fig.4.4- Carte du calcium (Juillet, 2009)

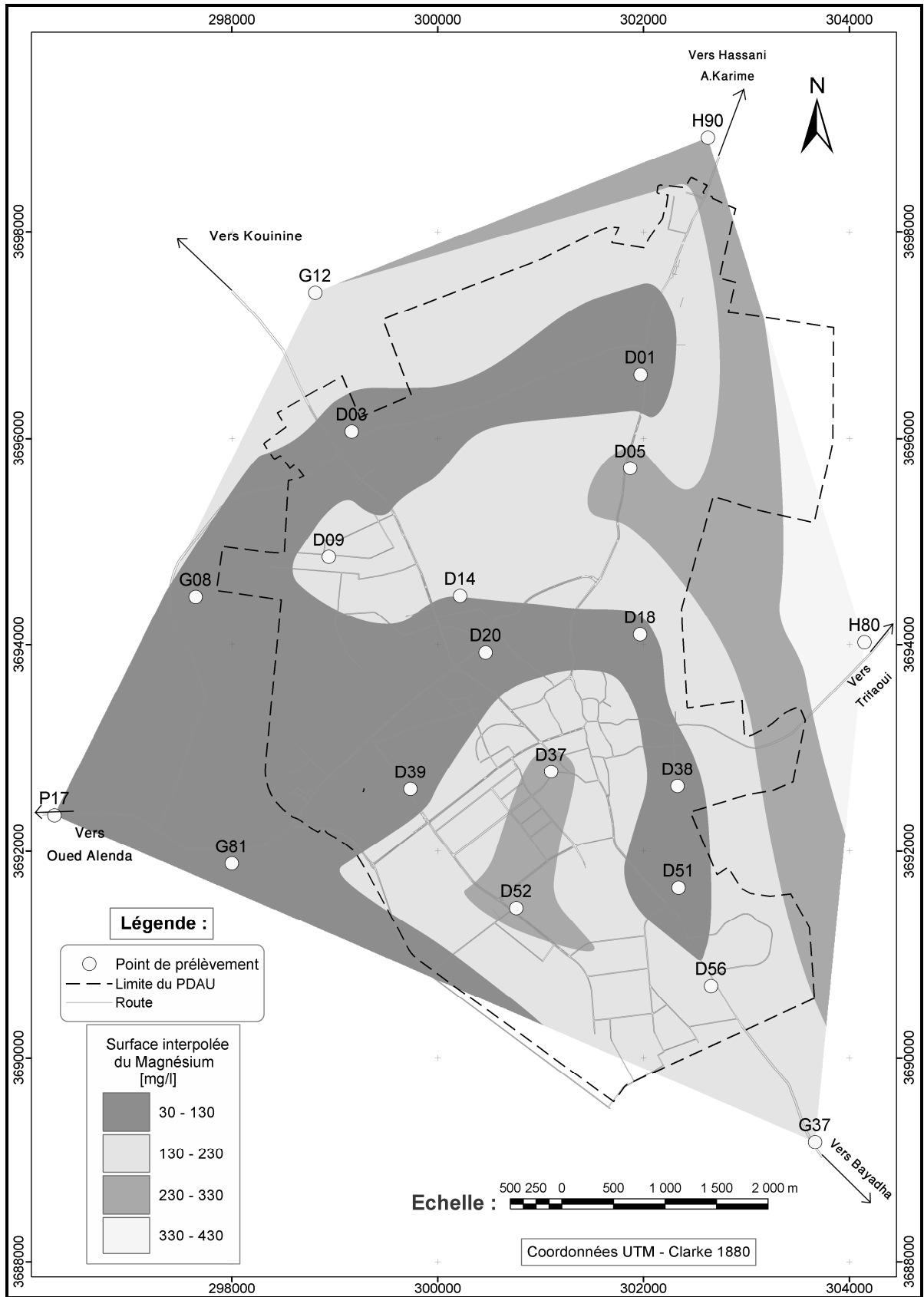


Fig.4.5- Carte de magnésium (Juillet, 2009)

fréquemment sous forme ionisée. On observe que, dans les milieux biologiques et même dans les solides tels que le chlorure de sodium, le métal garde l'état ionisé.

À cause de la forte solubilité de ses minéraux, le sodium se retrouve partout dans le milieu aquatique. Ses concentrations varient considérablement selon les paramètres hydrologiques et géologiques régionaux et locaux, la saison et le mode d'utilisation du sel.

Pour les échantillons analysés, la concentration de sodium a une valeur minimale de 142.5 mg/l au puits D39 et une valeur maximale de 482.5 mg/l au puits D18. Les teneurs du sodium dans les zones inondées sont élevées (Fig.4.6).

4.3.6.4. Potassium

Le potassium est le deuxième élément le plus léger, le plus réactif, le plus électropositif des métaux. C'est un solide mou qui est facilement coupé à l'aide d'un couteau. Les surfaces fraîchement coupées ont un aspect métallique. Il s'oxyde rapidement dans l'air et doit donc être conservé dans l'huile. Comme les autres métaux alcalins, il se décompose au contact de l'eau avec formation d'hydrogène. Lorsqu'il est plongé dans l'eau, il prend feu spontanément. Ses sels émettent une couleur violette lorsqu'ils sont exposés à une flamme.

D'après les analyses effectuées, on constate que la plupart des échantillons ont des teneurs supérieures à la norme.

La concentration de potassium varie entre 9 mg/l au puits D52 situé au Sud de la zone d'étude et 54 mg/l au puits D18 localisé dans une zone inondée (Fig.4.7). Dans les zones inondées, les concentrations sont très élevées. Cette élévation est due à l'infiltration des eaux usées.

4.3.6.5. Ammonium

L'ion ammonium, (NH_4^+), est la forme réduite de l'azote. Il provient principalement de la décomposition des protéines naturelles contenues dans le

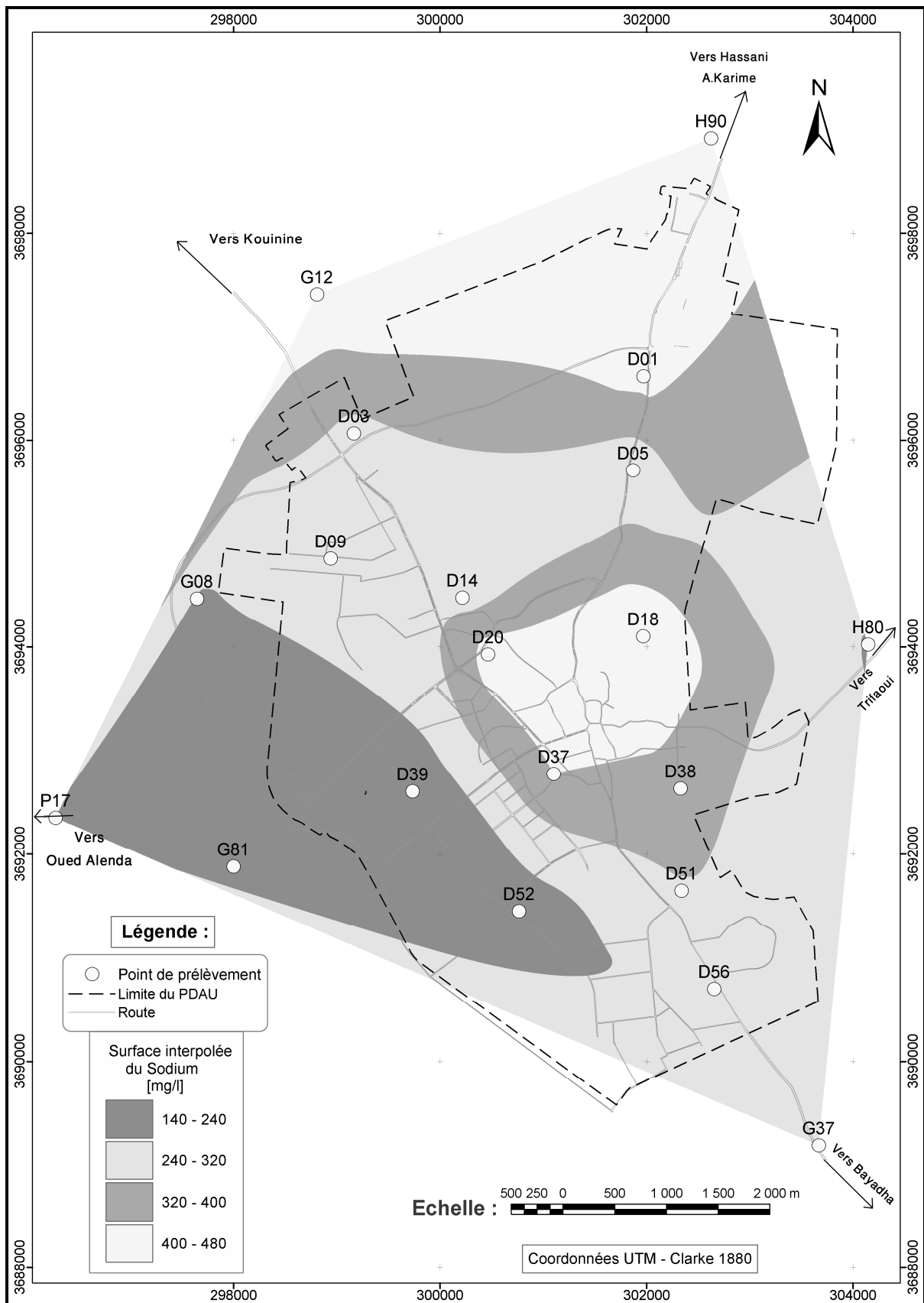


Fig.4.6- Carte de sodium (Juillet, 2009)

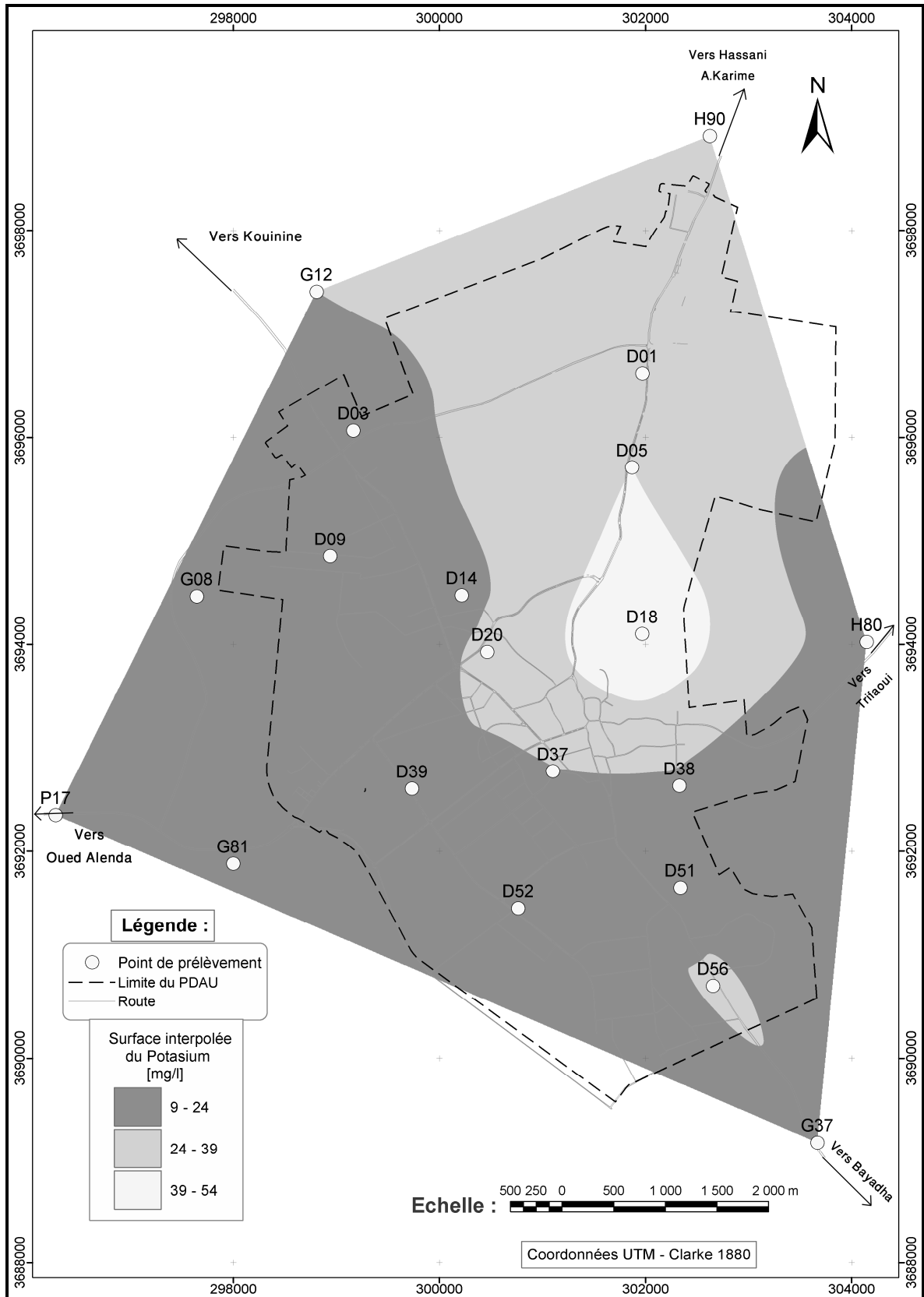


Fig.4.7- Carte de potassium (Juillet, 2009)

phytoplancton et les micro-organismes. Il est peut être aussi issu de l'apport d'effluents urbains épurés, de rejets industriels ou agricoles.

D'après les analyses effectuées, la valeur de l'ammonium varie entre 0 et 0.3 mg/l (Fig.4.8), en résulte que tous les échantillons ne dépassent pas la norme recommandée par l'OMS pour les eaux d'alimentation en eau potable.

Dans les zones inondées, les concentrations sont l'égerment faibles.

4.3.7. Les Anions

4.3.7.1. Chlorures

Les chlorures sont largement répandus dans la nature, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl); ils représentent environ 0,05 % de la lithosphère. Ce sont les océans qui contiennent de loin la plus grande quantité de chlorures dans l'environnement.

Les chlorures donnent un goût désagréable et pose le problème de corrosion des canalisations et des réservoirs à partir de 50mg/l (norme de l'O.M.S).

Les valeurs des chlorures varient entre 344.06 mg/l et 1640.23 mg/l.

Dans les zones inondées, les concentrations sont très élevées à cause de l'infiltration des eaux usées dans la nappe phréatique.

D'après l'OMS on constate qu'on a un dépassement de la norme.

4.3.7.2. Sulfates

Les sulfates contenus dans l'eau souterraine sont fournis par la dissolution du gypse. Le gypse est un sulfate de calcium hydraté qui est faiblement soluble (7 g/l dans les conditions normales). Les échantillons prélevés ont des teneurs comprises entre 869 et 3373 mg/l, ils dépassent 250 mg/l (valeur limite admissible), valeurs qui rendent cette eau non potable.

D'après la carte de répartition de cet élément (Fig.4.9), les valeurs les plus élevées se situent dans les zones inondées et au Sud-est; par contre les moins

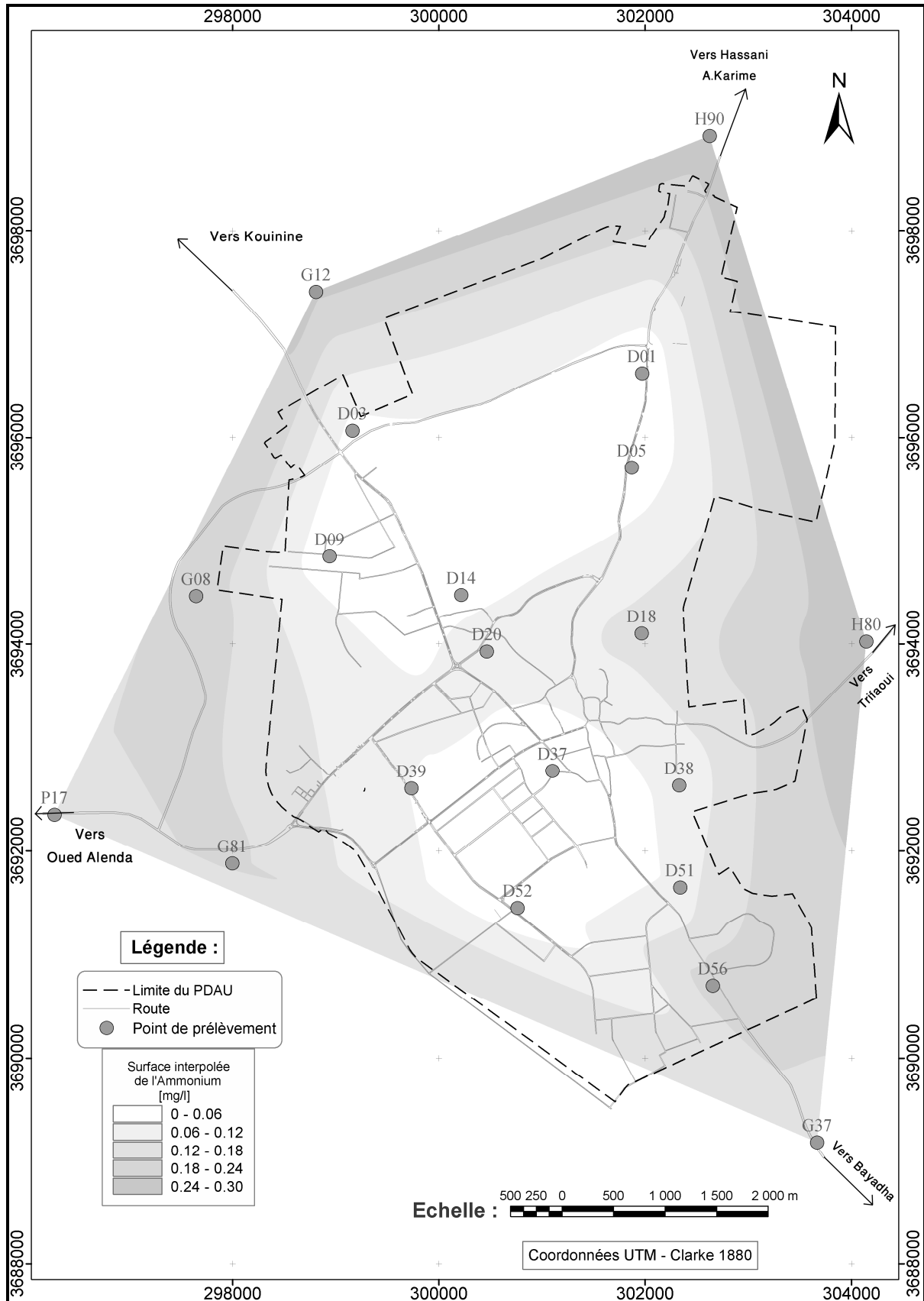


Fig.4.8- Carte de l'ammonium (Juillet, 2009)

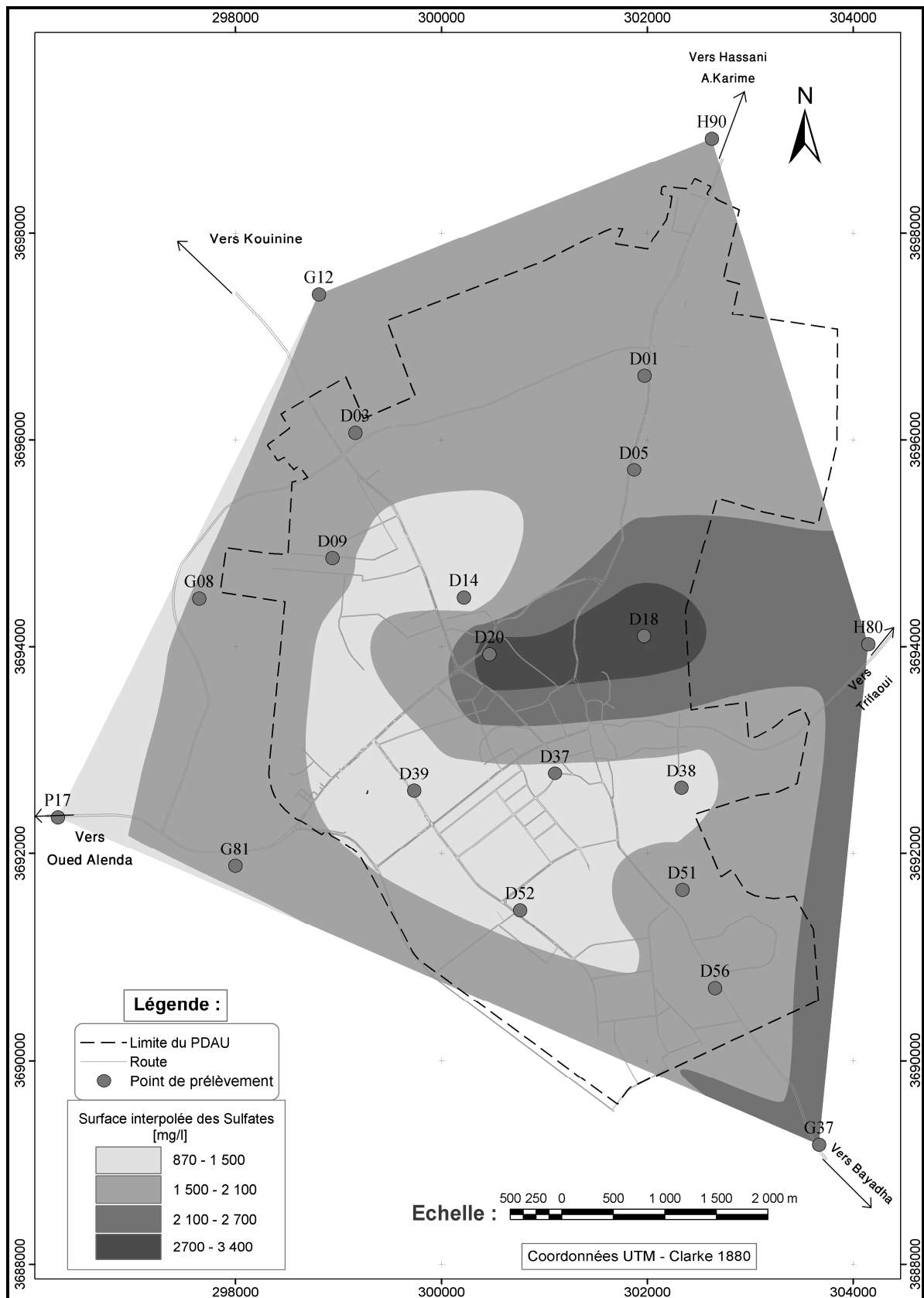


Fig.4.9- Carte des sulfates (Juillet, 2009)

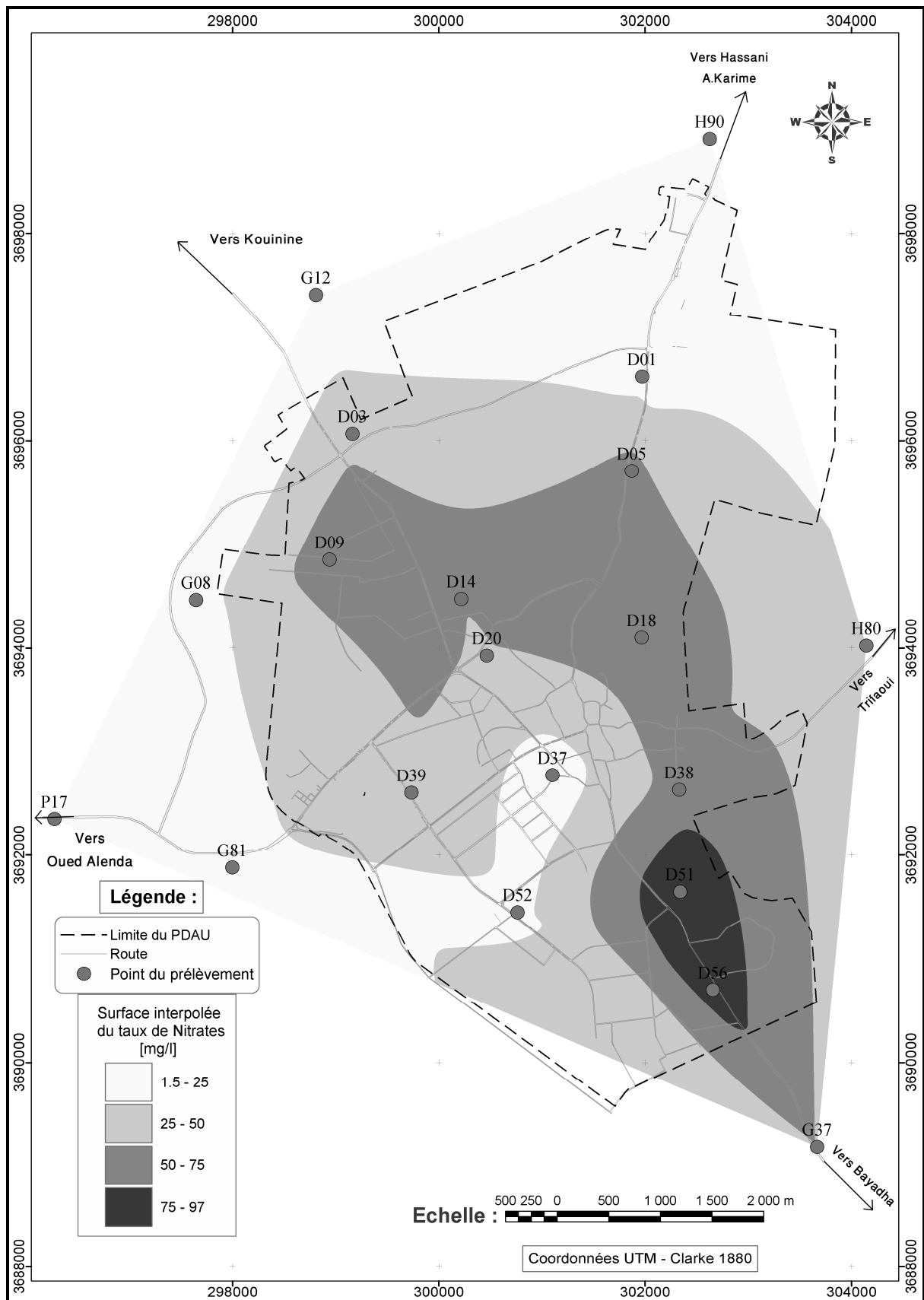


Fig.4.10- Carte des nitrates (Juillet, 2009)

élevées sont localisées à l'Ouest, au Sud-ouest et au Nord. Cette augmentation due à l'infiltration des eaux usées dans la nappe superficielle.

4.3.7.3. Bicarbonates

Les bicarbonates, ou hydrogénocarbonate, est un ion poly atomique dont la formule chimique est HCO_3^- . "Bicarbonate porte ce nom de par le caractère double de ses propriétés, il est à la fois acide et base appartenant à deux couples acido-basiques différents, on appelle cela une espèce ampholyte. À ne pas confondre avec les ions carbonates qui portent deux charges négatives. Il s'agit de la forme intermédiaire entre la déprotonation de l'acide carbonique : ôter le premier proton (ion H^+) de l'acide carbonique donne le bicarbonate ; ôter le second proton donnera la forme carbonate ionique.

Les concentrations des bicarbonates dans la zone d'étude varient entre 32.94 mg/l et 1305.40 mg/l. les fortes teneurs se localisent au centre de la zone d'étude.

9.3.7.4. Nitrates

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

L'examen de la carte des nitrates (Fig4.10) montre que dans le Sud-est et le centre de la zone d'étude les concentrations dépassent la norme (50 mg/l). La présence des nitrates dans les eaux souterraines est liée à l'utilisation des engrais chimiques, des eaux usées domestiques rejetées dans directement dans la nappe.

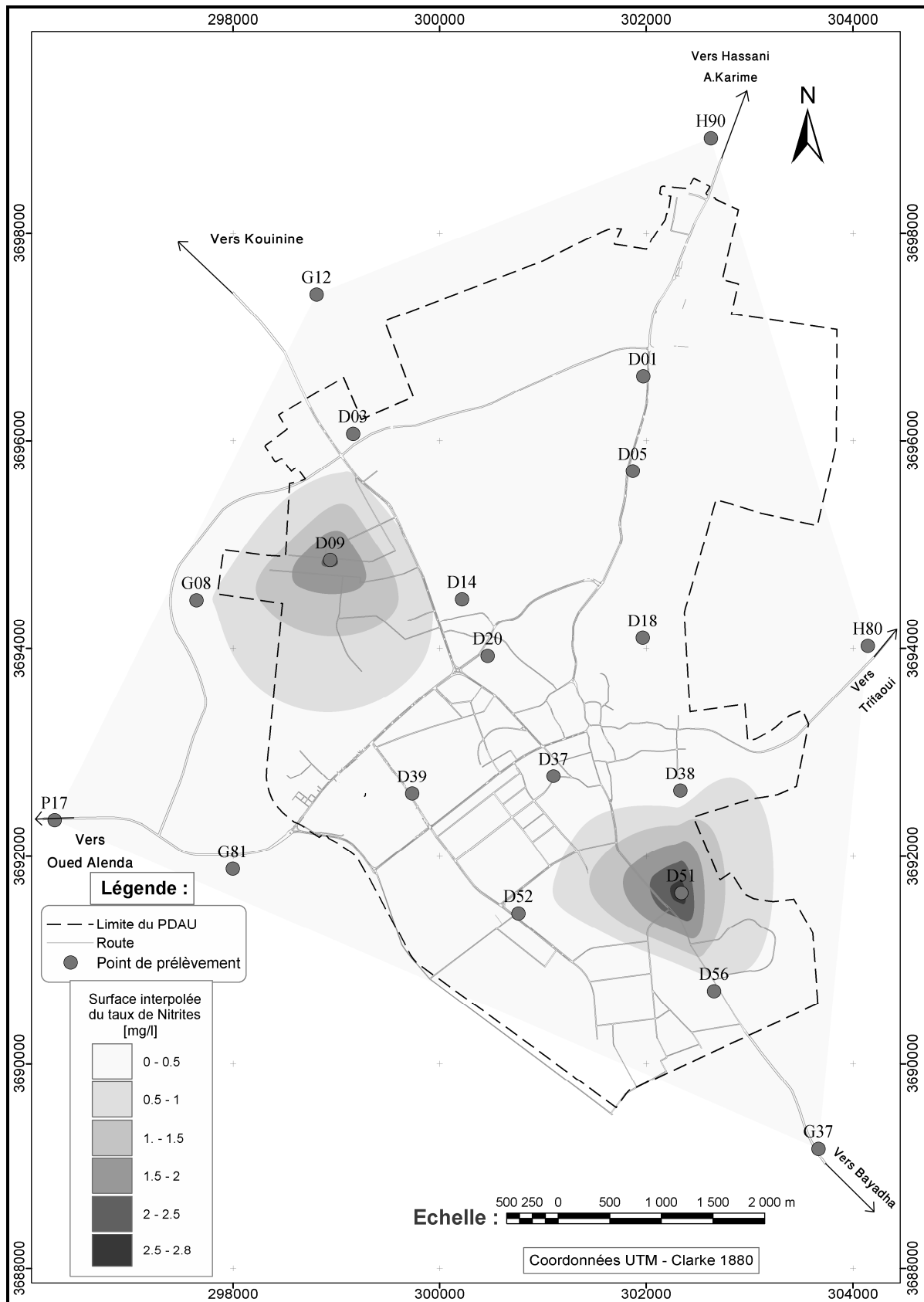


Fig.4.11- Carte des nitrites (Juillet, 2009)

4.3.7.5. Nitrites

Comme les nitrates, sont présents à l'état naturel dans les sols, les eaux et les plantes, mais généralement en faible quantité. Plus une eau est riche en nitrates, plus le risque est important pour l'homme de consommer des nitrites, car les nitrates se transforment en nitrites dans notre estomac par le phénomène chimique de la réduction (élimination d'oxygène). Une trop forte concentration de nitrites dans l'organisme peut provoquer des maladies graves (des cyanoses notamment), en particulier chez les nourrissons dont l'alimentation est constituée essentiellement de lait réhydraté. La consommation d'eaux trop riches en nitrates est, pour les mêmes raisons, fortement déconseillée aux femmes enceintes.

L'examen de la carte des nitrates (Fig4.11) montre que la majorité des valeurs de nitrites sont supérieures aux normes (0.1 mg/l).

4.3.7.6. Fluore

Le fluor (F) est le premier élément de la famille des halogènes et le plus réactif des tous les éléments chimiques. Le terme "fluorure" (ou "ion fluorure") désigne sa forme ionique (F⁻) et "fluorures" désigne les composés, organiques ou inorganiques, contenant du fluor.

Le fluor ne se présente pas à l'état élémentaire dans la nature, mais plutôt sous forme de fluorures que l'on retrouve partout : dans le sol, l'air et l'eau, de même que dans les plantes et les animaux.

Le fluorure est couramment ajouté à l'eau du robinet, particulièrement en Amérique du Nord, et utilisé dans les produits dentaires afin de prévenir les caries.

Les fluorures sont d'importants produits chimiques industriels à usages multiples. Les principaux usages concernent la production d'aluminium et de produits chimiques spéciaux utilisés dans la réfrigération et le conditionnement d'air au moyen des fluorocarbones, la fluoration de l'eau de boisson et la fabrication de produits de soins dentaires fluorés.

En quantités excessives, le fluorure peut entraîner la fluorose.

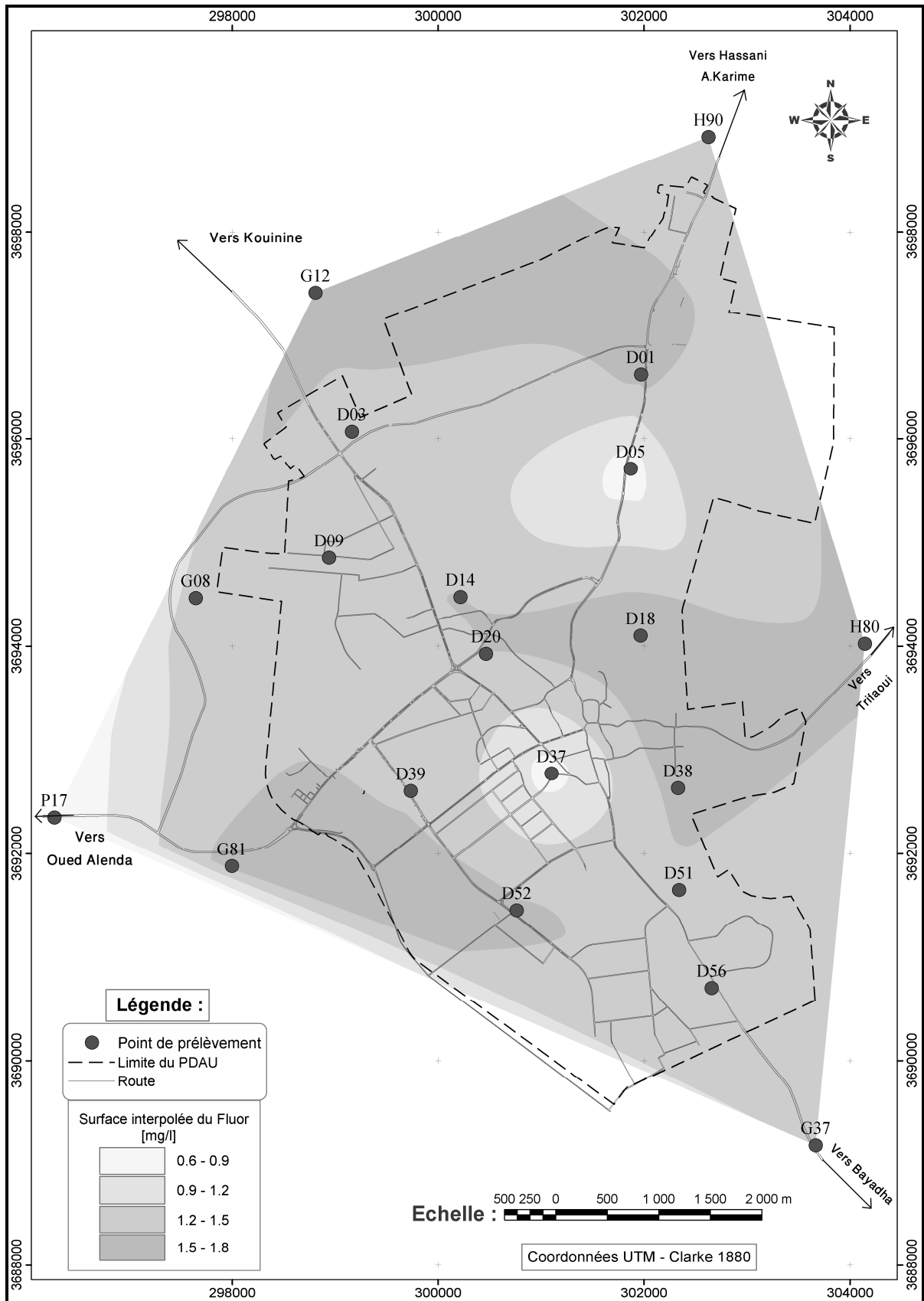


Fig.4.12- Carte du fluor (Juillet, 2009)

L'examen de la carte des nitrates (Fig4.12) montre que la teneur du fluor varie entre 0.57 mg/l et 1.83 mg/l

Les concentrations dans la plus part des zones inondées sont élevées.

4.3.8. Les métaux lourds

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

Le tableau ci-dessous (*Tableau.4.3*) récapitule le résultat des analyses des métaux lourds (Pb, Zn et Cu).

Tableau.4.3- Concentration en plomb, zinc et cuivre

Elements chimiques	Valeur Maximale (mg/l)	Valeur Moyenne (mg/l)	Valeur Minimale (mg/l)	Ecart type (mg/l)
Pb	0.11	0.07	0.04	0.02
Zn	1.07	0.51	0.08	0.37
Cu	2.75	1.14	0.20	0.84

4.3.8.1. Le Plomb

Le plomb est un métal lourd grisâtre présent naturellement en petites quantités dans la croûte terrestre. Le plomb est utilisé dans beaucoup de produits de consommation de sorte que nous sommes tous exposés par la nourriture, l'eau, l'air, les poussières et le sol.

Autrefois, on trouvait du plomb dans plusieurs produits, notamment dans l'essence, les peintures et les soudures des boîtes de conserve. Certaines composantes des canalisations d'eau potable peuvent également en contenir.

La carte de la répartition du plomb (Fig.4.13) montre que la quasi-totalité des eaux de la nappe phréatique sont contaminées par le plomb. Les zones inondées ont des concentrations varient entre 0.06 mg/l et 0.08 mg/l.

4.3.8.2. Le Zinc

L'objectif de qualité esthétique pour le zinc est $\leq 5,0$ mg/L. Le zinc est un élément essentiel qui n'est généralement pas considéré comme toxique. L'apport alimentaire de zinc suffit amplement à satisfaire l'apport quotidien recommandé. Du point de vue nutritionnel, l'eau potable n'est pas considérée comme une source importante de cet élément. L'eau renfermant des teneurs en zinc supérieures à 5,0 mg/L a tendance à être opalescente, à laisser une pellicule grasseuse après ébullition et à prendre un goût indésirable à cause de son astringence.

La carte de répartition du zinc (Fig.4.14) montre que la quasi-totalité des eaux de la nappe phréatique présentent des concentrations en zinc élevées sauf au Nord dans le puits G12 où le zinc présente une concentration inférieures aux normes admises (0.1 mg/l).

4.3.8.3. Le Cuivre

L'objectif de qualité esthétique pour le cuivre présent dans l'eau potable est de $\leq 0,05$ mg/L; cet objectif a été fixé pour assurer la palatabilité de l'eau et pour réduire au minimum les taches sur la lessive et les accessoires de plomberie. Le cuivre est un élément essentiel pour le métabolisme humain et il est bien connu que sa carence entraîne divers troubles cliniques, notamment l'anémie nutritionnelle chez les nourrissons. L'absorption de doses importantes de cuivre a des effets nocifs sur la santé, mais les concentrations auxquelles ces effets se manifestent sont beaucoup plus élevées que l'objectif de qualité esthétique.

La carte de la répartition du cuivre (Fig.4.15) montre que la quasi-totalité des eaux de la nappe phréatique sont contaminées par le cuivre. Cette

augmentation est due à l'utilisation des pesticides, des engrais chimiques et aux déversements des eaux usées.

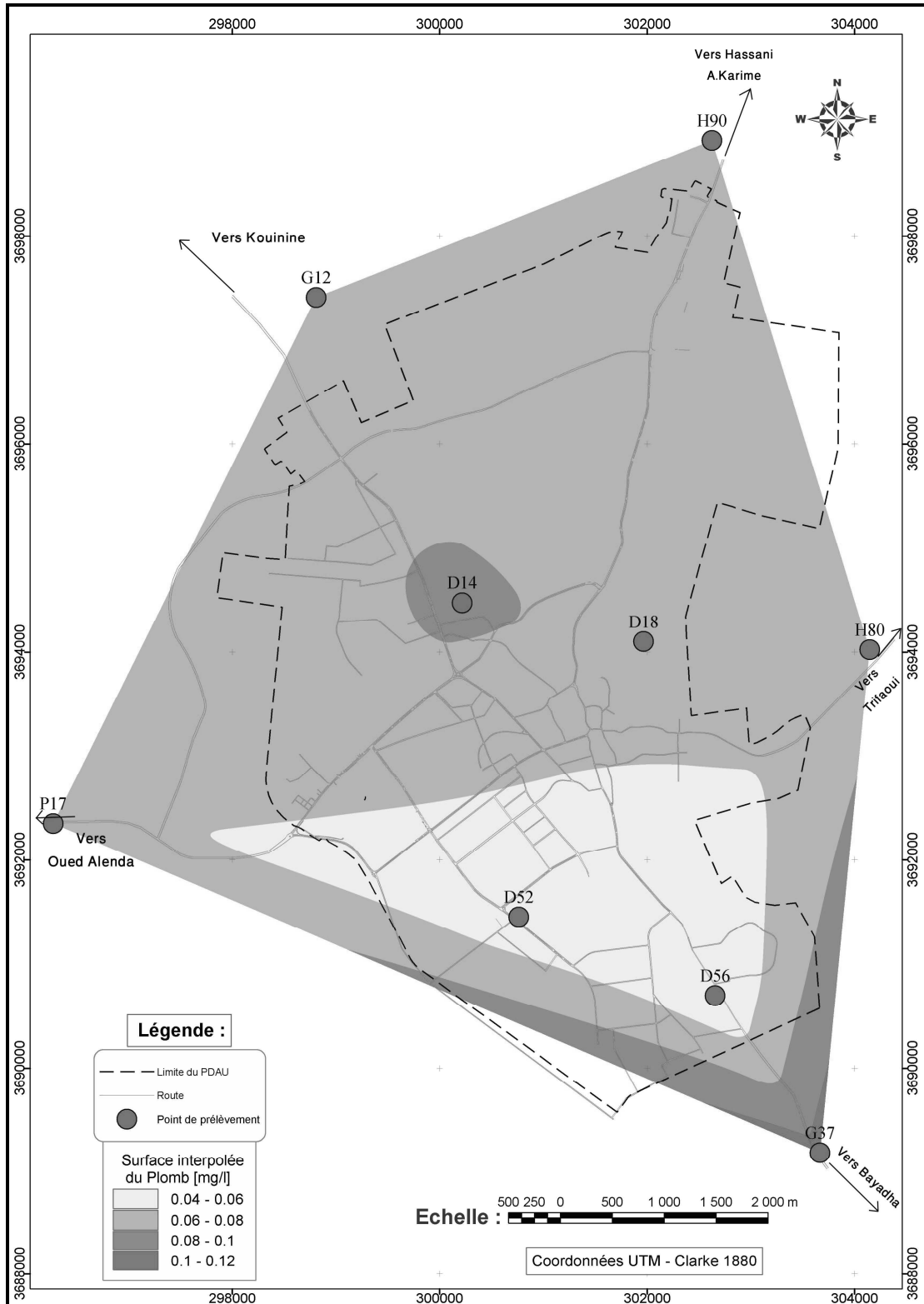


Fig.4.13- Carte de répartition du plomb (Décembre, 2009)

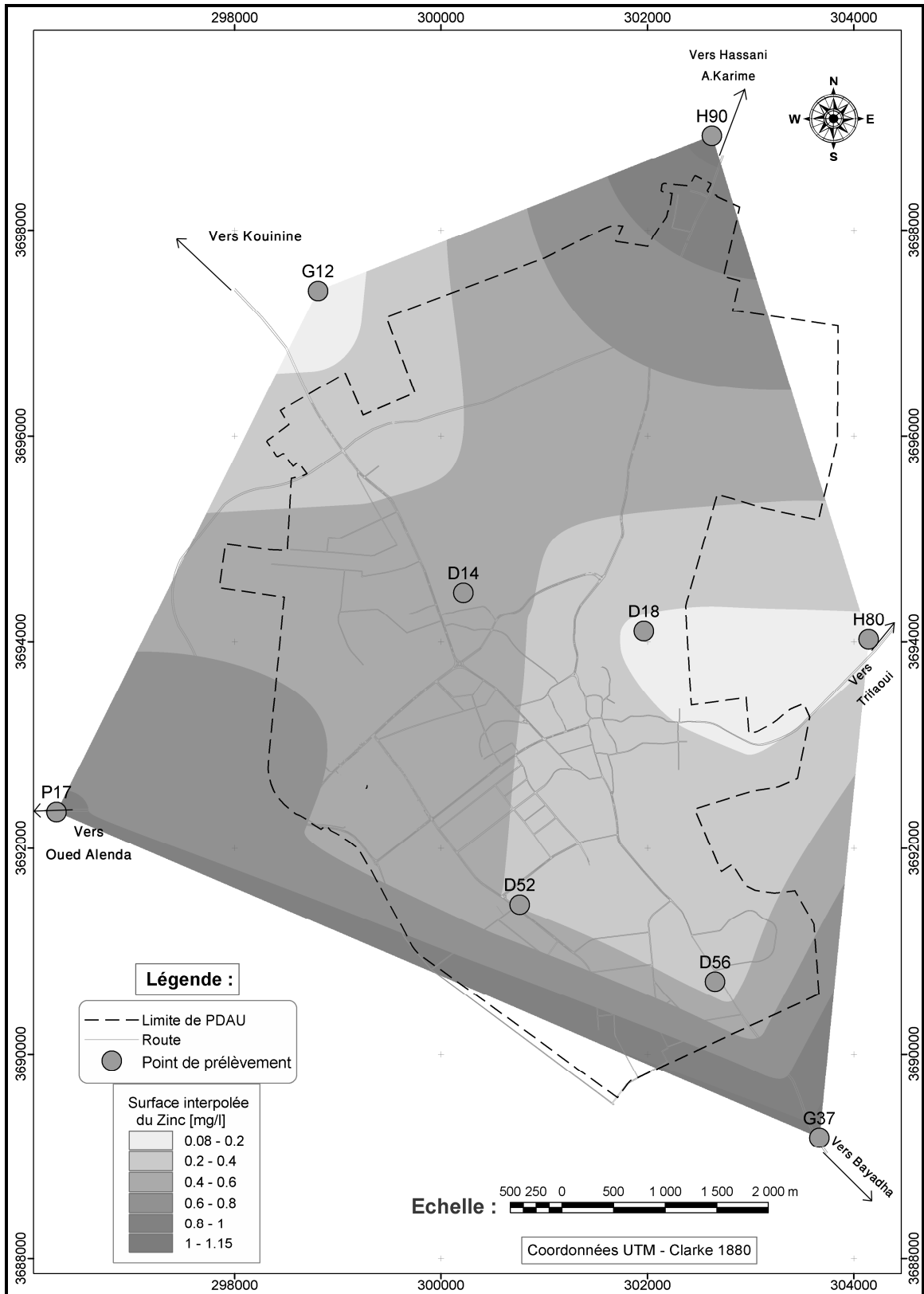


Fig.4.14- Carte de répartition du zinc (Décembre, 2009)

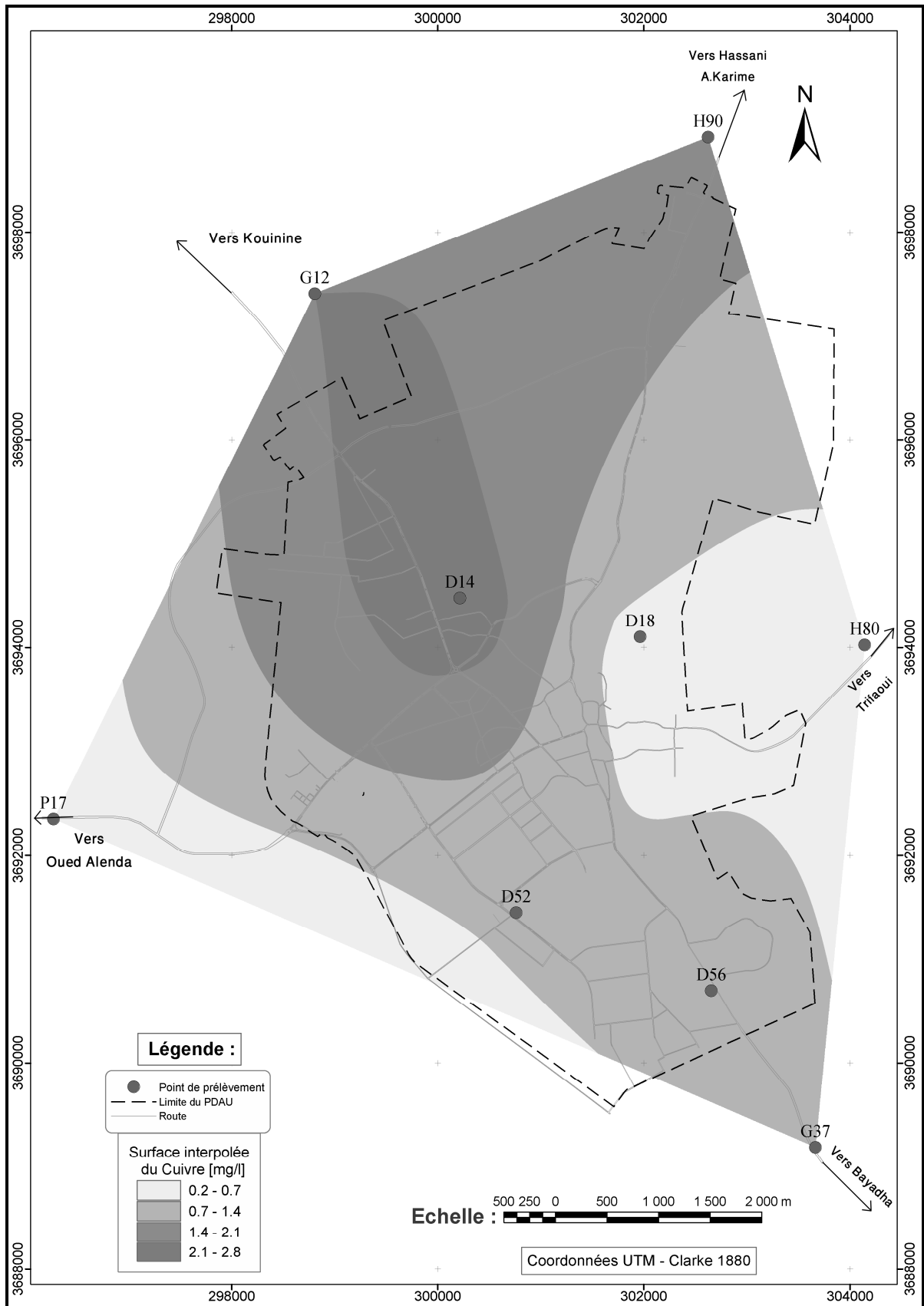


Fig.4.15- Carte de répartition du cuivre (Décembre, 2009)

4.4. CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES EAUX

4.4.1. Diagramme de PIPER

Le diagramme de Piper permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au total de ces ions (cations pour le triangle de gauche, anions pour le triangle de droite).

La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces deux triangles permet de préciser en premier lieu la dominance anionique et cationique. A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point intersection représente l'analyse globale de l'échantillon, sa position relative permet de préciser le faciès de l'eau concernée :

A partir du diagramme de Piper (Fig.4.16) nous remarquons que la plus part des eaux analysées à l'échelle de notre zone d'étude présentent un faciès sulfaté calcique en liaison avec la nature lithologique des terrains aquifères.

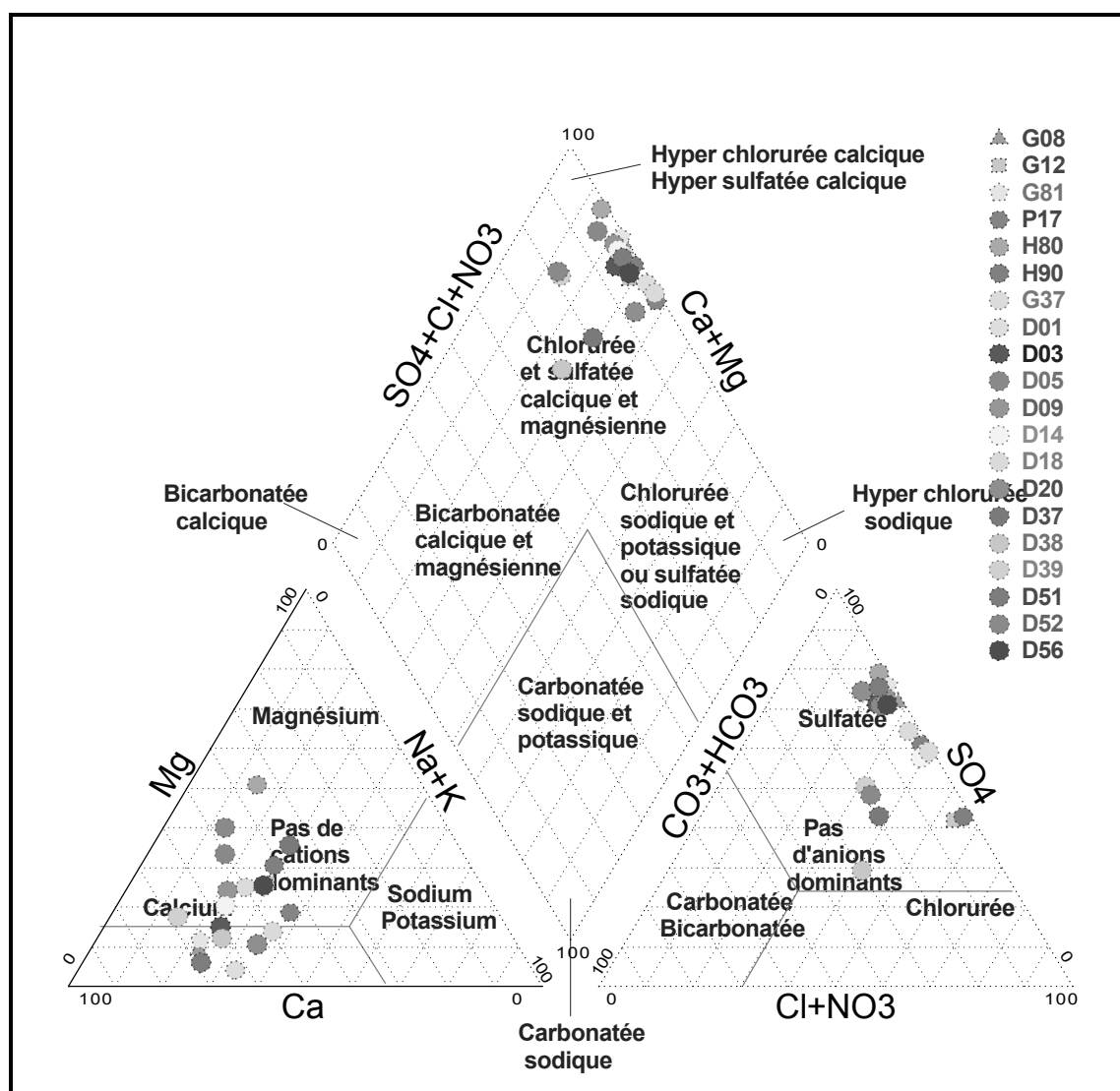


Fig.4.16- Diagramme de Piper pour les eaux (compagne Juillet 2009)

4.4.2. Diagramme de Diagramme Schoeler Berkaloff

Le diagramme de Schoeller Berkaloff permet la représentation de plusieurs analyses sur le même graphique. Il y a superposition des droites obtenues si les concentrations sont identiques et décalage relatif des droites les unes au dessus des autres dans le cas contraire.

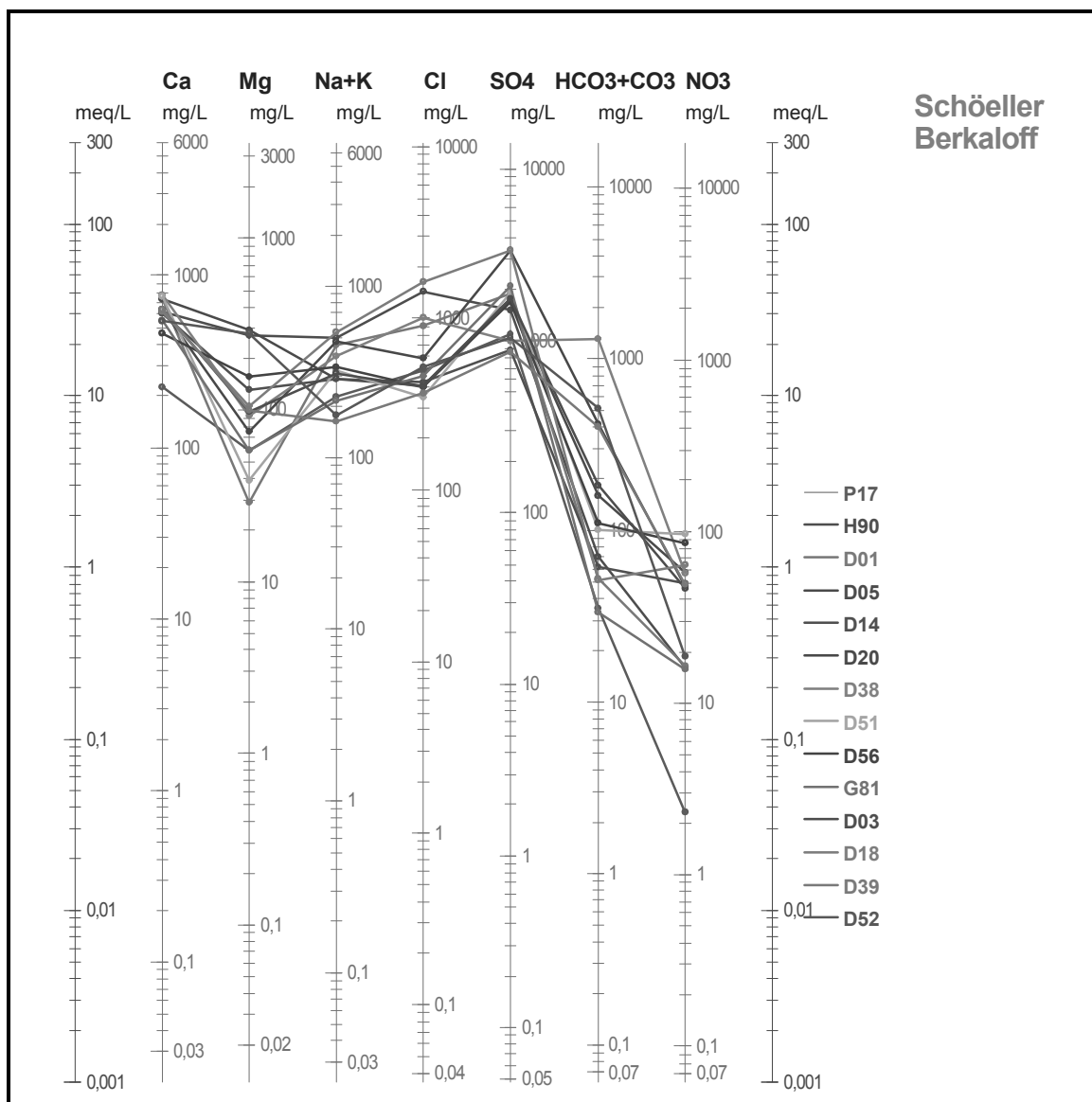


Fig.4.17- Diagramme de Diagramme Schoeler Berkaloff (compagne Juillet 2009)

D'après la figure 4.17, il est noté qu'il existe une grande variation entre les teneurs des eaux issues des puits de la nappe phréatique, mais en général on a le même faciès qui prédomine le sulfaté calcique.

4.4.3. Diagramme de Rivers.ide

Le diagramme de Riverside est construit en croisant le SAR calculé et la conductivité mesurée. Les points expérimentaux sont reportés dans le diagramme, et l'indice croisé Cn-Sn est obtenu.

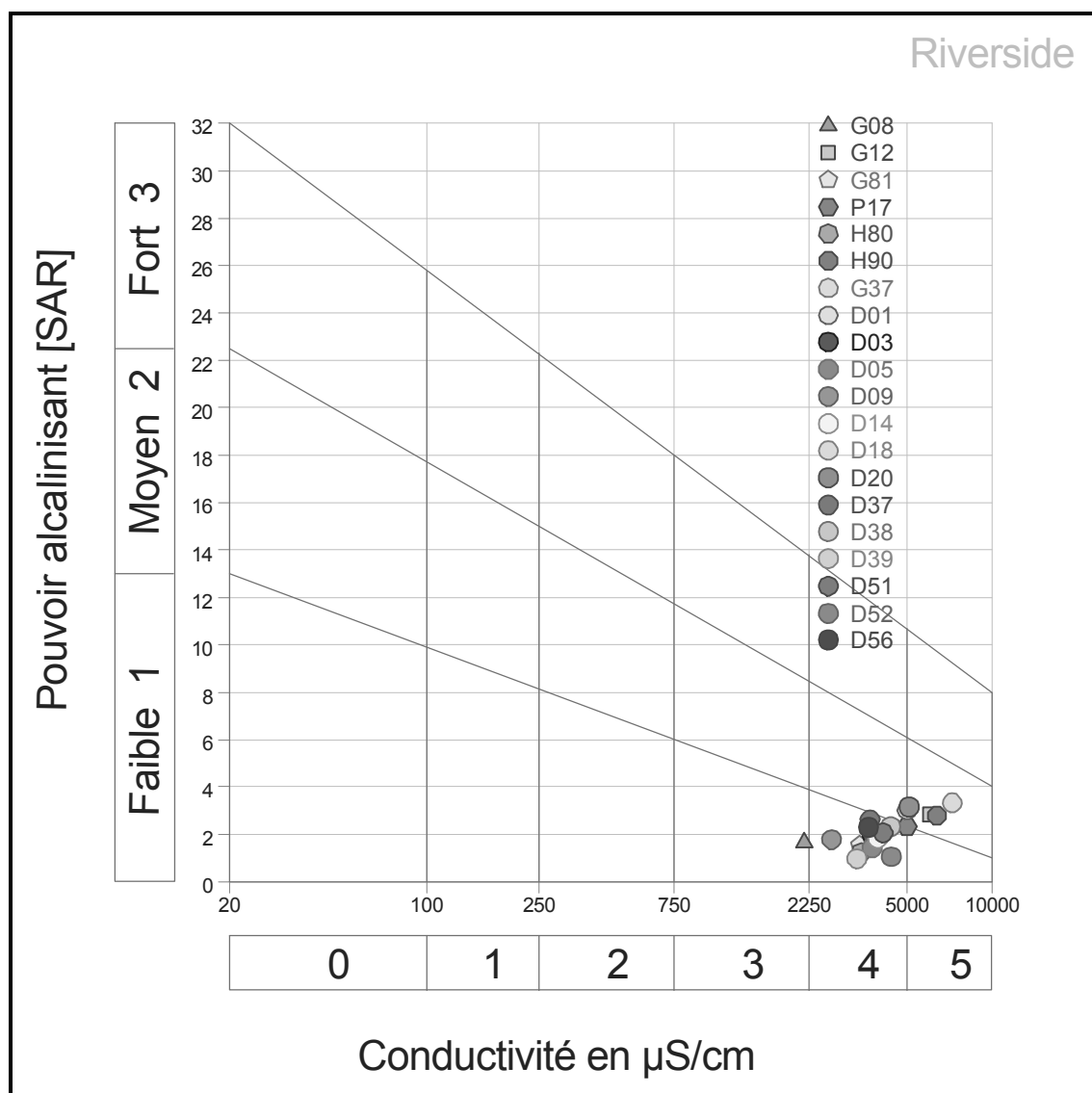


Fig.4.18- Diagramme rivers.ide pour les eaux de la zone d'étude

D'après le diagramme ci-dessus (Fig.4.18), on constate que les eaux ne conviennent pas à l'irrigation dans des conditions normales et peut être utilisée si les espèces ont une bonne tolérance à la salinité et le sol est particulièrement bien drainé.

4.5. CONCLUSION

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

L'étude de la qualité des eaux en question a montrée qu'elles sont non potables pour l'AEP et ne convient pas à l'irrigation dans des conditions normales et peut être utilisée si les espèces ont une bonne tolérance à la salinité et le sol est particulièrement bien drainé.

La zone noyée est caractérisée par des eaux ayant la plus mauvaise qualité chimique de la région, ce qui confirme leur origine d'eau usée.

Chapitre 5

Impact sur l'environnement

5.1. INTRODUCTION

La remontée de la nappe phréatique a causé un changement important sur l'environnement touchant essentiellement le secteur agricole et en particulier les palmeraies en cuvette, et d'autres secteurs comme la santé publique, le tourisme et la vie socio-économique des citoyens; ces problèmes écologiques ont plus ou moins influé négativement la région du Souf.

Dans l'attente de jours meilleurs, le Soufi passe ses nuits sous les moustiquaires, et rêve de solutions qui peuvent sauver ce qui reste du patrimoine ancestral.

Depuis d'une vingtaine d'années, les autorités débattent la crise hydraulique du Souf. Ce problème régional, 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.

5.2. IMPACTS DE LA REMONTEE DE LA NAPPE PHREATIQUE SUR L'ENVIRONNEMENT

5.2.1. Disparition des ghouts

En 2005, le dépérissement des palmiers plantés dans les cuvettes (ghouts) est à environ 1.5 m (*Fig.5.1 et tableau5.1*).

**Tableau .5.1- Récapitulatif des dégâts de la remontée des eaux (palmiers affectés)
(D.S.A, 2005)**

Commune	Nombre de palmiers totaux	Nombre de palmiers affectés	Pourcentage de palmiers affectés
EL Oued	17975	16178	90
Guemar	72300	10400	14
Reguiba	11700	5000	04
Taghzout	43000	6000	14
Ourmes	28000	0000	/
Kouinine	20400	9604	47
Robbah	26500	28175	95
Nakhla	75000	22500	30
Beiadha	35000	35000	100
EL Oglâ	20000	6000	30
Miha Ouenssa	60000	1037	02
Debila	59300	41510	70
Hassani Abdelkerim	51000	30600	60
Hassi Khalifa	65000	6500	10
Trifaoui	59750	4128	07
Magrane	55000	5500	10
Sidi Aoune	42600	3408	08
Total	742525	231540	591



Fig.5.1- Asphyxie des palmiers dattiers (Juin, 2009)

5.2.2. La salinisation des eaux d'irrigation et du sol

Dans le système actuel d'irrigation, les agriculteurs pompent dans la nappe la quantité d'eau qui leur semble nécessaire et les eaux excédentaires non utilisées par les cultures s'infiltrent sur place et rejoignent la nappe. Ces excédents ne sont pas inutiles et permettent d'entraîner hors de la zone racinaire les sels qui, autrement, s'accumuleraient peu à peu et interdiraient bientôt toute culture.

Vu à la grande évaporation des eaux stagnantes provoquées par la remontée des eaux, les terres agricoles sont devenues très salées, ce qui a diminué les surfaces cultivées et a contribué à la désertification. (*Fig.5.2*)



Fig.5.2- La salinisation du sol à la cité Choot (2009)

5.2.3. L'apparition des maladies hydriques

L'utilisation des eaux polluées des puits traditionnels dans l'irrigation et la consommation domestique provoquent l'apparition de plusieurs problèmes de santé publique, notamment les maladies à transmission hydrique (tableau 5.2).

Tableau .5.2- Répartition des cas des maladies à transmission hydrique dans les communes (Direction de la santé El Oued 2008)

Commune	2005			2006			2007		
	Typhoïde	Dysenterie amibienne	Hépatite virale	Typhoïde	Dysenterie amibienne	Hépatite virale	Typhoïde	Dysenterie amibienne	Hépatite virale
El Oued	49	00	00	41	00	00	18	02	01
Reguiba	24	00	00	40	00	00	61	00	00
Guemar	04	00	00	04	00	00	22	00	01
Taghzout	02	00	00	01	00	00	04	00	00
Bayadha	03	00	00	06	00	00	03	00	00
Robbah	00	01	00	05	00	00	00	00	00
Hassani A.Krim	00	01	00	01	00	00	01	00	00
Sidi Aoune	01	00	00	01	00	00	00	00	01
Magrane	01	00	00	01	00	00	21	00	00
Debila	00	00	00	05	00	00	03	00	00
Mih Ounsa	00	00	00	02	00	00	00	00	00
Trifaoui	00	00	00	02	00	00	00	00	00
Ourmes	00	00	00	00	01	00	01	00	00
Hassi Khalifa	00	00	00	01	00	00	16	00	00
Oued Allenda	00	00	00	00	01	00	00	00	00
TOTAL	84	02	00	110	02	00	150	02	03

5.2.4. Endommagement des constructions

Les dégâts causés par la remontée de la nappe phréatique ont aussi touché certaines constructions. Il y a des maisons qui ont été inondées par les eaux qui ont causé des psychoses à ses habitants et des pertes matérielles importantes dont le ramollissement et l'érosion des fondations et des murs sont construits au plâtre.

5.2.5. Le recul de tourisme

L'absence des touristes a détruit les industries traditionnelles et les activités commerciales et culturelles fortement liées au tourisme ce qui contraint les habitants à changer leurs activités vers d'autres plus rentables.

5.2.6. La prolifération des moustiques

Les eaux stagnantes provoquées par la remontée de la nappe phréatique à la surface du sol ont perturbé la vie quotidienne des "Soufi" à cause de la prolifération des moustiques et autres insectes qui ont rendu la vie nocturne un enfer.

5.3. SOLUTIONS PROPOSEES

On va essayer de résumer les solutions proposées et leur exécution qui est en cours de réalisation sur le terrain:

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

5.3.1. Mise en place d'un réseau d'assainissement

Le nouveau réseau d'assainissement de la vallée du Souf est constitué par différents ouvrages permettant la collecte des eaux usées par groupes de localités limitrophes dans des stations d'épuration (STEP) par lagunage aéré où elles subissent un traitement. A la fin de cette opération l'eau traitée est renvoyée vers le collecteur principal pour être rejetée à 70 Km au Nord de la vallée du Souf (*Fig.5.4*). Et Le groupement des agglomérations entrant dans le cadre de nouveau réseau d'assainissement est comme suit :

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

5.3.2. Mise en place des réseaux de drainage

5.3.2.1. Drainage horizontal

Au début des années 90 on a enregistré le démarrage des travaux de réalisation du réseau de drainage, qui est devenu opérationnel en 2001. Actuellement, seule la commune d'El Oued possède un réseau de drainage horizontal. Ce réseau du drainage est destiné essentiellement pour les zones touchées par l'inondation (cité Choot, El-coutar, Nazla et Sidi mestour).

Le réseau de drainage horizontal présente 4050 m de longueur, les collecteurs sont des conduites d'amiantes ciments perforées des trous. 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 (*Fig.5.3*), à partir de laquelle les eaux de drainage sont évacuées vers l'extérieur de la ville via une canalisation de 400 mm parallèle à celle des eaux usées.



Fig.5.3- La station de pompage des eaux de drainage horizontal

5.3.2.2. Drainage vertical

Le principe de drainage est de récupérer l'ensemble des eaux d'infiltration sous l'agglomération d'El Oued par 58 puits forés équipés de pompes immergées, d'utiliser une part aussi grande que possible de ces eaux sur place pour l'irrigation d'espaces verts, de collecter le solde des eaux au niveau de la station de pompage ST 10, puis de les refouler sur environ 4200 m jusque dans le collecteur des eaux usées traitées (CET), au point ET1 où ce dernier collecteur, en provenance de la station d'épuration STEP1 (Fig.5.4).

La nappe serait rabattue entre 5 et 10 m de profondeur, ce qui autorise l'assainissement autonome des zones non raccordables.

5.3.3. Épuration

Rappelons que les objectifs de l'épuration est de supprimer les nuisances et les risques actuels des contaminations au niveau des zones urbanisées, Préserver la qualité des eaux de la nappe phréatique et réutiliser et valoriser les eaux traitées. Pour cela, la filière d'épuration la mieux adaptée est le lagunage aéré ; les principales raisons sont :

- Espaces nécessaires disponibles dans la vallée.
- Coûts d'investissement et de fonctionnement inférieurs aux autres procédés.
- Filières adaptées pour des grosses collectivités.

- Facilité d'exploitation : fonctionnement de la station et gestion des boues.
- Fiabilité et souplesse du procédé d'épuration.

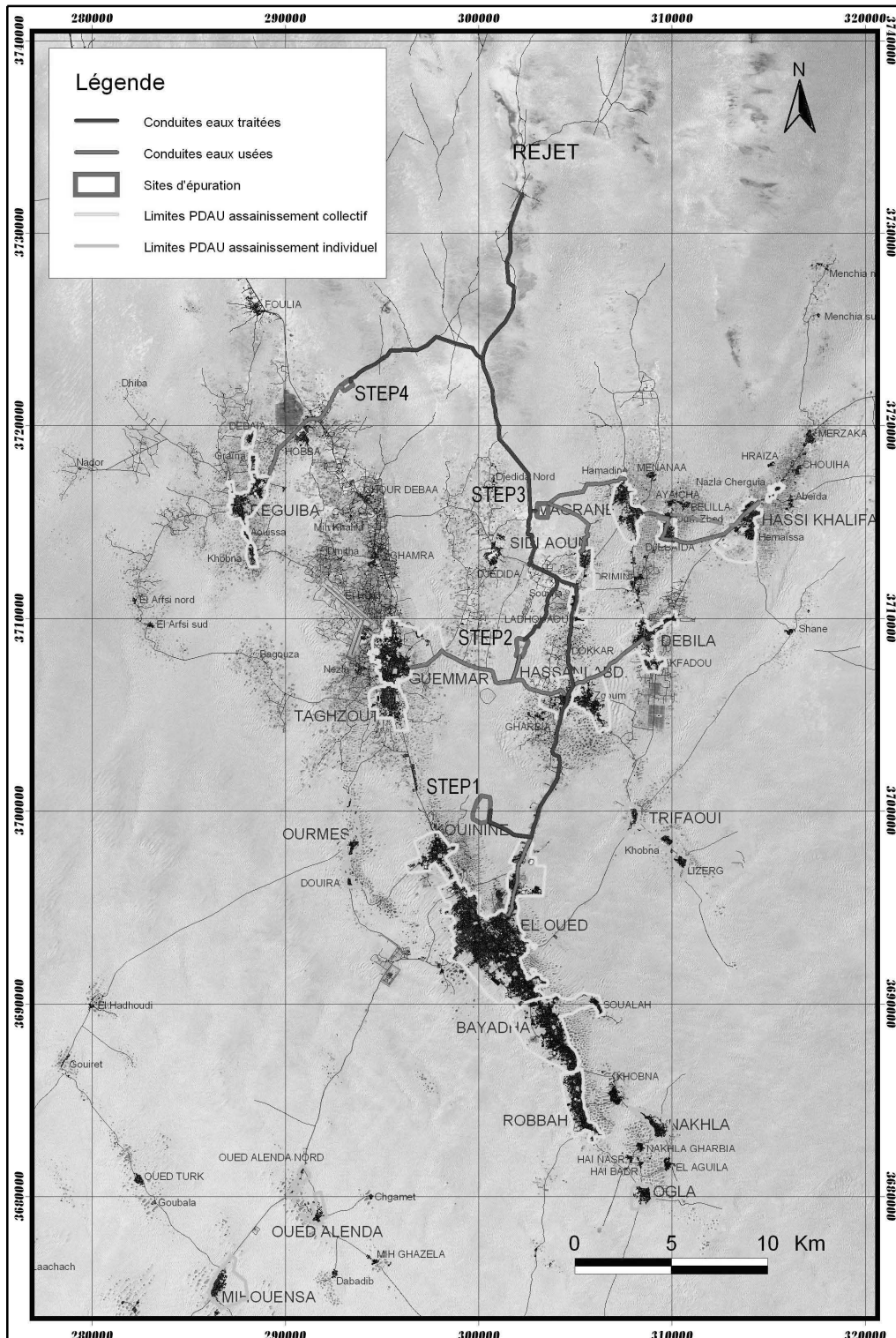


Fig.5.4- Schéma directeur d'assainissement de la vallée du Souf (Bonnard & Gardel, 2003b-2004c)

5.3.4. Traitement et aménagement des ghouts

Pour protéger les ghouts en zone agricole, la DHW et les services agricoles d'El Oued ont procédé à la réalisation des puits à l'intérieur des Ghouts pour pomper l'eau destinée à l'irrigation des cultures autour du Ghout. Ainsi, plus de 450 ghouts ont été sauvés.

Quelques ghouts inondés dans les zones urbaines dotées d'un réseau d'assainissement ont été également sauvés. La solution consiste à pomper l'eau des ghouts vers les réseaux d'assainissements. Concernant les ghouts qui sont au stade de dégradation très avancées, les autorités locales ont adopté comme solution provisoire le remblaiement afin de minimiser l'état dégradant de la pollution sur l'environnement de la ville.

5.3.5. Création d'une ceinture verte

La création d'une ceinture verte autour de la ville d'El Oued, constituée essentiellement d'arbres «Eucalyptus» irrigués au début de leur plantation par un réseau d'irrigation «goutte à goutte ». Ce type de plantation appelé «pompe biologique », puisque un seul arbre peut consommer 100 l/j.


5.3.6. Les mesures complémentaires

- Diagnostic et réhabilitation des réseaux d'AEP ;
- Pose de compteurs AEP (production, consommation) ;
- Tarification ;
- Sensibilisation des citoyens à l'économie de l'eau ;
- Pose de compteurs sur les forages agricoles ;
- Interdiction de l'irrigation à partir des forages AEP (CI / CT) ;
- Développer les superficies agricoles et les espaces verts irriguées à partir de la nappe phréatique.

5.5. CONCLUSION

Le phénomène de la remontée de la nappe phréatique connu dans la région de Oued Souf a causé un changement important sur l'écosystème de la région, en touchant plusieurs domaines tels que l'agriculture, la santé publique, le tourisme et la vie socio-économique des citoyens. Le principe des solutions proposées, est de traiter les causes directes de cette remontée. Pour cela :

- Il faut assurer l'absence d'impacts négatifs au niveau des exutoires de ces eaux résiduaires tant en terme de salubrité que de quantité ;
- Ces solutions doivent être adaptées au contexte durables, compatibles avec le développement de la vallée et économiquement acceptables ;
- Puisque la ressource en eau renouvelable est limitée et l'activité agricole, connaît un essor remarquable, il est important que ces eaux résiduaires puissent être réutilisées après un traitement adéquat.



*Conclusion
générale*

CONCLUSION GÉNÉRALE

La ville de Oued Souf, la commune la plus agglomérée, est le chef lieu d'El Oued, l'une de principales oasis du Sahara septentrional Algérien dans l'Erg oriental. Elle se trouve au Sud-Est de l'Algérie à environ 700 Km au Sud-Est d'Alger et à 350 Km à l'Ouest de Gabes (Tunisie). Cette région a une altitude moyenne de 82 m.

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

Les seules ressources hydriques disponibles dans cette région sont les nappes d'origine souterraines.

Au cours des trente dernières années, la situation de la ville de Oued Souf est caractérisée par un important développement urbain, une importante augmentation de la population et une extension des zones industrielles et des terrains agricoles, donc de nouvelles utilisations sont venues s'ajouter à l'usage de l'eau. Pour répondre aux besoins croissants de l'eau, l'exploitation et l'utilisation des eaux des nappes profondes (Complexe Terminal et Continental Intercalaire) ont été nécessaires disant obligatoires. Mais, la surexploitation des eaux de ces nappes profondes a provoqué un énorme problème inattendu, celui de la remontée des eaux souterraines en surface.

Suite à la remontée des eaux souterraines en surface, des habitations se sont endommagés, des fissures préjudiciables se sont apparues dans plusieurs maisons, notamment au niveau des quartiers Sidi Mastour, Nezla et Choot. Plusieurs familles ont du être transférés vers d'autres lieux par peur d'effondrement de leurs maisons.

Conclusion générale

L'étude piézométrique a montrée l'existence de dômes et de dépressions piézométriques. Ces dernières sont le siège d'une remontée des eaux souterraines accentuée surtout par le déversement des eaux usées. Ceci est confirmé par la qualité chimique des eaux de la région. En effet, les zones de remontées sont caractérisées par des eaux de mauvaise qualité par apport au reste de l'aquifère.



Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

- ANRH, 1993. Coupe lithologique du forage F1. Direction régionale de Ouargla. Algérie.
- ANRH, 2005. inventaire des forages d'eau de la wilaya d'El Oued. La Direction régionale Ouargla. Algérie.
- 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.
- BEL F., & Cuche D., 1969. Mise au point des connaissances sur la nappe du Complexe Terminal ; ERESS. Ouargla. Algérie. 20p.
- BEL F., & Demargne F., 1966. Étude géologique du Continental Terminal ; DEC, ANRH, Alger, Algérie, 24 planches. 22p.
- BRL-BNEDER, 1999. Etude du plan directeur générale de développement des régions sahariennes. Alger. 63p.
- Bonnard & Gardel, (Février) 2002a. Vallée du Souf. Étude 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. Ministère des ressources en eau. Alger. Algérie.36p.
- Bonnard & Gardel, (Février) 2002b. Vallée du Souf : Étude 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. Ministère des ressources en eau. Alger. Algérie. 58p.
- Bonnard & Gardel, (Août) 2002c. Vallée du Souf. Étude 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. Ministère des ressources en eau. Alger. Algérie. 65p.

- Bonnard & Gardel, (Mai) 2003. Vallée du Souf. Étude d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission II A essais de pompage. Ministère des ressources en eau. Alger. Algérie. 65p.

- 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.

- 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.

- Dubief J., 1959. Le climat du Sahara. Mém. Hors série. instituts de recherches Sahariennes, 1, 312p. Université d'Alger.

- Dubief J., 1963. Le climat du Sahara. Mém. Hors série. instituts de recherches Sahariennes, 2, 275p. Université d'Alger.

- G-De.Marcily ., 1981. Hydrogéologie quantitative. Edition Masson. Paris. 215p.

- 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.

- UNESCO, 1972a. Projet ERESS: Étude 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. Étude des ressources en eau du Sahara septentrional. Rapport sur les résultats du projet, UNESCO, Paris. 78p.

- Voisin A.R., 2004. Les Souf monographie, Edition El-Walid, El Oued-Algérie. 319 p.

Annexes

Tableau. A.1- Piézométrie de la nappe phréatique (Mai 2008 et Mai 2009)

Propriétaire / Localisation	N° du Point d'eau	Coordonnées UTM Clarke 1880		Altitude (m)	Profondeur du niveau statique (m)	
		X	Y		Mai 2008	Mai 2009
BELAID	G08	297645.00	3694464.00	74.63	3.60	3.75
GHARBI A. MADJID	G12	298808.00	3697410.00	66.95	2.50	2.71
Station d'essence BEN BARDI	G81	297997.00	3691880.00	80.39	6.20	6.31
Route de Touggourt	P17	296274.40	3692349.00	92.21	14.90	14.70
BEYA ALI	H80	304144.00	3694023.00	73.96	9.75	9.98
MAAMRA MESSAOUD	H90	302623.60	3698915.00	72.3	5.60	5.49
APC BAYADA	G37	303666.00	3689185.00	82.36	8.60	8.35
Ghout SAHANE	S01	302615.54	3691994.13	70.39	-0.95	-1.20
Choott	C01	301160.32	3695203.77	64.52	-0.45	-0.40
Choott	C02	301084.17	3695597.73	64.26	-0.70	-0.80
Choot	C03	301100.37	3695807.44	64.11	-0.80	-0.88
Château d'eau chott	D01	301968.70	3696621.38	74.2	4.95	4.02
École Hazla Tahar	D02	301750.82	3696111.35	73.87	5.62	4.89
CM Tksept Nord	D03	299162.67	3696067.37	74.8	7.13	7.04
Complexe sportif Tiksept	D04	299190.00	3695750.00	75.75	6.94	6.88
Parc Wilaya	D05	301868.62	3695710.67	76.15	9.15	8.40
ST1 Tiksept	D06	299503.46	3695415.65	76.02	4.62	5.11
Lycée Tiksept	D07	299407.64	3695094.86	76.91	4.51	4.69
École Ferhat Ben Amara Tiksept	D08	299807.22	3694969.33	75.59	3.42	3.56
École nouvelle Tiksept ouest	D09	298939.31	3694850.67	79.45	6.37	6.35
Château d'eau El Gara	D10	299803.90	3694674.57	76.94	3.55	3.68
École El gara est	D11	300259.41	3694719.18	73.05	2.22	2.26
Direction El Moudjahidine	D13	301008.60	3694585.54	66.42	0.79	0.83
CM Tksept Est	D14	300215.12	3694473.90	73.89	2.40	2.39
École pratique Ali Ayadi	D15	299621.10	3694205.77	79.01	4.41	3.98
Mosquée El Kautar	D17	301085.67	3694108.35	70.34	1.88	1.55
CM Ghendire Omar	D18	301964.77	3694100.74	68.3	1.62	1.75
École Djebeli Djbeli	D19	300657.20	3694003.18	76.25	6.48	6.53
Hôtel Louss	D20	300463.06	3693926.22	69.57	-0.30	-0.40
Nazla Mehria	D21	301614.01	3693782.90	72.64	3.76	3.35
Annexe centre uni El Oued	D23	299322.30	3693745.35	80.87	4.81	4.11
DTP	D25	300683.31	3693511.99	79.07	5.46	5.11
Direction éducation (service p)	D27	300265.86	3693473.52	80.15	5.83	5.47
Souk	D29	301688.58	3693356.45	73.36	2.30	1.85
Château d'eau Sidi Mestour	D32	302373.47	3693286.29	70.33	0.43	0.41
ADE centre ville	D34	300940.78	3693170.57	80.81	6.56	5.41
ST3	D35	299617.02	3693170.07	78.9	2.50	2.16
ST 400logements	D36	300570.70	3692922.98	79.66	3.50	2.70

CFPA 3	D37	301099.26	3692773.55	80.31	5.26	4.20
CM Bachir Djab Alah	D38	302327.70	3692632.31	71.6	3.89	3.38
École Mouhamed Serouti	D39	299732.34	3692603.67	84.02	7.45	7.23
École Ouinissi El Hachemi	D41	301654.93	3692665.43	78.61	7.55	7.51
Château d'eau 300 logements	D42	300827.58	3692571.42	88.78	12.68	11.80
École 300 logements	D46	300676.19	3692148.17	87.2	11.00	10.36
Annexe c uni El Oued Sahane	D47	301319.54	3692206.56	84.1	8.50	7.86
École Essaghaire Mouldi 1	D48	301459.31	3691779.63	80.43	2.90	3.53
Conservation des Forets	D49	300500.69	3691766.95	89.46	13.85	13.16
Cimetière Sahane 1	D50	301948.40	3691704.98	78.61	3.60	2.75
École Maragni Kalifa Sahane 1	D51	302338.15	3691647.24	79.33	5.92	5.46
DHW	D52	300762.06	3691450.00	92.13	15.30	15.17
École Kina El Aich	D53	301927.28	3691220.61	80.32	4.50	4.37
Mosquée Sahane 2	D54	302475.58	3691120.03	78.55	4.48	3.99
Résidence Universitaire	D55	302040.85	3690862.76	77.12	4.30	3.90
École Touati Ahmed Moustapha 1	D56	302653.43	3690698.26	79.45	5.32	5.21
École Mirhouet Ali Ouled Touat	D57	303214.34	3690502.62	78.65	6.42	6.08
École Bekakra Ben Ali	D58	302460.08	3690346.14	75.93	3.88	3.00
Choott	C04	301444.04	3694700.36	64.99	0.45	0.50
Choott	C05	301163.17	3694857.25	65.50	0.48	0.45
Sidi Mestour	S02	302366.17	3693175.59	69.51	0.41	0.45
Nazla	N01	301542.44	3694290.21	65.10	0.80	0.80
Choott	C07	301501.24	3694935.95	64.58	0.42	0.40
Choot	C06	300954.89	3695064.28	65.92	0.35	0.44
Choott	C08	300983.44	3695729.51	64.33	-0.58	-0.60

Résumé :

La région de Oued Souf est confrontée au phénomène de la remontée des eaux depuis plusieurs années et qui prend sans cesse de l'ampleur chaque année.

Ce phénomène a pris des dimensions très alarmantes durant les vingt dernières années. L'utilisation des eaux des nappes profondes (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 usées, sont les principales causes de ce déséquilibre écologique. Contribuant au dépérissement des palmiers, l'inondation des (Ghouts), entraîne des conséquences néfastes tant sur les plans de l'environnement, de l'agriculture, de l'économie et de la santé de la région de Oued Souf.

La piézométrie a montré qu'au niveau des zones de remontée d'eau souterraines, correspondent des dépressions piézométrique ce qui a favorisé l'accumulation et surtout des eaux usées.

La chimie des eaux a confirmé cette hypothèse puisque qu'à ce niveau, les eaux sont de très mauvaise qualité chimique.

Summary

The area of Oued Souf has been confronted with the phenomenon of the upwelling of water for several years and without almost any cease to become more extensive each year.

This phenomenon took very alarming dimensions the last twenty years. The use of the deep layers water (the Continental intercalary and the Final Complex) in an excessive way considerably increased the volume of the water input, as well as the absence of a natural discharge system for the rejections of wastewater, are the principal causes of this ecological imbalance. Contributing to the deterioration of the palm trees, the inundation of (Ghouts) causes mortal consequences at the level of environment, agriculture, the economy and the health of Oued Souf area.

Piezometry revealed that groundwater zone upwelling, corresponds to piezometric depressions which led to water accumulation, especially wastewater.

Water chemistry has complied with the above hypothesis in reference to the fact that waters have a very poor quality at this level.

Key words: Water, layer, upwelling, Oued Souf, Environment, Solution.

ملخص

إن منطقة وادي سوف تواجه ظاهرة صعود المياه منذ عدة سنوات بصفة مستمرة و متزايدة. و قد أخذت ظاهرة صعود مستوى مياه الطبقة الحرة 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 اختلالا في التوازن البيئي الذي تسبب في خسارة واحات النخيل و غرق الغيطان مما جر إلى نتائج جد ضارة على المستوى البيئي و الفلاحي و الاقتصادي و الصحي لمنطقة سوف.

متابعة المستويات البيزومترية بينت أنه على مستوى مناطق صعود المياه السطحية الموافقة للمنخفضات البيزومترية التي تسببت في تجميعها وخاصة المياه المستعملة. كيمياء المياه أثبتت هذه الفرضية لأنه إلى غاية هذا المستوي المياه المستعملة هي ذات نوعية كيميائية سيئة جدا.

الكلمات المفتاحية: الماء، الطبقة، صعود، وادي سوف، البيئة، حلول.