

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJI MOKHTAR ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



جامعة باجي مختار عنابة

Année : 2014

Faculté des Sciences de la Terre
Département de Géologie

Thèse

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences

**Perspective et méthode de la gestion
intégrée des ressources en eau dans une
zone hyper-aride. Application sur la
vallée d'Oued-Souf (Sud-Est algérien)**

Option : Hydrogéologie

Par

KHECHANA Salim

(Ingénieur d'Etat en Hydrogéologie. Magister en Hydrogéologie)

DIRECTEUR DE THESE : Mr. DERRADJI El-Fadel Pr, Univ. BADJI Mokhtar Annaba

Soutenue publiquement le 10 septembre 2014

DEVANT LE JURY:

PRESIDENT:	Mr. KHERICI Nacer	Pr, Univ. BADJI Mokhtar Annaba
EXAMINATEURS :	Mr. ZOUINI Derradji	Pr, Univ. BADJI Mokhtar Annaba
	Mr. KACHI Slimane	MCA, Univ. 08 Mai 1945 Guelma
	Mr. MAOUI Ammar	MCA, Univ. 08 Mai 1945 Guelma
	Mr. DJIDEL Mohamed	MCA, Univ. KASDI Merbah Ouargla

REMERCIEMENTS

Je remercie en premier lieu Dieu tout puissant pour m'avoir donné la force et la volonté d'accomplir ce modeste travail.

Je voudrais tout d'abord d'exprimer toute ma reconnaissance à Monsieur **DERRADJI El Fadel** Professeur à l'université d'Annaba pour leurs encadrements, ses remarques pertinentes et ses suggestions qu'ont permis l'amélioration de la qualité de ce travail.

Je voudrais également exprimer mes vifs remerciements aux membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en acceptant de participer au jury, en l'occurrence :

Mr. KHERICI Nacer, Pr, Université de BADJI Mokhtar Annaba;

Mr. ZOUINI Derradji, Pr, Université de BADJI Mokhtar Annaba;

Mr. KACHI Slimane, MCA, Université de 08 Mai 1945 Guelma;

Mr. MAOUI Ammar, MCA, Université de 08 Mai 1945 Guelma;

Mr. DJIDEL Mohamed, MCA, Université de KASDI Merbah Ouargla.

Je tiens à exprimer mes très vifs remerciements à tous mes enseignants du département de géologie de la Faculté des Sciences de la Terre de Annaba et de Tebessa auxquels je dois beaucoup pour ma formation en hydrogéologie.

J'exprime ma profonde gratitude à tous mes collègues de l'université d'El Oued, de Tebessa et de Annaba.

Nombreuses sont les personnes qui m'ont aidé durant l'acquisition des données et la préparation de ce travail, mais je voudrais adresser mes remerciements plus particulièrement à :

- **A. MOULATI** Hydrogéologue au CRD SONATRACH ;
- **A. GHALI**, DRH d'El-Oued ;
- **A. TARFI**, DRH d'El-Oued ;
- **I. ZAIZ**, DRH d'El-Oued ;
- **A. HAMIDI**, ONM de Guemar.
- **A. MOUSSAOUI, S. BAHI et A. MESGHOUNI**, ingénieurs en Hydraulique.

Pour tous ceux qui ont apporté leur aide de près ou de loin à la réalisation de ce document, je dis merci.

ملخص

الماء ضروري لحياة الإنسان ونشاطاته الفلاحية، الصناعية والمنزلية، كما كان في كل الأزمنة سببا في التنمية الاجتماعية، الاقتصادية والسياسية. بالنسبة لنشاطات الأفراد يعد هذا المورد ضرورة ملحة على كل الأصعدة، التقنية، الصحية، النوعية والكمية. من جانب آخر، الماء ضروري لتشغيل أنظمة البيئة الأرضية. بسبب أهميته، يشكل الماء الرهان الأول للتنمية المستدامة للحضارة الإنسانية، لذلك تعد موارد المياه، تسييرها ونفادها في العالم الرهانات الحاسمة للقرن الواحد والعشرون.

مع الأسف، كثير من المناطق الجزائرية، خاصة تلك التي تقع في الصحراء، تواجه اليوم جملة من المشاكل المرتبطة بالأبعاد الكمية والنوعية للموارد المائية والناجمة أساسا من صعود مياه الطبقة السطحية، والتي كان لها تأثير سلبي على الفلاحة والسكان. عموما، المياه الموجهة للشرب، السقي وكذا الاحتياجات الصناعية منشأها المياه الجوفية. من الناحية الكمية، هناك وفرة للمياه في الصحراء، وهذا بفضل وجود عدة أغوار مائية، لكن نوعية هذه المياه، في بعض النواحي رديئة.

في هذا العمل، سنقوم بتوضيح الحالة العامة والسابقة لتسيير هذا المورد في وادي سوف، كما سنكيف إستراتيجية جديدة للتسيير المندمج، تقوم أساسا على طريقة الأفاق، وهذا بعد حساب المخزون المائي المتوفر والطلب عليه من مختلف المستعملين، بألوية المنح المرتكزة أساسا على نهج تشاور وتعاون كل الأطراف الفاعلة في هذه الوحدة للمياه، بغية تنمية قطاع الري دون تدهور للبيئة ولا النظام الاجتماعي الاقتصادي.

الكلمات المفتاحية: وادي سوف، التسيير المندمج، طريقة الأفاق، نهج التشاور، النظام

الاجتماعي الاقتصادي.

Abstract

Water is essential for human life and its agricultural, industrial and domestic activities. Similarly, she describes it in all periods of its political, social, economic and technological development. The activities of individuals are requirements of all kinds, technical, health, qualitative and quantitative. Moreover, water is essential to the functioning of terrestrial ecosystems. Because of its importance, water is a key issue for sustainable development of human civilization, which is why the water resource, its management and its scarcity in the world are the most critical issues of the 21st century.

Unfortunately, in several Algerian regions, especially those located in the Sahara, today are faced to water's quantity and quality problems, mainly due to the rising water from aquifers, which are harmful to agriculture and homes. In general, water intended for drinking water and irrigation, as well as those intended for industrial purposes, mainly from groundwater. Viewpoint quantity, water in the Sahara is generally available, thanks to important aquifers, particularly in low Sahara (northern Sahara); but the quality of the water in some areas is often poor.

In this work, we will clarify the general trend and situation of the management of this resource in Oued-Souf valley, and we will adapt a new management approach, based primarily on the method of perspective, after quantifying reserves availability and water demands for different users and priority-based allocation approaches to consultation and collaboration with all actors involved in this unit of water resources in order to develop the sector so has does not degrade the environment or socio-économique system.

Key words: valley of Oued Souf, integrated management, perspective method, engagement approaches, socio-économique system.

Résumé

L'eau est indispensable à la vie de l'homme et à ses activités agricoles, industrielles et domestiques. Même, elle le décrit à toutes les époques de son développement politique, social, économique et technique. Vis-à-vis de cette ressource, les activités des individus sont d'exigences de tous ordres, techniques, sanitaires, qualitatives et quantitatives. Par ailleurs, l'eau est indispensable au fonctionnement des écosystèmes terrestres. A cause de son importance, l'eau constitue un enjeu primordial de développement durable pour la civilisation humaine, c'est pourquoi la ressource en eau, sa gestion et sa pénurie dans le monde constituent les problèmes les plus cruciaux du 21^{ème} siècle.

Malheureusement, dans plusieurs régions algériennes, surtout celles situées au Sahara, sont confrontées aujourd'hui à des problèmes liées à des aspects quantitatif et qualitatif des ressources en eaux dues essentiellement à la remontée des eaux provenant des nappes phréatiques, qui sont néfastes pour les cultures et les habitations. D'une manière générale, les eaux destinées pour l'alimentation en eau potable et à l'irrigation, ainsi que celles destinées pour les besoins industriels, proviennent surtout des eaux souterraines. De point de vue quantité, l'eau au Sahara est généralement disponible et ce, grâce à d'importants aquifères, surtout au bas Sahara (Sahara septentrional); mais la qualité de cette eau, dans certaines régions est le plus souvent médiocre.

Dans ce travail, on va éclaircir la situation générale et tendancielle de la gestion intégrée de cette ressource dans la vallée d'Oued-Souf, et on va adapter une nouvelle approche de gestion, basé essentiellement à la méthode de perspective, après avoir quantifié les réserves disponibles et les demandes en eau pour les différents usagers et de priorité d'allocation basé sur des approches de concertation et de collaboration de tout acteur de l'eau intervenant dans cette unité de ressource hydrique, en vue de développer ce secteur de telle sorte a ne pas dégradé l'environnement ni le système socio-économique.

Mots clés : vallée de Oued-Souf, gestion intégrée, méthode de perspective, approches de concertation, système socio-économique.

LISTE DES ABREVIATIONS

ABHS: Agence de Bassin Hydrographique Sahara
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
B.G : Bonard et Guardel : bureau des études conseillé de projet.
CI: Continental Intercalaire
CT: Complexe Terminal
DE : Direction de L'environnement
DEM: Direction de L'Energie et des Mines.
DSA : Direction des Services Agricoles.
DRH : Direction des Ressources Hydriques.
GIRE : Gestion Intégrée de la Ressource en Eau.
OMS : Organisation Mondiale de la Santé.
ONA: Office National d'Assainissement.
ONM : Office National Météorologique.
SAU : Surface Agricole Utile.
SIG : Système d'Information Géographique
STEP: Station d'Epuration.
ZNS : Zone Non Saturée.

Table des matières

Remerciement	
Dédicace	
المخلص	
Abstract	
Résumé	
Liste des abréviations	
Table des matières.....	i
Liste des tableaux.....	vi
Liste des figures.....	vi
Liste des photos.....	ix
INTRODUCTION GENERALE	01

CHAPITRE I : PRESENTATION DU MILIEU

I. PRESENTATION DU MILIEU.....	03
I.1. Aperçu historique sur la région d'Oued-Souf	03
I.2. Caractéristiques géographiques	05
I.2.1. Situation générale	05
I.2.2. Situation économique	06
I.2.3. Répartition administratif et démographique	07
II. CADRE GEOLOGIQUE DE LA REGION D'OUED SOUF.....	10
II.1. Introduction.....	10
II.2. Stratigraphie régionale.....	10
II.2.1. Formation de l'ère Secondaire	10
II.2.2. Formations de l'ère Tertiaire	12
II.2.3. Formations du Quaternaire.....	13
II.3. Interprétation des coupes	15
II.4. Géomorphologie	17
II.5. Tectonique.....	20
II.6. Relief.....	20
III. Conclusion.....	21

**CHAPITRE II :
HYDROCLIMATOLOGIE**

I. INTRODUCTION.....	22
II. ETUDE DES PARAMETRES CLIMATIQUES	23
II.1. La pluviométrie	23
a) Evaluation mensuelle des pluies.....	23
b) Evaluation moyenne annuelle des pluies	24
II.2. La température	26
a) Les températures moyennes mensuelles.....	26
b) Les températures moyenne annuelles.....	27
II.3. Synthèse climatique.....	28
II.3.1. Diagramme pluviothermique	28
II.3.2 .Climagramme d’Emberger	29
II.3.3.L’indice d’aridité	32
II.4. L’humidité	32
II.5. Le vent.....	33
II.6. L’insolation	34
III. Calcul des paramètres de bilan hydrique.....	35
III.1. Evapotranspiration ou déficit d’écoulement.....	35
III.1.1 Calcul l’évapotranspiration potentiel (ETP).....	35
III.1.2 Calcul l’évapotranspiration réelle (ETR).....	36
III.2. Estimation de la réserve facilement utilisable (RFU)	37
IV- Etablissement de bilan.....	38
V- Conclusion.....	39

CHAPITRE III:

HYDROGEOLOGIE ET HYDRODYNAMIQUE

I. INTRODUCTION.....	41
II. PRESENTATION DES NAPPES AQUIFERES DE LA REGION D’ETUDE	41
II.1.Nappe Phréatique.....	42
II.2. Nappe du Complexe Terminal (CT).....	43
II.3. Nappe du Continent Intercalaire (CI).....	44

III. ESTIMATION DES RESERVES	46
IV. INVENTAIRE DES POINTS D'EAU.....	48
V. CARACTERISTIQUE HYDRODYNAMIQUE DE LA NAPPE DE CT	49
V.1. Expérimentations des pompages d'essais.....	49
V.2. Essais de pompage	49
V.1.3. Interprétation des données d'essai par pompage à long duré	50
V.4. Etude piézométrique de la nappe du CT	58
VI - LA REMONTEE DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE	64
VI.1. Principaux causes de la remontée des eaux de la nappe phréatique	64
VI.2. Solution envisagée	66
VI.2.1. Schéma d'assainissement	66
VI.2.2. Schéma d'épuration	66
VI.2.3. Schéma de drainage	67
VI.2.4. Schéma d'évacuation	68
VI.3. Les objectifs attendus de la nouvelle politique de gestion	68
VII. Conclusion.....	69

CHAPITRE IV
HYDROCHIMIE ET VULNERABILITE DES EAUX SOUTERRAINES

I. INTRODUCTION	71
II. Interprétation des résultats des analyses chimiques	71
II.1. Echantillonnage	71
II.2. Mode opératoire	72
II.3. Résultats et discussion.....	73
II.3.1. Les faciès chimique	73
II.3.2. Etude des rapports caractéristiques et origine des éléments dominants.....	75
a. Le couple Na-Cl	75
b. Origine de calcium	75
c. Le couple Ca-Mg	76
II.3.3. Aptitude des eaux à la potabilité	77
a. selon l'OMS	77
b. Selon le degré hydrotémitrique total (D.H.T)	78
II.3.4. Aptitude des eaux à l'irrigation	79
III. Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines	81

III.1. Mécanisme de pollution	81
III.1.1. Dans une nappe libre	81
III.2.2. Dans une nappe captive	81
III.2.3. Dans un aquifère fissuré	81
III.2. Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité	81
III.3. Hypothèses de la méthode DRASTIC	82
III.3.1. Paramètres DRASTIC	82
III.3.2. Indexation ou Système de cotation numérique	83
III.3.3. Calcul de l'indice « DRASTIC »	83
III.3.4. Interprétation de l'indice « DRASTIC »	84
III.4. Application de la méthode DRASTIC pour cartographier la vulnérabilité des eaux souterraines de la vallée de Oued-Souf	84
III.5. Description des paramètres et réalisation des cartes thématiques	84
III.5.1. La profondeur de l'eau (D)	84
III.5.2. La recharge nette (R)	87
III.5.3. Nature du milieu aquifère (A)	89
III.5.4. Type de sol (S)	89
III.5.5. Topographie (T)	89
III.5.6. Impact de la zone non saturée (I)	89
III.5.7. Conductivité hydraulique (C)	89
III.6. La carte de vulnérabilité	91
III.7. Discussions des résultats	93
IV. CONCLUSION	93

CHAPITRE V:

GESTION DES RESSOURCES EN EAU

I. INTRODUCTION.....	95
II. CONFRONTATION DES RESSOURCES-BESOINS EN EAU.....	96
II.1. Les ressources en eau	96
II.2. Les différents usages de l'eau	97
II.2.1. L'alimentation en eau potable (AEP).....	97
II.2.2. Les usages agricoles de l'eau (AEA)	98
II.2.3. Utilisation industrielle de l'eau (AEI)	100

II.3. Ressemblance des données ressources / besoins	102
II.3.1. Ressources.....	102
II.3.2. Besoins	102
II.4. Prévision	103
III. STRATEGIE POUR LA GESTION INTEGREE DE RESSOURCES EN EAU	106
IV. LES ACTIONS DE LA GESTION DES RESSOURCES D’EAU	107
IV.1. Institutions de gestion de l’eau	107
IV.1.1. Possibilités de développement des structures institutionnelles régionales	107
IV.1.2. La structure d’institution proposée.....	108
IV.1.3. Certaines tâches des services	110
IV.2. L’utilisation d’eau	111
IV.2.1. Pour le secteur agricole	111
IV.2.2. Pour l’eau potable	112
IV.2.3. Pour l’industrie	112
IV.3. Protection et développement des ressources.....	112
IV.3.1. Protection des ressources.....	112
IV.3.2. Développement des ressources	115
IV.4. Tarification de l’eau	116
IV.4.1 La structure de tarification dans la vallée de Souf.....	116
IV.4.2. Suggestions et recommandations	119
V. Conclusion.....	119
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS	121
Référence bibliographique	123
Annexes.....	I
Annexe .01.....	II
Annexe .02.....	III
Annexe .03.....	IV
Travaux scientifiques de l’auteur (2008-2013)	V

Liste des tableaux

Tab.I.1 : Surface et population de la vallée de Souf par commune.....	08
Tab.II.1 : Moyenne mensuelles interannuelles des précipitations (1976-2008).....	24
Tab.II.2 : Moyenne annuelle de précipitation (1976-2008).....	25
Tab.II.3 : Moyenne mensuelle interannuelle de température (1976-2008).....	26
Tab.II.4 : Moyenne annuelle de température (1976-2008).....	27
Tab.II.5 : Couples précipitation-température mensuelle interannuelle.....	29
Tab.II.6 : Classement en fonction de l'indice d'aridité (de Martonne).....	32
Tab.II.7 : Répartition moyenne mensuelle de l'humidité (1976-2008).....	33
Tab.II.8 : Répartition moyenne mensuelle de vitesse du vent (1976-2008).....	34
Tab.II.9 : Répartition moyenne mensuelle d'insolation (1976-2008).....	35
Tab.II.10 : Résultats de l'ETP issus de l'application de la formule de Thornwaite (1976-2008).....	36
Tab.II.11 : Bilan hydrique d'après Thornwaite (1976-2008).....	38
Tab.III.1: Récapitulatif des systèmes aquifères d'El-Oued.....	47
Tab.III.2 : Épaisseur moyen des différents aquifères et estimation de la réserve	47
Tab. III.3 : Calcul de débit spécifique : Valeurs débits /rabattements F 87 (-El-Houd).....	50
Tab. III.4 : Calcul de débit spécifique : Valeurs débits /rabattements F 58 (Hammadine)...	53
Tab. III.5 : Calcul de débit spécifique : Valeurs débits /rabattements Forage F31 Soualah	55
Tab.III.6: Récapitule des résultats des paramètres hydrodynamiques pour les 03 sites d'essai	57
Tab.III.7: Niveau piézométrique de la nappe du CT.....	58
Tab.III.8: Niveau piézométrique moyen de la nappe du CT (max et min).....	59
Tab.III.9. Nombre des forages à l'arrêt et abandonnés par commune	62
Tab.III.10 : Répartition des forages par usage avec les volumes respectifs.....	63
Tab.IV.1 : Résultats des analyses physico-chimiques des eaux du CT (mars 2012).....	74
Tab.IV.2 : Normes de potabilité de l'O.M.S.....	77
Tab.IV.3 : Dureté des eaux en °F.....	78
Tab.IV.4 : Résultats obtenus après interprétation du diagramme de Richards	79
Tab.IV.4: Les poids attribués aux paramètres DRASTIC	83
Tab.V.1: Les besoins en eau-ressources mobilisable AEP (1999-2012).....	97
Tab.V.2 : Les besoins en eau-ressources mobilisables AEA (1999-2012).....	99

Tab.V.3 : Les besoins en eau-ressources mobilisables AEI (1999-2012).....	100
Tab.V.4 : Récapitulation sur les ressources et les besoins en eaux de différents secteurs (1999-2012).....	102
Tab.V.5 : Résultats obtenus par la prévision.....	104
Tab.V.6 : Les analyses des eaux souterraines.....	113
Tab.V.7 : Mode de tarification par compteur.....	117

Liste des figures

Fig.I.1 : Situation géographique de la zone d'étude	05
Fig.I.2 : Répartition administrative des chefs-lieux des communes de la vallée d'Oued Souf	09
Fig.I.3: Log de forage F1 à l'Albien (coupe d'après A.N.R.H , 1993).....	14
Fig.I.4 : Carte géologique de la zone d'étude	16
Fig.I.5 : Coupe géologique N° 1.....	17
Fig.I.6 : Coupe géologique N °2.....	18
Fig.I.7 : Coupe géologique N °3.....	19
Fig.II.1 : Répartitions moyennes mensuelles interannuelles des pluies (1976-2008).....	24
Fig.II.2 : Répartition des moyennes annuelles de précipitation (1976-2008).....	26
Fig.II.3 : Moyenne mensuelle interannuelle de température (1976-2008).....	27
Fig.II.4 : Répartition des moyennes annuelles des températures (1976-2008).....	28
Fig.II.5 : Diagramme pluviothermique de la station de Guemar (1976-2008).....	29
Fig.II.6 : Climagramme d'Emberger.....	31
Fig.II.7 : Répartition moyenne mensuelle de l'humidité (1976-2008).....	33
Fig.II.8 : Répartition moyenne mensuelle de vitesse de vent (1976-2008).....	34
Fig.III.1: Coupe hydrogéologique à travers le Sahara.....	41
Fig. III.2: Zone d'alimentation de la nappe phréatique et le sens d'écoulement de la nappe (Cote Marc, 2006).....	42
Fig. III.3: Limites de l'aquifère du Complexe terminale avec les niveaux piézométrique et les sens d'écoulement (Baba SY et al., 2006)	44
Fig. III.4: Limite de l'aquifère du Continental Intercalaire avec les niveaux piézométrique et le sens d'écoulement (Baba SY et al., 2006).....	45
Fig.III.5: Carte d'inventaire de Forage de CT et de CI sur la vallée d'Oued-Souf. (DRH,	48

2012)	51
Fig.III.6: Courbe débit spécifique / Rabattement à F 87 (EL-Houd).....	51
Fig.III.7: Essai de pompage longue durée à F 87 (EL-Houd)	52
Fig.III.8: Courbe débit spécifique / Rabattement à F 58 (Hammadine)	53
Fig.III.09: Essai de pompage longue durée à F 58 (Hammadine).....	55
Fig.III.10: Courbe débit spécifique / Rabattement à F 31(Soualah).....	56
Fig.III.11: Essai de pompage longue durée à F 31(Soualah).....	57
Fig.III.12: Variation des niveaux piézométriques de la nappe CT entre 2010 et 2011.....	59
Fig.III.13: Carte piézométrique de la nappe CT de la vallée du Souf en 2011	60
Fig.III.14: Carte piézométrique de référence de l'aquifère du Complexe Terminal (OSS, 2003)	61
Fig.III.15: Coupe schématique montrant l'évacuation des eaux usées dans les fosses septiques.....	66
Fig.III.16 : Schématisation générale du projet	67
Fig.IV.1 : Carte d'inventaire des forages de prélèvement.....	72
Fig.IV.2: Diagramme de Piper des eaux de la nappe du CT (Région d'Oued Souf, mars 2012).....	73
Fig.IV.3: Diagramme de Schoeller Berkaloff des eaux de la nappe du CT (Région d'Oued Souf, mars 2012).....	75
Fig.IV.4 : Les rapports caractéristiques.....	76
Fig.IV.5 : Diagramme de Richards: classification des eaux d'irrigation en fonction du S.A.R (Nappe du Complexe Terminal de la région d'Oued Souf, mars 2012)	80
Fig.IV.6 : Diagramme des classes de vulnérabilité.....	84
Fig.IV.7 : Carte de profondeur du niveau statique de la nappe phréatique de la vallée d'Oued Souf.....	86
Fig.IV.8 : Carte de recharge de la nappe phréatique de la vallée de Oued Souf (2002)	88
Fig.IV.09 : Carte de conductivité hydraulique de la nappe phréatique de la vallée de Oued Souf (2002).....	90
Fig.IV.10 : Carte de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la nappe phréatique de Oued Souf.	92
Fig.V.1 : Schéma directeur de travail.....	96
Fig.V.2: Confrontation ressources – besoins en eau potable.....	98
Fig.V.3 : Confrontation ressources – besoins en eau d'irrigation.....	99

Fig.V.4: Confrontation ressources – besoins en eau à but industriel.....	101
Fig.V.5 : Représentation des ressources mobilisables pour les trois grands consommateurs de l'eau.....	101
Fig.V.6: Confrontation ressources – besoins de différents usagers de l'eau.....	103
Fig.V.7: Résultats obtenus par la prévision à court, moyen et long terme.....	105
Fig.V.8: Les objectifs de gestion et leur interaction.....	106
Fig.V.9: Planification sur la base d'une approche collaborationniste.....	108
Fig.V.09 : La structure proposée de "comité du vallée" en vue d'une meilleur gestion des ressources en eau	109
Fig.V.8 : Représentation de tarification fixe.....	116
Fig.V.9: Les principes généraux de tarification par compteur.....	117

Liste des photos

Photo.I.1 : Photo satellite de la commune d'El-Oued	07
Photo.III.1 : L'affleurement des eaux de la nappe phréatique à la surface.....	65
Photo.III.2 : Conséquence de la remontée des eaux	65
Photo.V.1 : La modernisation des systèmes d'irrigation.....	111
Photo.V.2 : Phénomène d'entartrage des conduites	112

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est partout et lie tous les hommes; qu'importe la culture ou l'époque, l'eau sert à satisfaire la soif, besoin impérieux. Si un humain peut survivre plusieurs semaines sans manger, seuls quelques jours sans boire le séparent de la mort. Exception faite de la respiration, nulle action n'est plus immédiatement essentielle à la survie humaine que l'hydratation. Polyvalente, l'eau sert aussi pour l'hygiène, la cuisine, la dilution, le transport ou la production d'énergie : davantage que le pétrole ou toute autre ressource naturelle, l'eau est au coeur du développement socioéconomique des sociétés humaines modernes. Au surplus, l'eau revêt une grande importance culturelle.

Malheureusement, dans plusieurs régions algériennes, surtout celles situées au Sahara, sont confrontées aujourd'hui à des problèmes liés à des aspects quantitatif et qualitatif des ressources en eaux dues essentiellement à la remontée des eaux provenant des nappes phréatiques, qui sont néfastes pour les cultures et les habitations. D'une manière générale, les eaux destinées pour l'alimentation en eau potable et à l'irrigation, ainsi que celles destinées pour les besoins industriels, proviennent surtout des eaux souterraines. De point de vue quantité, l'eau au Sahara est généralement disponible et ce, grâce à d'importants aquifères, surtout au bas Sahara (Sahara septentrional); mais la qualité de cette eau, dans certaines régions est le plus souvent médiocre.

La demande en matière d'eau est en croissance continue alors que les ressources sont limitées, et parfois non renouvelables, et la parution des nouveaux modes de vie et des nouvelles industries ont abouti à la consommation excessive de l'eau. De même, le problème devient plus compliqué lorsqu'il s'agit des pays partageant la même ressource ou le même cours d'eau. La concurrence est de plus en plus rude entre la ville et la campagne ; entre le secteur industriel et le secteur touristique en matière d'eau, d'irrigation et d'eau potable.

La gestion intégrée et rationnelle des ressources en eau et la maîtrise des techniques hydro agricoles sont aujourd'hui une nécessité en vue d'assurer un développement harmonieux et durable et ce, pour une agriculture moderne et performante.

Par conséquent, chaque pays applique une stratégie ou un modèle de gestion des ressources hydrique, en l'adaptant selon la nature et l'intensité des problèmes liées à l'eau, les ressources humaines, les capacités institutionnelles, les forces et les caractéristiques relatives des acteurs de l'eau, le paysage culturel et les conditions naturelles qui lui sont propres.

L'objectif de cette étude est de faire un état des lieux de la gestion de l'eau dans la vallée de Souf, à travers le prisme institutionnel, en se basant sur une analyse des réactions des consommateurs vis-à-vis des nouvelles réformes proposées. Commencant par un état de connaissance de la région d'Oued Souf à savoir la géographie et la géologie, dans le deuxième chapitre on fait ressortir le régime climatique et quantifier le bilan hydrique et ses paramètres, au cours du troisième chapitre, on a donné un aperçu hydrogéologique et hydrodynamique de la nappe du Complexe Terminal. Dans le quatrième chapitre, une étude qualitative des ressources hydrique a été achevée ainsi qu'une cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines a été mise en place à l'aide d'un système d'information géographique.

Dans le dernier chapitre, on a confronté les offres et les besoins en eau, faire des prévisions à court, à moyen et à long terme, détecter les inconvénients de l'état actuelle, adopter une nouvelle approche de gestion et enfin proposer des solutions adéquates en vue de développer cette ressource de manière équitable et intégrée.

CHAPITRE I :

PRESENTATION DU MILIEU

I. PRESENTATION DU MILIEU

I.1. Aperçu historique sur la région d'Oued-Souf :

Souf est un mot berbère qui a la même signification en arabe que le mot Oued. L'expression "Oued Souf" a donc la particularité de répéter deux fois le même terme mais en 2 dialectes distincts. Ces 2 expressions signifient fleuve en français.

Y aurait-il donc un fleuve dans cette région ensablée? La réponse est oui.

Il y a bien un fleuve mais il est souterrain. En effet, une nappe aquifère s'écoule lentement en remontant à la surface du Sud vers le Nord. Cette nappe phréatique est assez proche de la surface pour que les paysans souafas aient imaginés un système d'irrigation original. Au lieu d'irriguer en surface, ils vont à la rencontre de l'eau en creusant des palmeraies entonnoirs; ainsi les palmiers n'ont plus qu'à puiser l'eau d'eux mêmes au bout de leurs racines. Mais, si l'irrigation se fait toute seule, l'entretien des Ghouts (entonnoir) n'a rien de facile. C'est une lutte sans fin contre le vent qui aurait tôt fait de combler le cratère et d'ensevelir les palmiers. La région ayant une identité spécifique, mais dont l'histoire est très mal connue. Le Souf est aussi le pays des roses des sables, des fenecs et des tapis de haute laine ou en poil de chameau.

El Oued: la ville aux mille coupoles, capitale du Souf, l'architecture s'y distingue de celle des autres villes sahariennes. Au lieu de terrasses, ce sont des coupoles qui coiffent les maisons.

Mais ses efforts ne sont pas vains car le sol riche et l'ensoleillement maximal du Souf joignent leurs vertus à celle du Ghout pour produire des dattes qui, avec celles de la région de Biskra, sont parmi les plus réputées au monde. Nombre de palmeraies jouissant d'une eau douce peuvent se permettre de cultiver la variété "Déglà", exigeante mais lucrative car exportée. La seule connue en Europe est la Déglat-Nour (doigt de lumière).

D'autres variétés, plus rustiques, qui peuvent se contenter d'eau plus salée, alimentent les marchés locaux. Les Dattes-Ghars peuvent être compressées dans des sacs ou dans des jarres et être ainsi conservés très longtemps (jusqu'à 15 ans). Ce qui explique qu'elle est constituée au fil des temps, la base de la nourriture des nomades avec le lait. Au fond de l'entonnoir, le propriétaire réserve un périmètre, irrigué par la Khottara (puits à balancier) pour quelques primeurs (pastèques, melons, poivrons, navets, carotte, etc...). La culture du tabac à chiquer était très importante surtout dans la région de Guemar mais elle a été quasiment abandonnée dans les années 90, sa culture étant trop ingrate.

I.2. Caractéristiques géographiques :

I.2.1. Situation géographique :

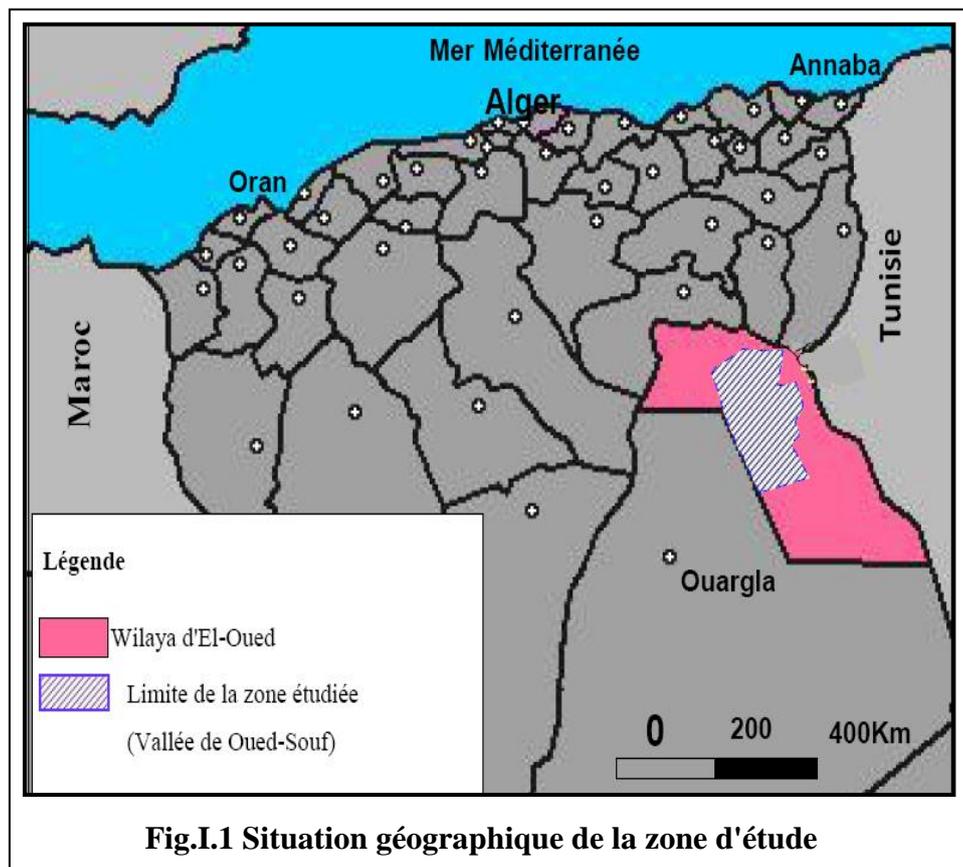
La région d'Oued-Souf est située dans le Sahara algérien, elle forme une Wilaya depuis 1984 et couvre une superficie totale de 4458600 ha. Oued-Souf se trouve à environ 700 km au Sud- Est d'Alger (Figure I.1) et 350 km à l'Ouest de Gabes (Tunisie). Elle est limitée :

- Au Nord par les wilayas de Biskra, Khenchela et Tébessa.
- Au l'Est par la Tunisie.
- A l'Ouest par les wilayas Biskra, Djelfa et Ouargla.
- Au Sud par la Wilaya d'Ouargla.

L'aire d'étude représente la vallée du Souf, par 7°E et 33°5N.

La vallée de Souf ce n'est pas un bassin versant mais une unité de ressource en eau qui est délimitée :

- Au Sud par la mer de dunes du grand erg oriental.
- Au l'Est par une série de chotts.
- Au l'Ouest par l'Oued Righ et par la ligne de palmeraie qui court de Biskra à Touggourt.



I.2.2. Situation économique :

La région est caractérisée par une économie agricole liée intimement au palmier dattier. Actuellement il existe près de 2500000 palmiers dattier dont 183000 seulement sont productifs. La moyenne d'exportation est de 40000 tonnes/an. L'élevage est une autre activité qui se répartie comme suit (DSA, 2010):

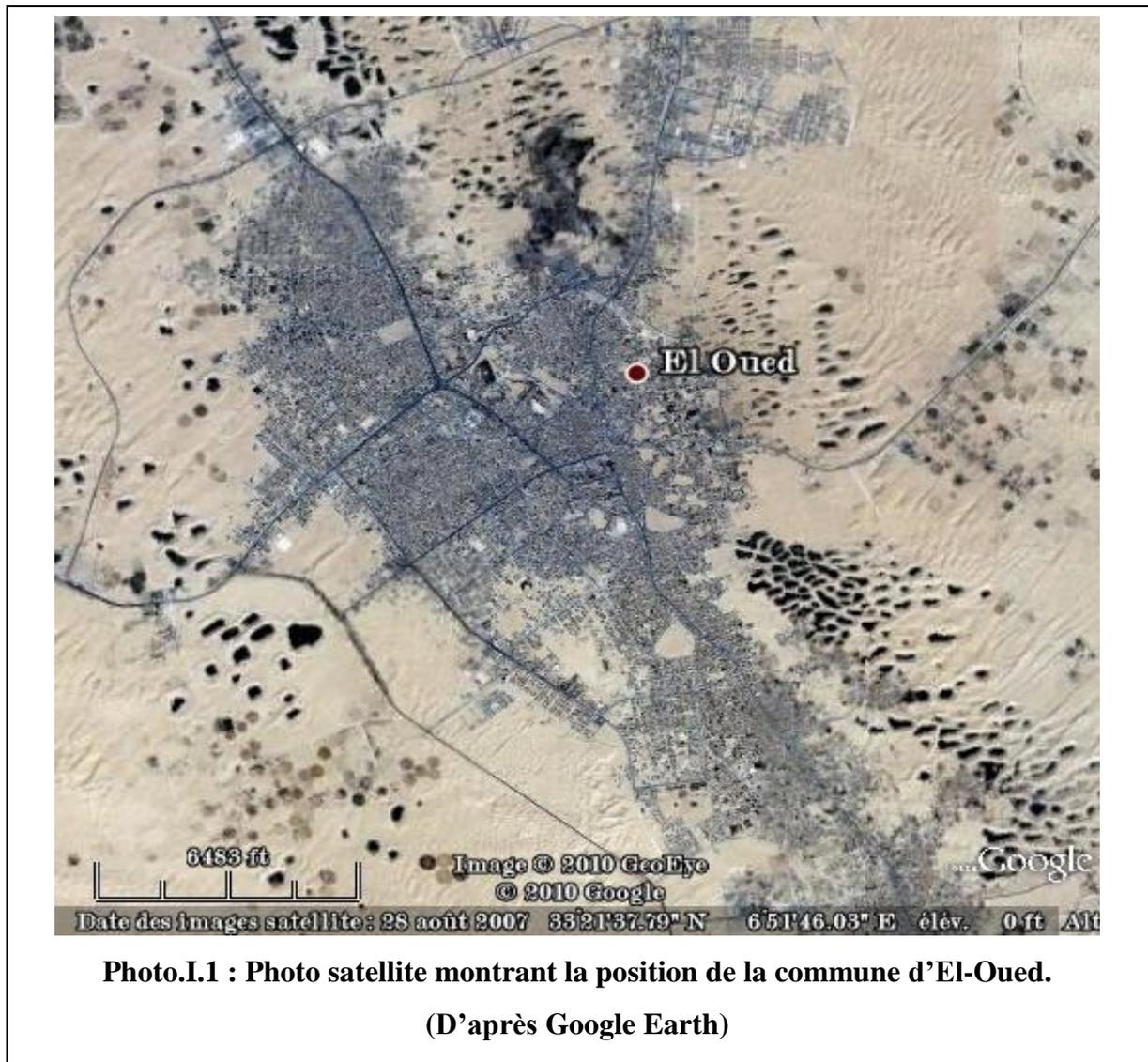
- Ovin : 500 000 têtes.
- Caprin : 153 000 têtes.
- Camelin : 27300 têtes.
- Bovin : 4700 têtes.-

Cela permet d'avoir :

- Une production de viande rouge estimée à : 4700 tonnes/an;
- Une production de viande blanche estimée à : 2240 tonnes/an;
- Une production d'œufs estimée à : 27561270 Œufs/an;
- Une production laitière : 44000000 litres/an.

L'agriculture et le commerce représentent les principales activités des habitants de la région. La culture dominante est le palmier dattier viennent après le tabac, les arachides en dernier la pomme de terre et quelques cultures maraîchères. La ville d'El-Oued est un centre d'échange commercial très actif grâce à sa position géographique.

En ce qui concerne les activités artisanales, la région du Souf a toujours été un centre artisanal, connu particulièrement dans la confection des outils de travail destinés à l'agriculture ainsi que pour ses tapis tissés. Enfin son architecture est admirable, distinctes par les coupoles qui coiffent les maisons.



I.2.3. Répartition administratif et démographique :

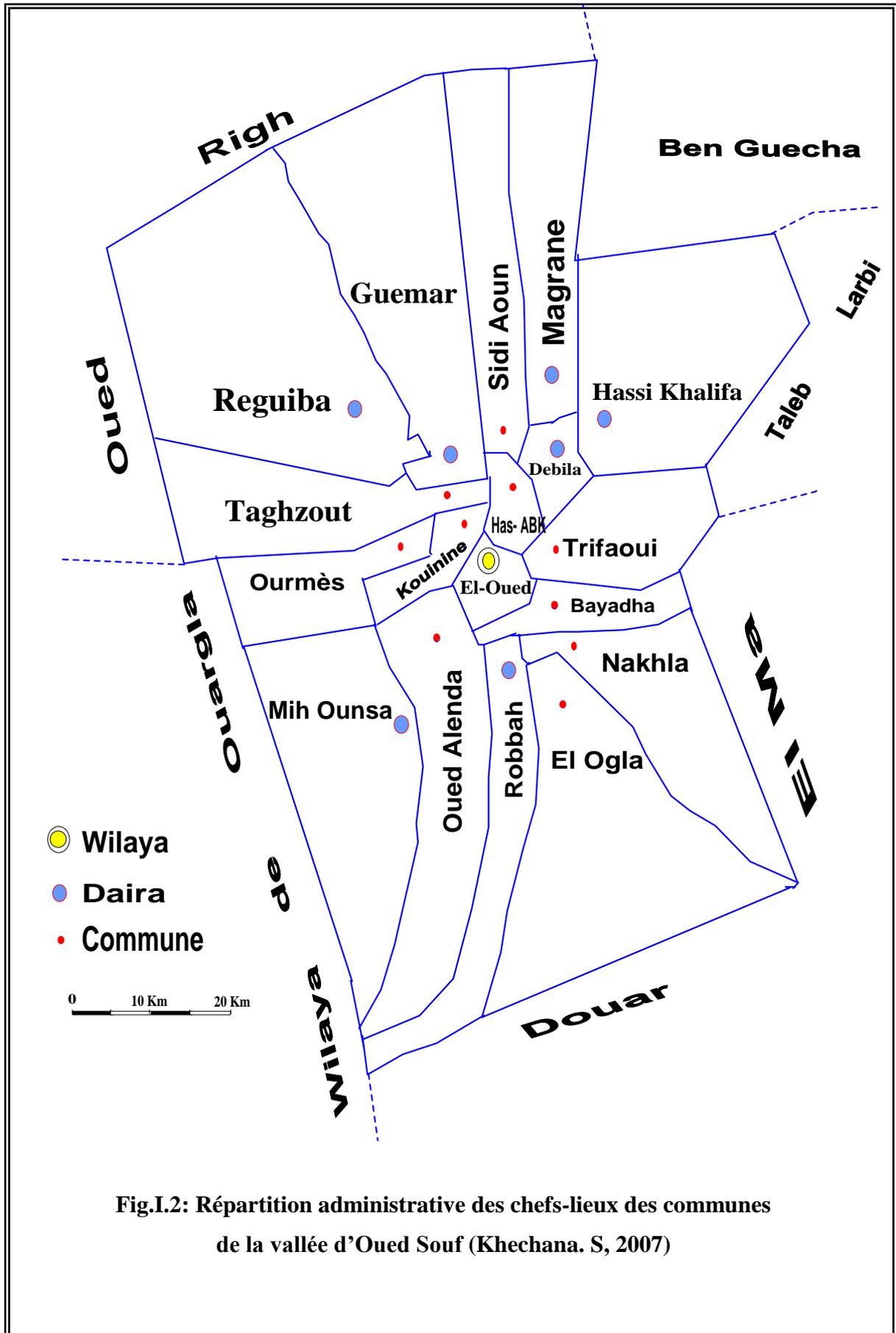
La zone d'étude occupe une superficie de 11738 Km² qui représente 18 communes administrativement et englobe un nombre de population de 486170 habitants (248600 masculins et 237570 féminins), selon le recensement de 2009.

Selon le tableau I.1, nous constatons que la commune la plus peuplée est d'El-Oued (1826.29 hab/km²), suivi par la commune de Hassani Abdelkerim (411.89 hab/km²), sachant que la commune El-Ogla a la moindre densité populaire (4.72 hab/km²).

Tab.I.1: Surface et population de la vallée de Souf par commune

N°	Commune	Population(hab)	Superficie (km ²)	Densité populaire (hab/km ²)
01	Hassi Khalifa	33115	1112	29.78
02	El-Ogla	6380	1352	4.72
03	Mih Ouansa	17045	1111	15.34
04	El-Oued	140625	77	1826.29
05	Robbah	22910	499	45.91
06	Oued Allenda	7020	712	9.86
07	Bayadha	34185	139	245.93
08	Nakhla	13300	700	19
09	Guemar	41225	1264	32.61
10	Sidi Aoun	12670	480	26.39
11	Trifaoui	8640	474	18.22
12	Magrane	25450	618	41.18
13	Ourmes	6060	443	13.67
14	Kouinine	10590	116	91.29
15	Reguiba	42420	1966	21.57
16	Taghzout	14485	539	26.87
17	Debila	26160	78	335.38
18	Hassani Abdelkerim	23890	58	411.89
Total		486170	11738	41.41

(DHW d'El-Oued, 2009)



II. CADRE GEOLOGIQUE DE LA REGION D'OUED SOUF :

II.1.Introduction :

La géologie est un moyen d'investigation très utile en hydrogéologie car elle permet la détermination des horizons susceptibles être aquifères.

La région d'étude est exactement dans la partie Nord de la plate forme saharienne caractérisée par des formations détritiques particulièrement sableuses, elles apparaissent sous forme de dunes et anti dunes. Car le sous-sol de la région étant sableux et assurant l'infiltration et la circulation souterraines des eaux, est essentiellement représenté par des formations sablo-gréseuses du Continental Intercalaire, et des accumulations sableuses fluvio-lacustres de tertiaire continental.

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

II.2. Stratigraphie régionale :

D'après (Cornet 1964, Bel 1968) et les coupes de sondages établies à partir des forages, les profondeurs des étages varient d'une région à l'autre.

Sur la base des logs de forage de l'Albien faite par l'ANRH(1993) sur la région d'Oued Souf, nous citons les principales strates répétées dans cette région, en allant de la plus ancienne vers la plus récente (fig.4) :

II.2.1. Formation de l'ère Secondaire :

a) *Crétacé inférieur* :

- Le Barrémien :

Cet étage est capté par tous les forages du Continental Intercalaire réalisés dans cette région ; il présente une lithologie d'alternance de grés avec passages d'argiles et parfois des intercalations de calcaire dolomitique, on rencontre également des sables avec présence de silex.

L'épaisseur moyenne de cet étage est de l'ordre de 200 à 230 mètres.

- L'Aptien :

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

- L'Albien :

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

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

- Vraconien :

C'est en fait, une zone de transition entre l'Albien sableux et le Cénomaniens argilo carbonaté. Cet étage est constitué principalement d'une alternance irrégulière de niveaux argilo dolomitiques. On montre aussi des argiles sableuses et de rares passées de grès à ciment calcaire.

Dans la zone d'étude, l'épaisseur de cet étage varie entre 250 et 300 mètres. En raison de l'importance de ses niveaux argileux, il constitue une importante couverture de l'Albien.

b) Crétacé moyen :

- Le Cénomaniens :

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

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

- Le Turonien :

Cet étage représente la base du Complexe Terminale. Il est généralement carbonaté et constitué par des calcaires dolomitiques et des dolomies micro cristallines compactes avec des intercalations de calcaires Turoniens et parfois de marnes.

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

c) Crétacé supérieur :

- Le Sénonien :

La plupart des études géologiques effectuées à travers le Sahara algérien montrent que le Sénonien est formé de deux ensembles très différents du point de vue faciès : l'un

correspond au Sénonien lagunaire situé à la base et l'autre au Sénonien carbonaté au sommet.

- Sénonien lagunaire :

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

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

- Le Sénonien carbonaté :

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

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

II.2.2. Formations de l'ère Tertiaire :

- L'Eocène :

Il est formé par des sables et des argiles, parfois on rencontre des gypses et des graviers. Dans cette région, l'Eocène est carbonaté à sa base, sa partie supérieure est marquée par des argiles de type lagunaire. L'épaisseur de cet horizon varie entre 150 et 200 mètres.

- 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).

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

Sur toute l'étendue du Sahara oriental, Bel et Demargne séparent cet horizon en 4 niveaux :

➤ Niveaux argileux :

Il est peu épais et existe uniquement dans la zone centrale du Sahara oriental. Avec l'Eocène lagunaire, les argiles de la base du Miopliocène constituent une barrière peu perméable entre les nappes du Sénon-Eocène carbonatées et celle du Pontien sableux.

➤ Niveaux grès sableux :

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

➤ Niveaux argileux :

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

➤ Niveau sableux :

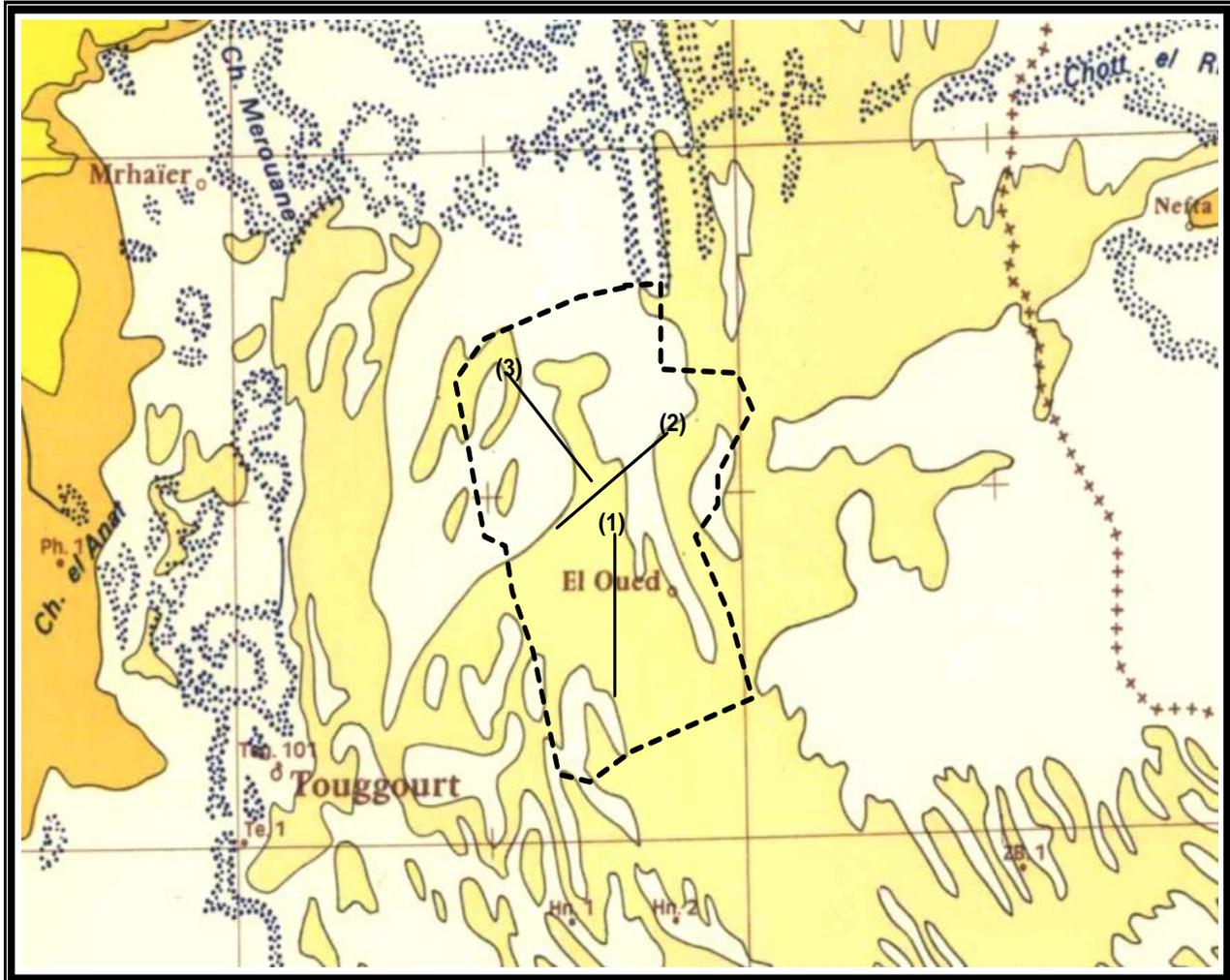
Ce niveau constitue le deuxième horizon aquifère du Complexe Terminal, du point de vue hydrogéologique, ces niveaux sableux présentent un grand intérêt car ils correspondent pour ainsi dire à la nappe des sables du Complexe Terminal.

II.2.3. Formations du Quaternaire :

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

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

Fig.I.3: Log de forage F1 à l'Albien (coupe d'après ANRH 1993)



LEGENDE

	Dunes		Limite de la zone d'étude
	Quaternaire indifférencié		(1), (2), (3): Positions des coupes géologiques
	Pliocène ou Quaternaire		
	Mio- pliocène (avec localement Nummulitique continental)		
	Frontière Algéro-Tunisienne		
	Zone des chotts		

Fig.I.4: Carte géologique de la zone d'étude (extrait d'après la carte du Sahara Septentrional G. Busson 1970)

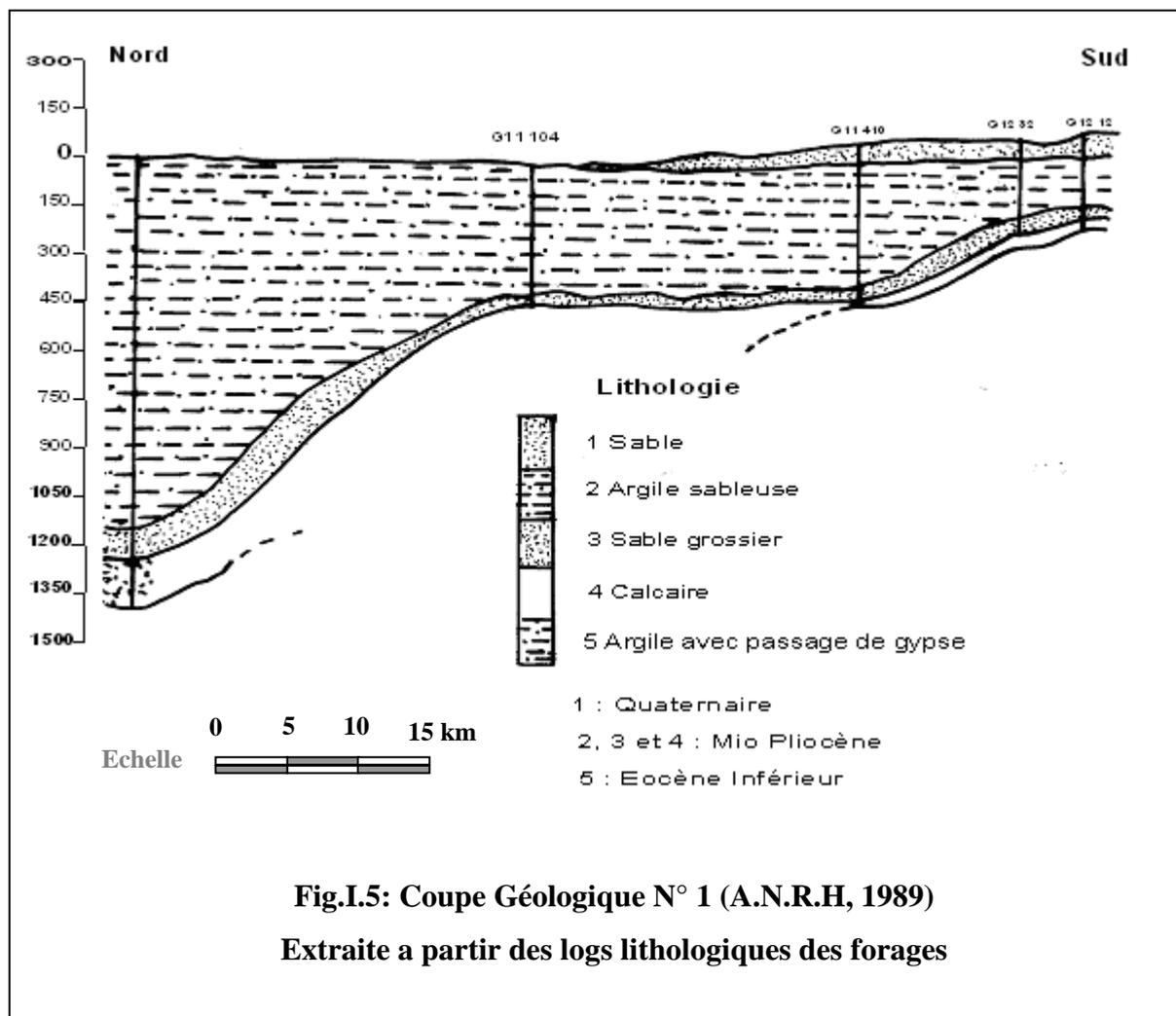
II.3. Interprétation des coupes :

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

- **Coupe N° 1:**

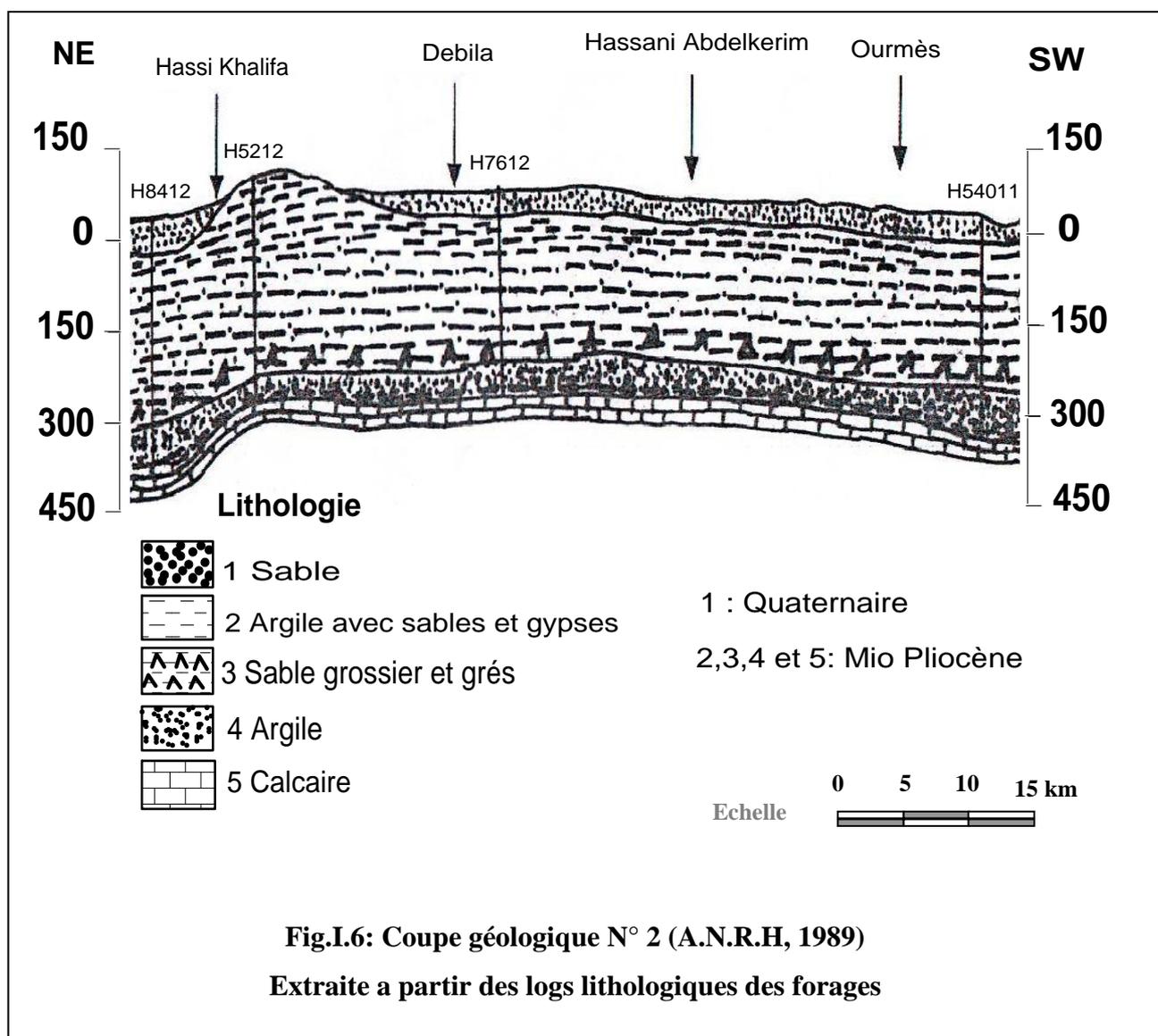
Cette coupe est faite sur la base des coupes de forages, elle est orientée du Nord vers le Sud.

On remarque que l'épaisseur du Mio Pliocène qui est constitué par des argiles, de sables et de calcaires diminue du Nord vers le Sud. Au niveau G₁₁¹⁰⁴, on remarque l'absence des formations quaternaires représentées par des sables; cette lacune ne peut être expliquée que par l'effet d'une érosion, ces formations tendent à s'épaissir vers le Sud. (Fig. 6)



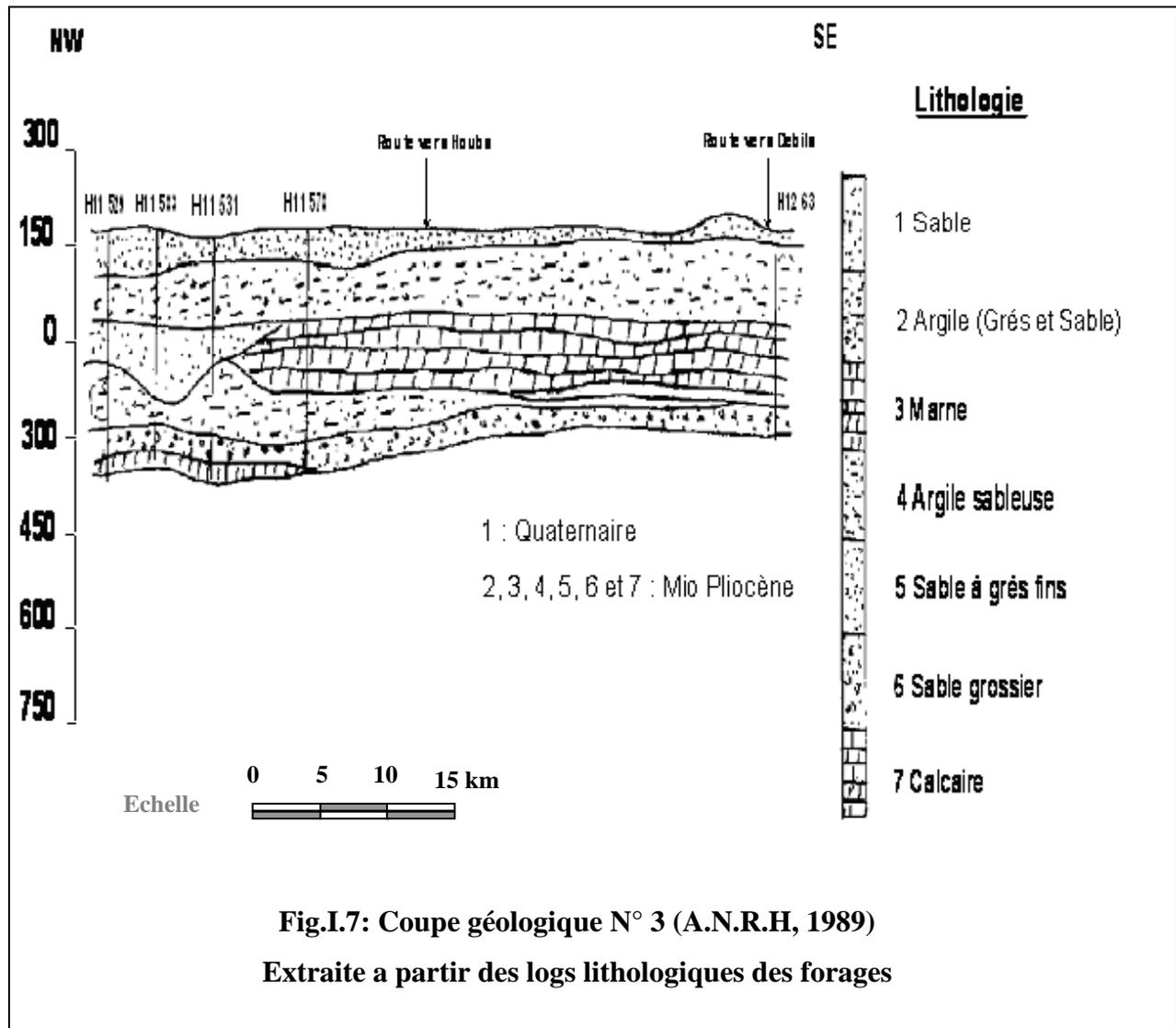
• Coupe N° 2

La coupe N° 2 orientée NE-SW, en allant de la région dite Merzaga vers Ourmès, on remarque au niveau du forage (H₁₂⁵²), l'absence du Quaternaire, ce ci ne peut être expliqué que par l'effet d'une érosion éolienne. Les formations miopliocènes sont caractérisées par une épaisseur considérable (plus de 200 m). Cette dernière devient régulière sur tout le reste de la région, au contraire de celle de Quaternaire qui est constituée par des sables qui changent d'une région à l'autre (par exemple, au niveau du forage H₁₁⁵⁴⁰ l'épaisseur présente presque la moitié de celle de H₁₂⁸⁴) (Fig.7).



- **Coupe N° 3:**

La coupe N° 3 est orientée du Nord-Ouest vers le Sud-Est, elle est différente des autres surtout du point de vue stratification; cette dernière entre croisée, ce qui donne naissance à des "biseautages". Cette situation est bien visible dans les quatre premiers forages. On constate que l'épaisseur des formations quaternaires, est plus importante au Nord-Ouest qu'au Sud-Est. (Fig.8).



II.4. Géomorphologie :

Le sous-sol présente des contrastes frappants. C'est ainsi qu'au Sud, à 6 kilomètres d'El-Oued et jusqu'à El-Ogla 24 Km plus loin, on remarque l'absence totale de « Tefza » (pierre à plâtre calcaire), tandis que sur un autre axe allant de El-Oued à Ghamra (en passant par Tiksebt, Kouinine et Guemar) la « Tefza » y occupe tous le terrain.

Ainsi deux bandes de terrains sédimentaires, de formations différentes, renfermant des roches dissemblables dont dépend de la qualité de la nappe aquifère, prolongent de part et d'autres sur les principaux axes du Souf.

Une coupe dans le sol, nous permet de distinguer :

- **Tercha :**

Formé de fins cristaux qui lui donnent un aspect de grès ; se rencontre en plaques continues ou en bancs extrêmement durs, il est composé de cristaux en fer.

- **Louss :**

Le Louss est fait de cristaux de gypse en fer de lames imbriqués, il se rencontre sous forme de couches continues, très dures de réseaux mélangés au sable, de bancs isolés ou de colonnes qui semblent être constituées autour d'anciennes racines gypseuses.

- **Salsala ou Smida :**

Se trouve en plaques continues ou en bancs extrêmement durs, il est composé de cristaux en fer comme le Louss, mais c'est plus fins et plus serrés.

- **Tefza :**

C'est un grès blanc assez dur, et constitue la pierre à chauffer qui donnera le plâtre.
(Tercha, Louss, Salsala, Smida et Tefza sont les appellations locales, utilisés pour les différentes couches géologiques).

II.5. TECTONIQUE :

La zone d'étude fait partie du bassin sédimentaire du Sahara septentrional dont l'extension couvre une superficie de 780 000 km². Ce bassin, vaste zone d'épandage, constitue une importante dépression topographique, laquelle est sous-tendue par une cuvette structurale en forme de synclinal dissymétrique. La série sédimentaire est marquée, au centre de la fosse, par d'importants accidents tectoniques sub-verticaux.

Les courbes sédimentaires semblent s'épaissir du Nord d'El Oued vers le centre de cette dépression, ce qui montre que l'approfondissement suit de près la sédimentation. Donc si nous désirons retracer l'évènement paléogéographique du Souf, il faut noter qu'au cours de la jeunesse de l'immense dépression au début du Quaternaire et sous l'effet de la sédimentation, le centre de celle-ci (dépression) se déplace en fonction du temps vers le Nord tout en donnant naissance à des nouvelles dépressions correspondant actuellement à la zone des chotts, où leur naissance ne s'est effectuée qu'à la fin du Quaternaire.

Ces caractéristiques ont favorisé la formation dans le Souf et dans tout le bas Sahara de plusieurs formations aquifères à comportement hydrodynamique variable en fonction de leurs faciès.

L'aquifère Quaternaire du Souf présente une épaisseur moyenne de 40 mètres. 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 mètres de profondeur aux extrémités Nord-Est de la région d'étude. La série sédimentaire lagunaire recouvrant la plate-forme crétacée forme un vaste synclinal dont le fond est doté d'un très grand rayon de courbure.

II.6. RELIEF :

Le relief de la vallée d'El-Oued est caractérisé par l'existence de trois principales formes :

- Une région sableuse : qui se présente sous un double aspect ; l'Erg et le Sahara.
- Une forme de plateaux rocheux : qui s'étend vers le Sud avec une alternance de dunes et de crêtes rocheuses.
- Une zone de dépression : caractérisée par la présence d'une multitude de chotts qui plongent vers l'Est. Il est à signaler que l'altitude diminue du Sud vers le Nord et de l'Ouest vers l'Est pour devenir négative au niveau des chotts.

III. CONCLUSION :

A partir de cette étude, nous constatons que la région a une particularité spécifique de point de vue géologique, ainsi que les conditions tectoniques et paléogéographiques ont permis la mise en place d'une série sédimentaire avec une lithologie variée dans le temps, régulière et homogène dans l'espace.

Ces conditions ont favorisé la formation dans le Souf et dans tout le bas Sahara de plusieurs formations aquifères à comportement hydrodynamique variable en fonction de leurs faciès. La stratigraphie de la région est caractérisée par des séries sédimentaires allant de Crétacé inférieur jusqu'aux dépôts de Quaternaire

Les formations du Quaternaire récentes forment l'aquifère détritique de la nappe phréatique, il est surtout sableux à gréseux avec parfois du gypse et des argiles localisées particulièrement dans la partie Nord-Est où il se termine par une croûte gypseuse, son substratum est argileux imperméable parfois très peu sableux à son sommet ou alors gypsifère en totalité.

CHAPITRE II
HYDROCLIMATOLOGIE

I. INTRODUCTION :

Le climat joue un rôle essentiel dans la morphologie du relief, sur la végétation, la genèse et le type des sols et sur les activités agricoles.

L'objectif principale de toute étude climatologique est l'établissement pour une période donnée un bilan hydrique dont les paramètres principaux nécessaires à son établissement sont : la précipitation et la température.

Le climat algérien est caractérisé par sa grande variabilité de précipitations et des températures annuelles, cette variation est due essentiellement aux irrégularités topographiques et aux influences opposées de la Méditerranée et du Sahara.

Dans ce chapitre, on va analyser les facteurs climatiques et ressortir les régimes pluviométriques à savoir la période humide et la période sèche et le type de climat caractérisant la région d'étude.

Pour analyser les paramètres climatiques, on a sélectionné la station Météorologique de l'ONM (Office National Météorologique) de l'aéroport de Guemar qui représente la seule station existante dans la zone d'étude. Ces données sont choisies durant une période de 32 ans (1976-2008).

Les caractéristiques géographiques de cette station sont :

- Code A.N.R.H : 13 04 14
- Altitude : 64m
- Longitude : 06°47'E
- Latitude : 33°30 ' N

II. ETUDE DES PARAMETRES CLIMATIQUES :

II.1. La pluviométrie :

La précipitation est un facteur fondamental pour caractériser le climat d'une région. Ce terme précipitation désigne des cristaux de glace ou des gouttelettes d'eau qui, ayant été soumis à des processus de condensation et d'agrégation à l'intérieur des nuages, sont devenus trop lourds pour demeurer en suspension dans l'atmosphère et tombent au sol.

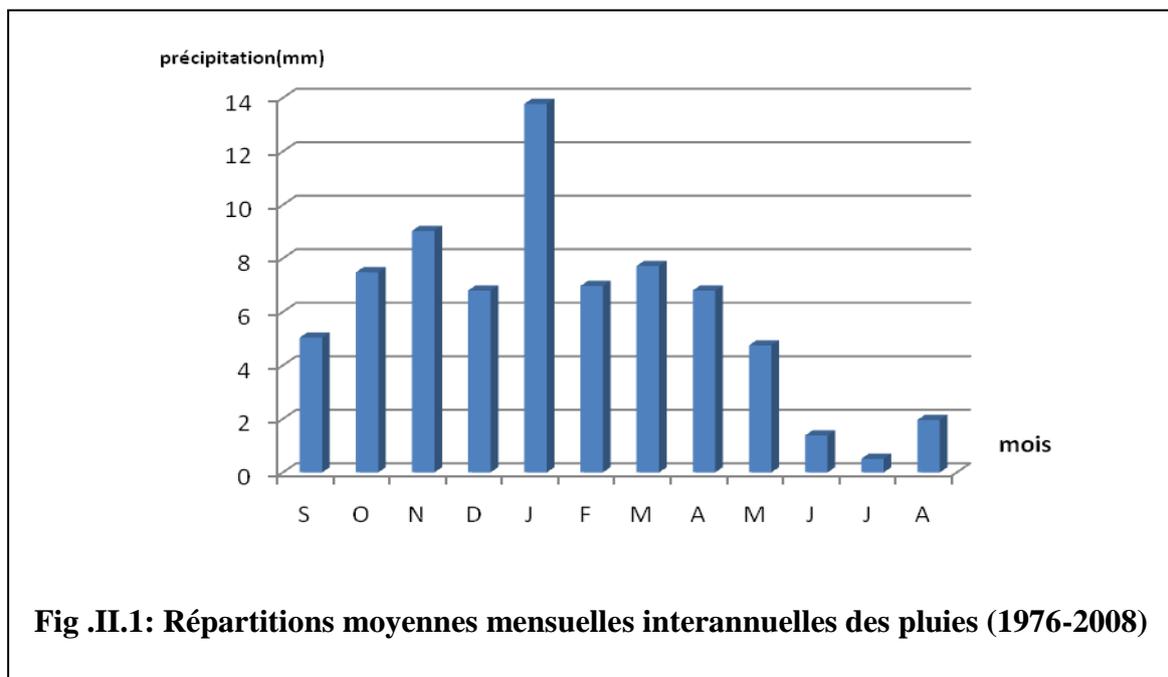
a- Evaluation mensuelle des pluies :

Les évaluations moyennes mensuelles interannuelles des précipitations d'une durée d'observation de 32 ans (1976-2008) sont résumées dans le tableau suivant (Tab.II.1):

Tab.II.1 : Moyenne mensuelles interannuelle des précipitations (1976-2008)

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
P(mm)	5.04	7.48	9.03	6.8	13.78	6.97	7.72	6.8	4.57	1.38	0.51	1.96	72.04

(ONM, 2009)



Ce graphe montre une variabilité des précipitations dans le temps, d'où la pluviométrie maximale est de l'ordre de 13.78mm enregistré pendant le mois de janvier, et le minimum est de l'ordre de 0.51mm enregistré pendant le mois de juillet, la précipitation annuelle est 72,04mm.

b- Evaluation moyenne annuelle des pluies :

Afin de mieux visualiser l'année la plus pluvieuse durant la période d'observation, nous avons calculé les précipitations moyennes annuelles dont les résultats sont regroupés dans le tableau II.2. La répartition annuelle de précipitation est schématisée en figure II.2.

L'analyse de la courbe de répartition moyenne annuelle, permet de tirer les particularités suivantes :

- Les modules pluviométriques généralement sont faibles, ils varient entre 24.3mm (en 1994/1995) à 177.9mm (en 1989/1990).

- La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 72.52mm, la station de Guemar a enregistré 12 années des précipitations supérieures à la moyenne et 20 années au dessous de la moyenne.
- L'allure de la courbe de répartition interannuelle est pratiquement identique.

D'après DUBIFE, 1963, les régimes des précipitations sont différents et ce selon les saisons : durant l'été elles sont dues aux dépressions de Mousson, en hiver leur provenance est due aux dépressions accompagnants la migration vers le sud des fronts polaires, alors que pendant la période intermédiaire, ces précipitations sont dues aux dépressions Soudano-Sahariennes du sud vers le nord.

Tab.II.2 : Moyenne annuelle de précipitation (1976-2008)

Année	P(mm)	Année	P(mm)	Année	P(mm)
1976/1977	95.6	1987/1988	41.4	1998/1999	150.7
1977/1978	74.9	1988/1989	59.5	1999/2000	77.6
1978/1979	91.2	1989/1990	177.9	2000/2001	28.1
1979/1980	87.5	1990/1991	72.9	2001/2002	50.5
1980/1981	57.3	1991/1992	67	2002/2003	59.5
1981/1982	60.4	1992/1993	35	2003/2004	113.1
1982/1983	41.4	1993/1994	64.8	2004/2005	91.7
1983/1984	32.4	1994/1995	24.3	2005/2006	122.6
1984/1985	54.7	1995/1996	159.3	2006/2007	65.4
1985/1986	59.4	1996/1997	33	2007/2008	26.4
1986/1987	70.4	1997/1998	74.8	Moyenne annuelle	72.04

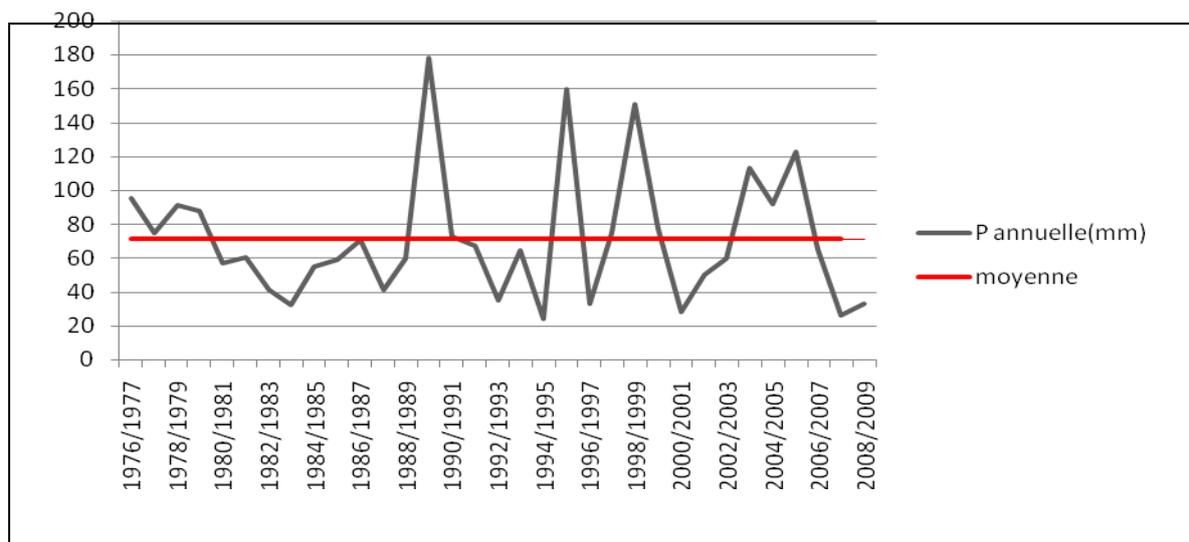


Fig.II.2: Répartition des moyennes annuelles de précipitation (1976-2008)

II.2. La température :

a- les températures moyennes mensuelles :

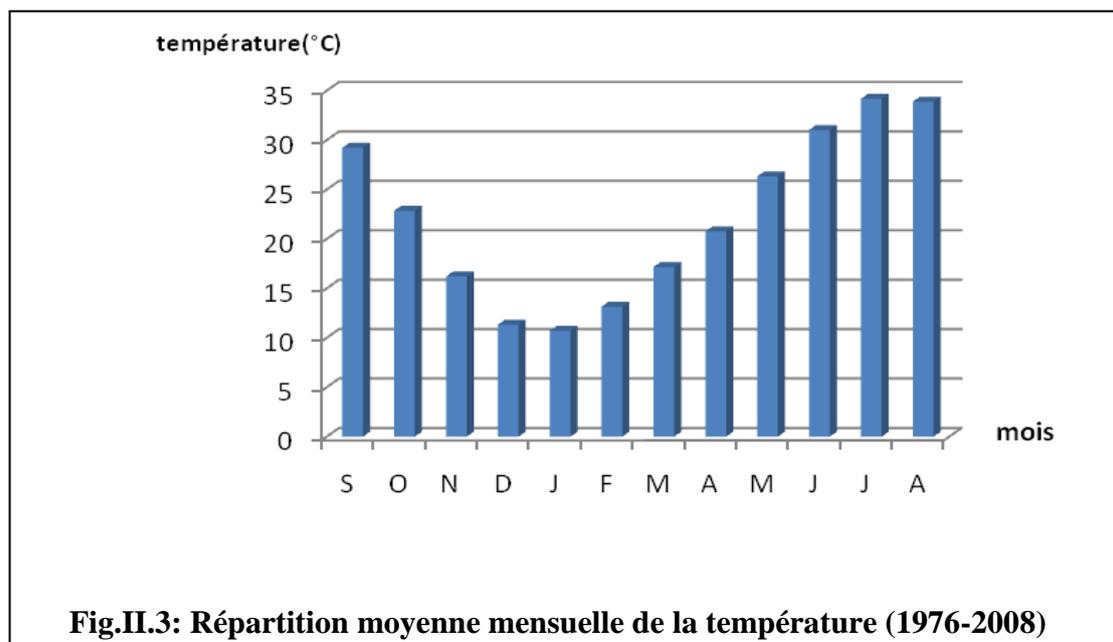
La région se caractérise par des écarts des températures, aussi bien à l'échelle diurne qu'à l'échelle mensuelle, pouvant atteindre parfois 21°C. Le tableau II.3 représente la répartition moyenne mensuelle de la température.

Tab.II.3 : Moyenne mensuelle interannuelle de température

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
T(°C)	10.71	13.16	17.16	20.76	26.33	31.03	34.18	33.89	29.22	22.85	16.2	11.33	21.51

(ONM, 2008)

Ce tableau montre une variabilité de température dans le temps sur une période de 32ans : 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 10.71°C, alors que la période chaude commence à partir du mois de mai jusqu'au mois de septembre avec un maximum de température relevé pendant le mois de août 33.89°C, la moyenne annuelle est de l'ordre de 21.51°C



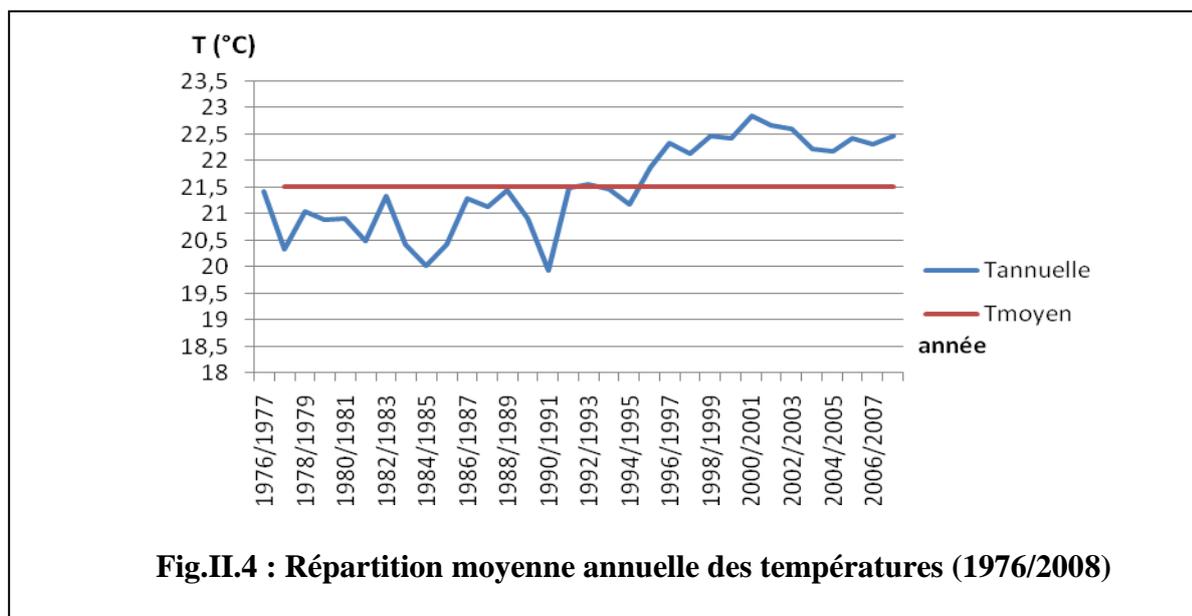
b -Les températures moyennes annuelles :

Le tableau II.4 et la figure II.4 présentent la répartition moyenne annuelle de température sur la même période (1976-2008).

Tab.II.4 : Répartition des moyennes annuelles de température (1976-2008)

Année	T(C°)	Année	T(C°)	Année	P(mm)
1976/1977	21,42	1987/1988	21,14	1998/1999	22,47
1977/1978	20,33	1988/1989	21,45	1999/2000	22,42
1978/1979	21,05	1989/1990	20,90	2000/2001	22,85
1979/1980	20,89	1990/1991	19,93	2001/2002	22,67
1980/1981	20,90	1991/1992	21,50	2002/2003	22,60
1981/1982	20,48	1992/1993	21,56	2003/2004	22,22
1982/1983	21,33	1993/1994	21,47	2004/2005	22,18
1983/1984	20,43	1994/1995	21,17	2005/2006	22,43
1984/1985	20,01	1995/1996	21,86	2006/2007	22,31
1985/1986	20,43	1996/1997	22,33	2007/2008	22,47
1986/1987	21,29	1997/1998	22,13	Moyenne annuelle	21,51

(ONM, 2008)



Le tableau ci-dessus et la figure II.4 présentent la répartition des températures moyennes annuelles, celle qui montre bien une irrégularité annuelle :

L'année la plus chaude est 2000/2001 avec une température moyenne $T=22.85^{\circ}\text{C}$ et l'année la plus froide est l'année 1990/1991 avec une moyenne de température égale à 19.93°C .

II.3. Synthèse climatique :

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

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

- le domaine climatique ou le type de climat suivant la méthode d'Emberger et/ou le calcul de l'indice d'aridité.

II.3.1. Diagramme pluviothermique : En se basant sur les données des précipitations et des températures mensuelles sur la même période d'observation, on peut établir la courbe pluviothermique dont le but est de déterminer la période sèche et celle humide.

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

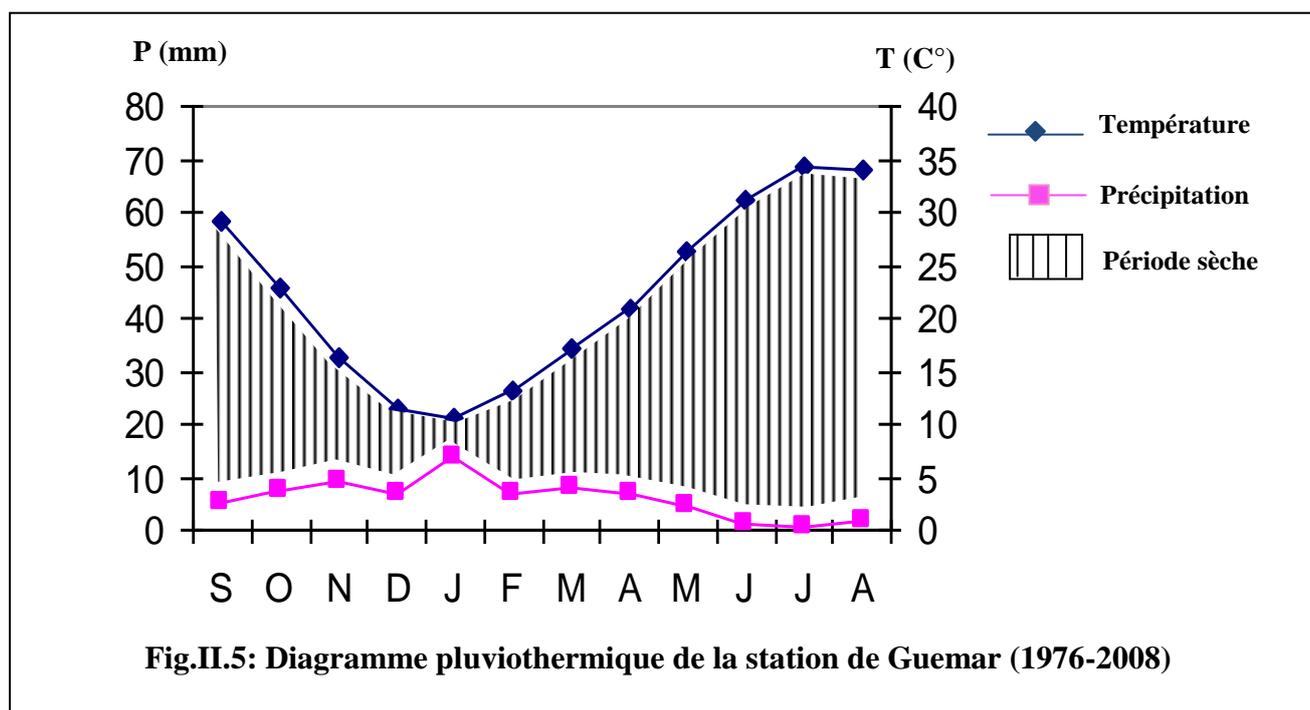
Lorsque les températures passent au dessus de la courbe des précipitations, la période correspondante est déficitaire en eau ; et lorsque la courbe des précipitations passe au dessus de celle des températures, la période correspondante est humide.

A partir de ce diagramme, on constate que l'année hydrologique de la région d'étude est caractérisée uniquement par une période sèche et l'absence total de la période humide, même pour le mois de janvier qui est marqué par la température la plus basse (10.71 °C) et la précipitation la plus élevée (13.75mm).

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

Tab.II.5 : Couples température/ précipitation mensuelle interannuelle

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T(°C)	29.22	22.85	16.2	11.33	10.71	13.16	17.16	20.76	26.33	31.03	34.18	33.89
P(mm)	5.04	7.48	9.03	6.8	13.78	6.97	7.72	6.8	4.57	1.38	0.51	1.96



II.3.2 .Climagramme d'Emberger :

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

Avec : Q : quotient pluviométrique d'Emberger.

P : précipitation annuelle en mm.

M : total de température du mois le plus chaud (°C), c'est le mois d'août.

m : total de température du mois le plus froid (°C), c'est le mois janvier.

Application numérique :

$$P = 72.22 \text{ mm}$$

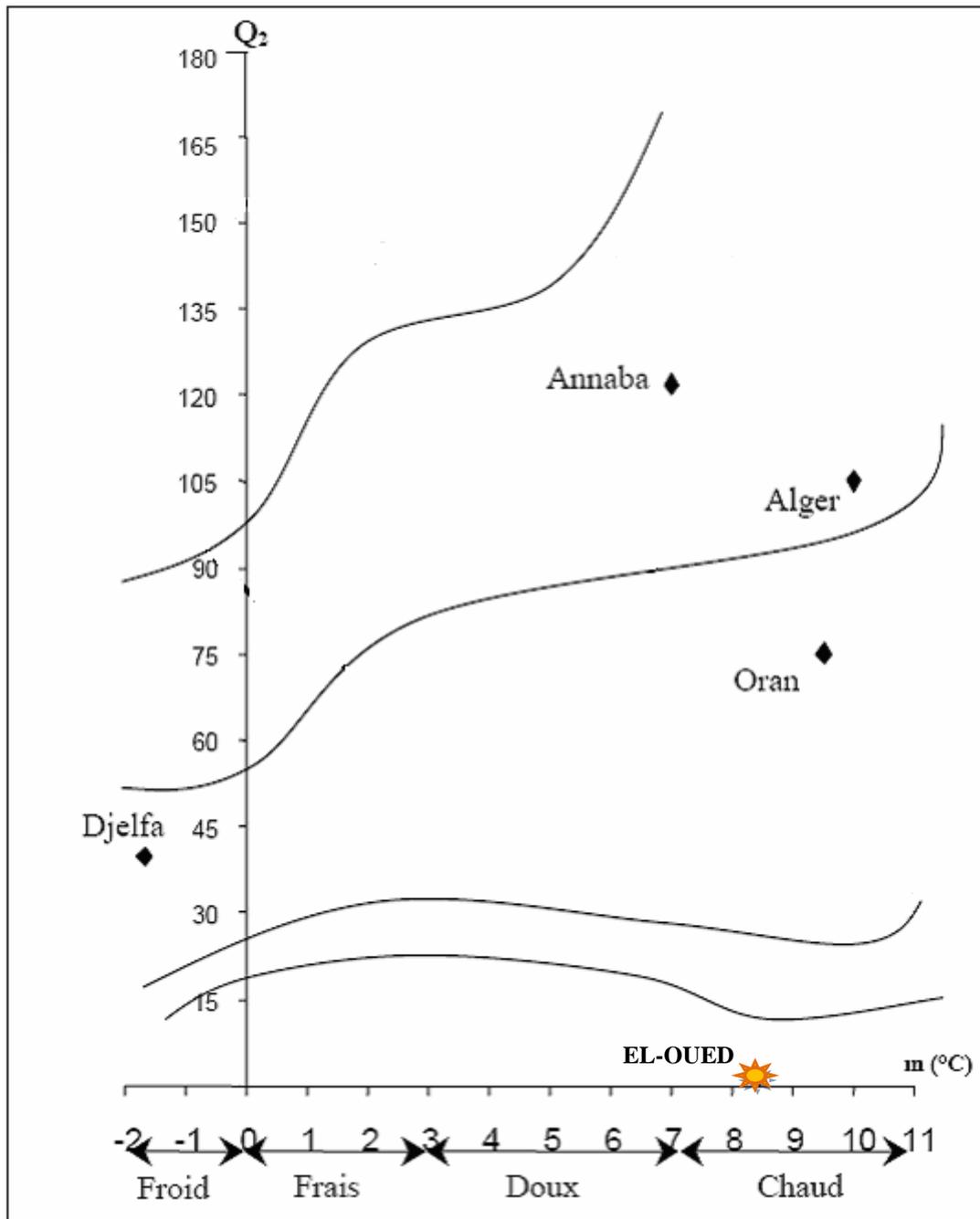
$$M = 1084.48^\circ\text{C}$$

$$m = 343.68^\circ\text{C}$$

$$Q = \frac{2000 \times 72.22}{1084^2 - 343.68^2} = 0.13$$

La température minimale enregistrée pendant le mois de janvier au cours des 32 ans dans cette station est 8.4 °C.

Donc la position de la station de Guemar sur le climagramme se situe au coordonnées suivantes (8.4 ; 0.13)



☀ Station du Guemar

Fig II.6 : Climagramme d'Emberger

II.3.3. L'indice d'aridité :

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

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

Avec :

I : indice d'aridité.

P : précipitation moyenne mensuelle (mm).

T : température moyenne annuelle (°C).

Application numérique

P= 72.04mm

T=21.51°C

Donc : I= 2.28

Tab.II.6: Classement en fonction de l'indice d'aridité (selon De Martonne)

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

I< 5, Ce qui confirme que la région d'El-Oued est caractérisée par un climat hyper aride.

II.4. L'humidité :

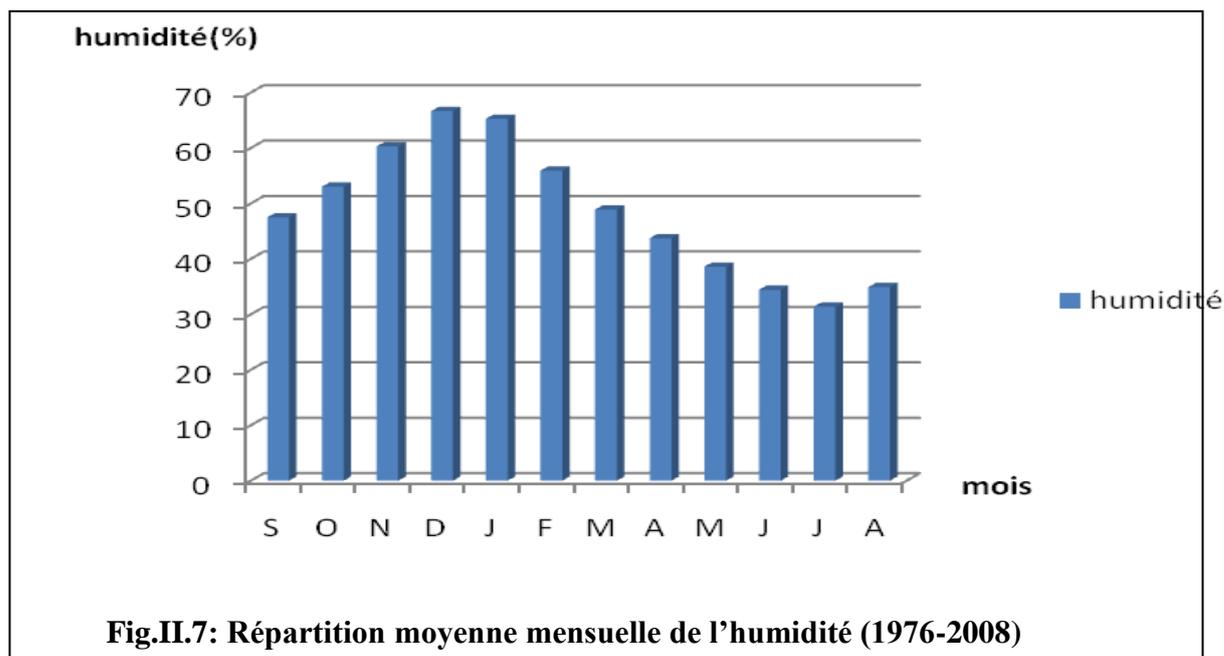
L'humidité est un état de climat qui représente le pourcentage de l'eau existant dans l'atmosphère, elle a des effets sur les altérations chimiques telles que l'oxydation.

L'humidité moyenne de la région représentée dans le tableau ci-dessous, où on remarque un minimum enregistré pendant le mois de juillet avec une valeur de l'ordre de 31.37 %, c'est la saison d'été, et un maximum enregistré pendant le mois de décembre avec une valeur de 66,65 %, c'est la saison d'hiver.

Tab.II.7: Répartition moyenne mensuelle de l'humidité (1976-2008)

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté			
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
Humidité (%)	47,49	53,02	60,28	66,65	65,26	55,91	48,9	43,72	38,6	34,43	31,37	34,91	48.38

(ONM, 2009)



II.5. Le vent:

Les vents sont fréquents, les plus violents se situent au printemps. La direction dominante est Nord-Est, à l'exception des mois d'hivers dont la direction est Sud Ouest.

Le sirocco (Chihili) présente le vent caractérisant la saison d'été souffle fréquemment dans la région, prenant un sens Sud-Nord et jeter des courants d'air chaud parfois avoisiner des vagues de sables. Il faut aussi parler des vents de sables qui ont leurs saisons de prédilection entre février et avril (durant le printemps). Mais heureusement, les véritables tempêtes restent très rares.

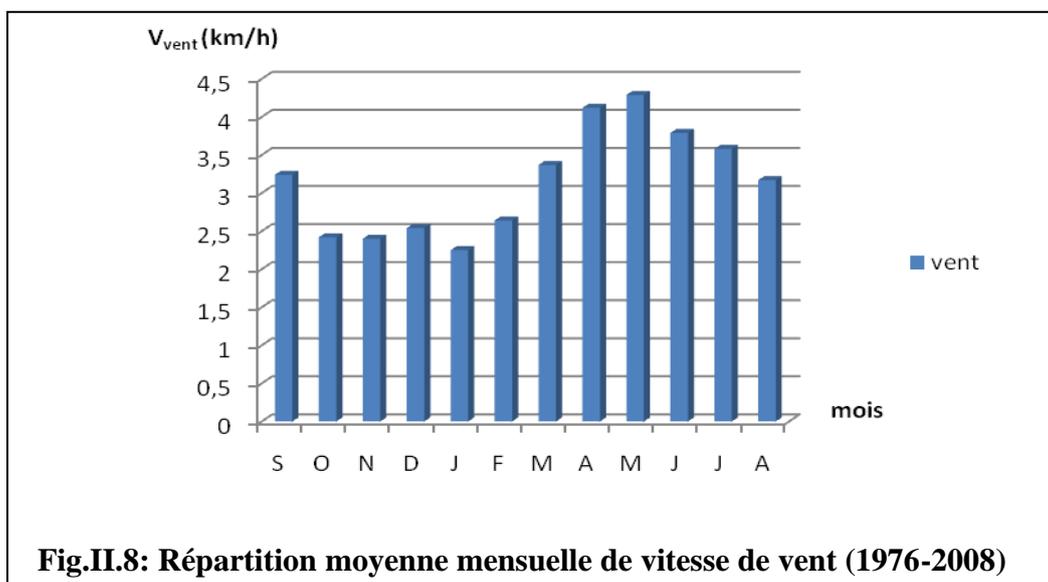
La vitesse moyenne des vents enregistrée pour la période de (1976-2008) est reportée sur le tableau II.8). On remarque qu'au printemps les vents sont les plus forts dominés par le vent d'Est communément appelé "El-Bahri". Ce dernier souffle principalement pendant la période qui s'étale d'Avril à Juillet. En été, il apporte de la fraîcheur, mais il est peu apprécié

au printemps car il donne naissance au vent de sable et retarde la floraison des cultures locales tel que le tabac et le palmier. Ces vents de sable donnent au ciel une couleur jaune et peuvent durer jusqu'à trois jours consécutifs avec une vitesse moyenne de 30 à 40 km/h.

Tab.II.8: Répartition moyenne mensuelle de vitesse du vent (1976-2008)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
V_{vent} (km/h)	3,24	2,42	2,40	2,54	2,25	2,64	3,37	4,12	4,29	3,79	3,58	3,17	3.15

(ONM, 2009)



II.6. L'insolation :

On appelle insolation ou radiation solaire globale la période durant laquelle le soleil peut briller; on la détermine par des mesures directes ou par dépouillement des bandes héliographiques.

Au niveau de la station d'El Oued (Guemar), nous possédons une série des données de 1976 à 2008.

- la durée moyenne d'insolation annuelle est de 282 heures ;
- le maximum est enregistré en juillet avec 351.9 heures ;
- le minimum apparaît en décembre avec 228 heures.

Tab.II.9: Répartition moyenne mensuelle d'insolation (1976-2008)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
Insol (h)	274,4	257,2	233,6	228,0	240,2	248,6	276,5	288,6	307,5	345,9	351,9	331,7	282

(ONM, 2009)

III. CALCUL DES PARAMETRES DE BILAN HYDRIQUE :

III.1. Evapotranspiration ou déficit d'écoulement :

La connaissance du bilan hydrique d'une région consiste à évaluer la répartition des précipitations entre l'écoulement, l'infiltration et l'évaporation.

L'évapotranspiration est définie comme étant une restitution de l'eau sous forme de vapeur de la surface terrestre à l'atmosphère. Cette notion englobe aussi bien la lame d'eau évaporée à partir du sol que celle transpirée par les plantes. Elle est donc un élément très important pour l'établissement du bilan hydrique et dépend des plusieurs paramètres : la température, les précipitations, l'humidité de l'air, le couvert végétal.

III.1.1 Calcul l'évapotranspiration potentielle (ETP) :

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

On utilise la méthode de C.W Thornthwaite pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) et cette dernière avec la formule de Turc pour estimer l'évapotranspiration réelle (ETR).

a. L'évapotranspiration potentielle (ETP) :

Elle est exprimée par la relation :

$$ETP = 16k \times \left[\frac{10T}{I} \right]^a$$

Avec : ETP : évapotranspiration potentielle (mm)

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

I : indice thermique annuel: $I = \sum i$

i : l'indice thermique mensuel : $i = \left[\frac{T}{5} \right]^{1.514}$

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

k : coefficient de correction, qui dépend du temps et de la latitude

Les résultats sont portés sur le tableau suivant :

Tab.II.10: Résultats de l'ETP issus de l'application de la formule de Thornthwaite (1976-2008)

Paramètres Mois	T (°C)	i	K	ETP (mm)
Septembre	29.22	14.48	1.03	140.98
Octobre	22.85	9.98	0.97	72.90
Novembre	16.2	5.93	0.88	28.59
Décembre	11.33	3.45	0.86	11.69
Janvier	10.71	3.17	0.88	10.43
Février	13.16	4.33	0.86	16.84
Mars	17.16	6.47	1.03	38.51
Avril	20.76	8.63	1.09	64.83
Mai	26.33	12.37	1.19	126.35
Juin	31.03	15.86	1.20	190.16
Juillet	34.18	18.36	1.22	244.72
Août	33.89	18.13	1.15	225.94
Année	266.82	121.15	-	1171.93

b. l'évapotranspiration réelle (ETR):

Pour le calcul de l'ETR, nous appliquerons plusieurs méthodes, mais l'ETR s'écarte plus ou moins de l'ETP, selon le climat et la nature de la surface évaporant

- Méthode de Thornthwaite:

Pour le calcul de l'évapotranspiration réelle, on utilise la méthode de

C.WThornthwaite, où on distingue deux cas principaux :

1. Si $P - ETP > 0$; c-à-d : $P > ETP$, dans ce cas $ETR = ETP$.
2. Si $P - ETP < 0$; c-à-d : $P < ETP$, ce cas est subdivisé encore en deux cas :
 1. a- Si $P + RFU > ETP \Rightarrow ETR = ETP$.

2. b- Si $P + RFU < ETP \Rightarrow ETR = P + RFU$.

Les résultats des calculs sont résumés dans les tableaux N°II.11 (bilan hydrique).

- Formule de Turc :

C'est une méthode empirique qui se base sur de nombreuses données hydrologiques, cette expression est la suivante:

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

ETR : L'évapotranspiration réelle annuelle en mm.

P : précipitation moyenne annuelle en (mm).

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

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

Application :

$P=71.32\text{mm}$

$T=21.51^\circ\text{C}$ donc : $L = 300+25*21.51+0.05*(21.51)^3$

$L = 1335.36$

Donc : $ETR= 75.05\text{mm}$.

III.2. Estimation de la réserve facilement utilisable (RFU) :

Elle présente la quantité d'eau emmagasinée dans la couche pédologique (RFU) qui est facilement utilisable par les plantes et nécessaire pour leur bon fonctionnement physiologique.. Son degré de saturation dépend de plusieurs facteurs :

- La nature, la composition lithologique et l'épaisseur de la couche superficielle.
- La profondeur du niveau piézométrique de la nappe aquifère.
- Le climat de la région.
- Le type de la couverture végétale.

On peut calculer la RFU d'après la formule de Hallaire : $RFU = \frac{1}{3} Da.He.P$

RFU : réserve facilement utilisable en cm.

Da : Densité apparente du sol.

He : Humidité équivalente du sol.

P : profondeur de la couche de la terre parcourue par les racines en mm

On prend $RFU = 50\text{mm}$, C'est la valeur maximale de la réserve facilement utilisable, mais seulement dans les régions sahariennes (d'après les agronomes de l'Institut National d'agronomie d'Alger).

IV. Etablissement du bilan :

La formule générale du bilan d'eau donne l'égalité des apports et des pertes évaluées sur une grande période.

$$P = ETR + EX$$

Avec : P : Précipitation en (mm)

ETR : la lame d'eau évaporée réellement en (mm).

EX : Excédent : $EX = R + I$; R : ruissellement, I : infiltration

Le tableau II.11, résume le calcul du bilan hydrique par la méthode de Thornthwaite pour la station météorologique de Guemar à partir de la pluviométrie et des températures mensuelles.

Tab.II.11: Bilan hydrique d'après Thornthwaite (1976-2008)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	<u>Total</u>
P(mm)	5.04	7.48	9.03	6.8	13.78	6.97	7.72	6.8	4.57	1.38	0.51	1.96	72.04
ETP	140.98	72.90	28.59	11.69	10.43	16.84	38.51	64.83	126.35	190.16	244.72	225.94	1171.94
P-ETP	-135.94	-65.42	-19.56	-4.89	3.35	-9.87	-30.79	-58.03	-121.78	-188.78	-244.21	-223.98	-1099.9
RFU	00	00	00	00	3.35	00	00	00	00	00	00	00	3.35
ETR	5.04	7.48	9.03	6.8	10.43	10.32	7.72	6.8	4.57	1.38	0.51	1.96	72.04
DA	135.94	201.36	220.92	225.81	222.46	232.33	263.12	321.15	442.93	631.71	875.92	1099.9	1099.9
EX	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00

- **Formules de vérification :**

$$1. \sum P = \sum ETR + \sum EX$$

$$\text{On a : } \sum ETR + \sum EX = 72.04 + 0$$

$$= 72.04$$

$$= \sum P$$

$$2. \sum ETP = \sum ETR + \sum DA$$

On a :

$$\sum ETR + \sum DA = 72.04 + 1099.9$$

$$= 1171.94$$

$$= \sum ETP$$

Au terme de ce bilan hydrique pour la station de Guemar selon Thorntwaite, nous pouvons dire que :

- Au cours de l'année, la pluviométrie annuelle dépasse une fois l'évapotranspiration potentielle.
- l'ETP atteint le maximum au mois de Juillet (244.72 mm) et son minimum au mois de Janvier (10.43 mm).
- La constitution de la RFU ne s'effectue qu'au mois de Janvier avec une valeur de 3.35 mm et le reste de l'année est épuisée.
- La sécheresse constitue une partie prédominante de l'année hydrologique. Elle dure 11 mois de l'année (sauf Janvier).
- Il y a un déficit agricole durant toute l'année d'où la nécessité d'irriguer.
- L'excédent est nul durant toutes les saisons de l'année, d'où l'alimentation de l'aquifère ne se fait probablement donc qu'à partir des limites.

V- CONCLUSION:

L'analyse climatique a permis de ressortir les résultats suivants :

- La précipitation mensuelle interannuelle est de l'ordre de 72.04 mm.
- La température moyenne mensuelle est de l'ordre 21.51 C°.
- La région de Souf a un climat hyper aride;
- Le mois le plus humide est Décembre (moyenne interannuelle 66.65%) et d'un faible rayonnement solaire (moyenne de 228 heures)
- Le mois le plus sec est Juillet caractérisé par une faible humidité (moyenne de 31.37 %). La brillance de soleil est très élevée (moyenne de 282 heures) ce qui traduit un pouvoir évaporant excessif.
- L'évapotranspiration réelle moyenne est de l'ordre de 72.04 mm soit 100 % des précipitations annuelles (selon la méthode de Thorntwaite).
- Le déficit agricole est de l'ordre de 1099.9mm.

Ces résultats montrent que les conditions climatiques (infiltration efficace) ne contribuent pas à la recharge de la nappe libre.

CHAPITRE III :
HYDROGEOLOGIE ET
HYDRODYNAMIQUE

I. INTRODUCTION :

L'étude hydrogéologique a pour finalité la planification de l'exploitation des ressources en eaux souterraines, ce-ci après avoir une idée sur le comportement et l'évolution de la surface piézométrique, ainsi sur le comportement hydrodynamique et les conditions aux limites de ces ressources.

Le dimensionnement de la couche mouillée et l'estimation de volume de réservoir nécessitent la mise en évidence :

- Des niveaux piézométriques grâce à la carte piézométrique.
- De la carte de substratum de l'aquifère.
- Des paramètres hydrodynamiques de la nappe (perméabilité, transmissivité, coefficient d'emménagement, porosité).

II. PRESENTATION DES NAPPES AQUIFERES DE LA REGION D'ETUDE :

Du point de vue hydrogéologie, la région d'El Oued est représentée par deux systèmes aquifères, à savoir : le Complexe Terminal et le Continental Intercalaire. Ces deux systèmes sont surmontés par une nappe libre appelée nappe phréatique.

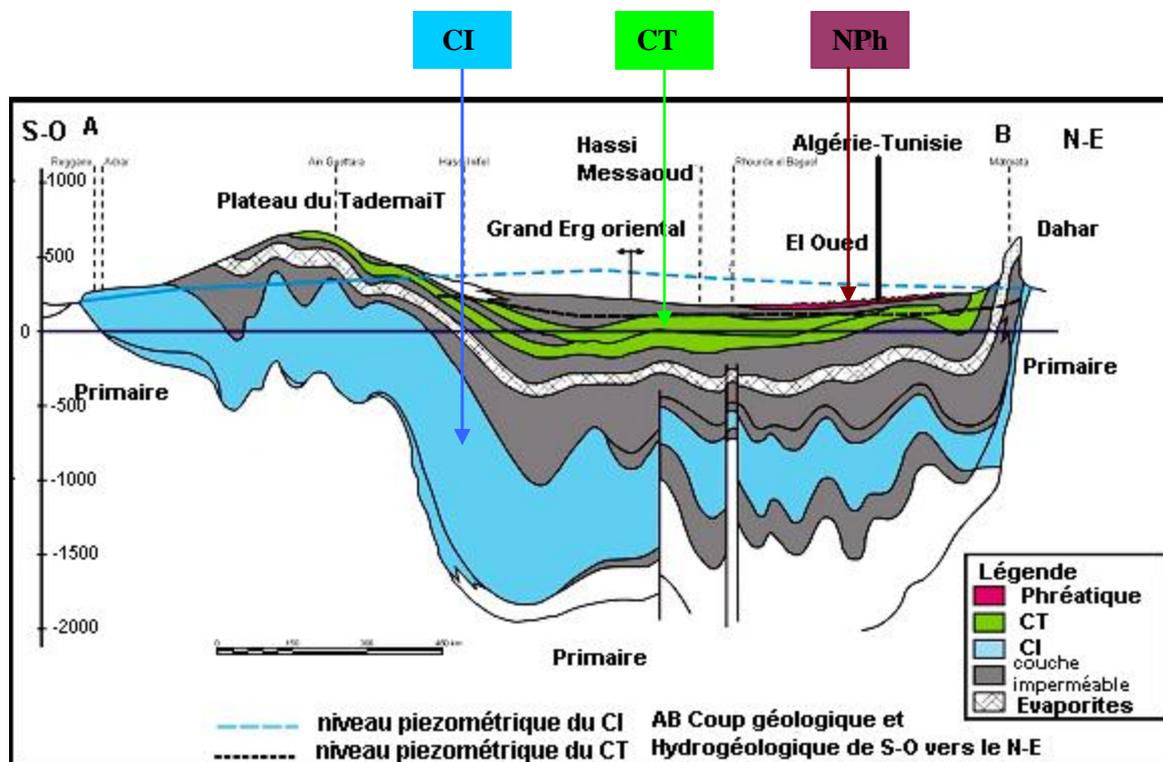


Fig.III.1: Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO, 1972)

II.1. Nappe Phréatique :

La nappe phréatique présente dans toute la région du Souf, correspond essentiellement à la partie supérieure des formations continentales déposées à la fin du Quaternaire; elle se localise à des profondeurs variant entre 10 et 60 mètres

Vu sur son importance, cette nappe représente la source principale en eau des palmeraies; elle est surtout exploitée par des puits traditionnels qui selon les enquêtes sont en nombre de 21 000.

La circulation des eaux dans cette nappe est relativement rapide sur toute la région du Souf et particulièrement dans les zones caractérisées par l'existence de lentilles argileuses qui influent sur la perméabilité des sables. Excepté la région des Chotts, la nappe libre est présente sur toute la zone d'étude.

La nappe phréatique dans la région du Souf est principalement alimentée par les eaux utilisées par les populations (les eaux d'irrigation, industrielles et domestiques) et la source absolue de ces dernières est des nappes profondes du Complexe Terminale et Continentale Intercalaire (Marc Cote, 1998).

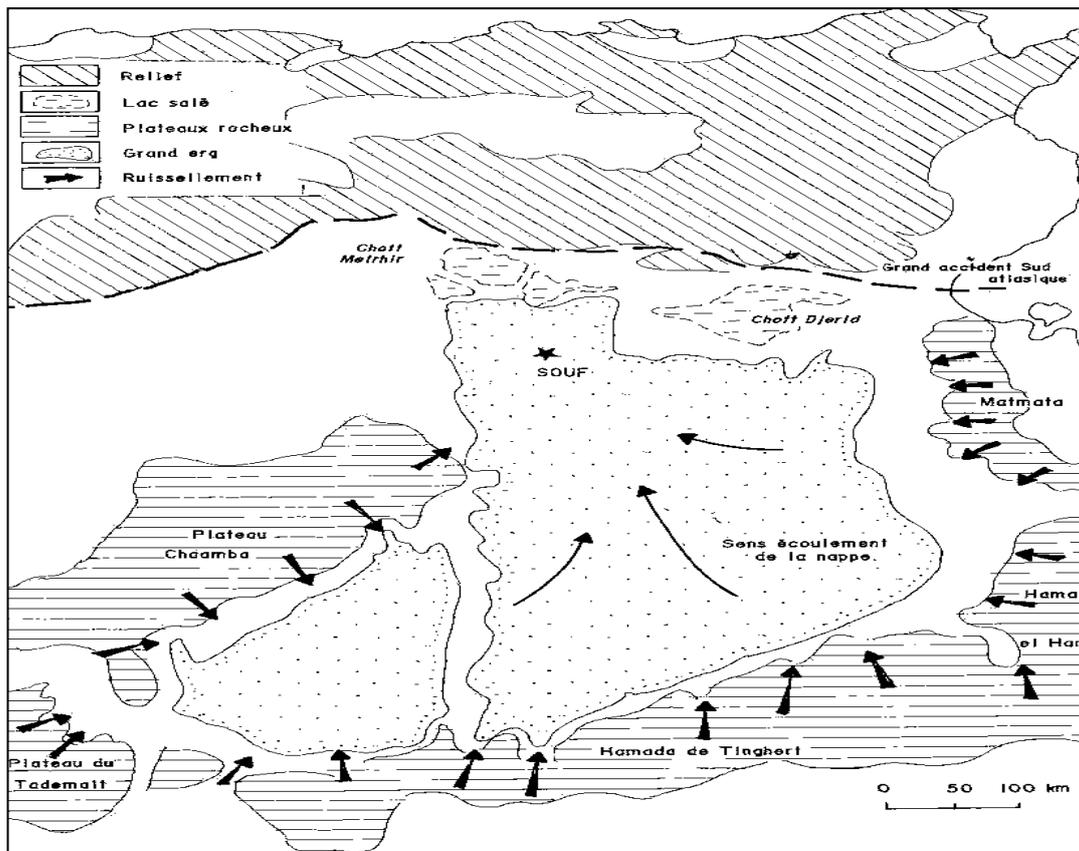


Fig. III.2: Zone d'alimentation de la nappe phréatique et le sens d'écoulement de la nappe (Cote Marc, 2006)

II.2. Nappe du Complexe Terminal (CT):

Ce terme regroupe sous une même dénomination, un ensemble de nappes aquifères qui sont situés dans la formation géologique différentes : Sénonien carbonaté, Eocène et Miopliocène sableux.

D'après CORNET 1964, nous rappelons l'existence des 03 nappes dont les deux premières correspondent respectivement aux nappes de sables d'âge Miocène (Pontien) et Pliocène, alors que la dernière à l'Eocène inférieur.

a- Nappes des sables :

Au sein de ces niveaux sableux, vient s'engendrer deux nappes captives, dont la première correspond à la formation supérieure du Complexe Terminal appelée communément réservoir du « Sub-Souf ». Cette nappe constituée de sables grossiers et faisant partie du Complexe Terminal mène progressivement vers le Nord du Sahara en direction de la fosse Sud aurésienne, dans la région d'étude elle se trouve à 280 mètres de profondeur.

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

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

Dans la zone à fortes exploitations telle que la ville d'El-Oued, l'extraction des eaux se fait par pompage. Par contre dans les régions où l'exploitation est moindre à Taleb Laarbi et Douar El Maa, la nappe est exploitée à ce jour artisanalement. C'est le cas de la nappe Pontienne.

b- Les nappes de calcaires :

Le Complexe Terminal possède une litho-stratigraphie plus complexe; les forages captant cette nappe nous montrent l'existence de deux niveaux servant de repère pour la classification des eaux souterraines ; du Sud au Nord, nous observons l'existence d'un premier niveau calcaire mieux individualisé, parfois il est purement calcaire, quelque fois il est formé par des calcaires gypseux. Il correspond au niveau inférieur.

Le niveau supérieur, principalement représenté par des calcaires siliceux, est considéré comme une zone de transition entre la nappe des calcaires et celle des sables. Dans l'ensemble, ces deux niveaux sont séparés par des formations tantôt marneuses, tantôt sableuses avec des passées d'argile rouge.

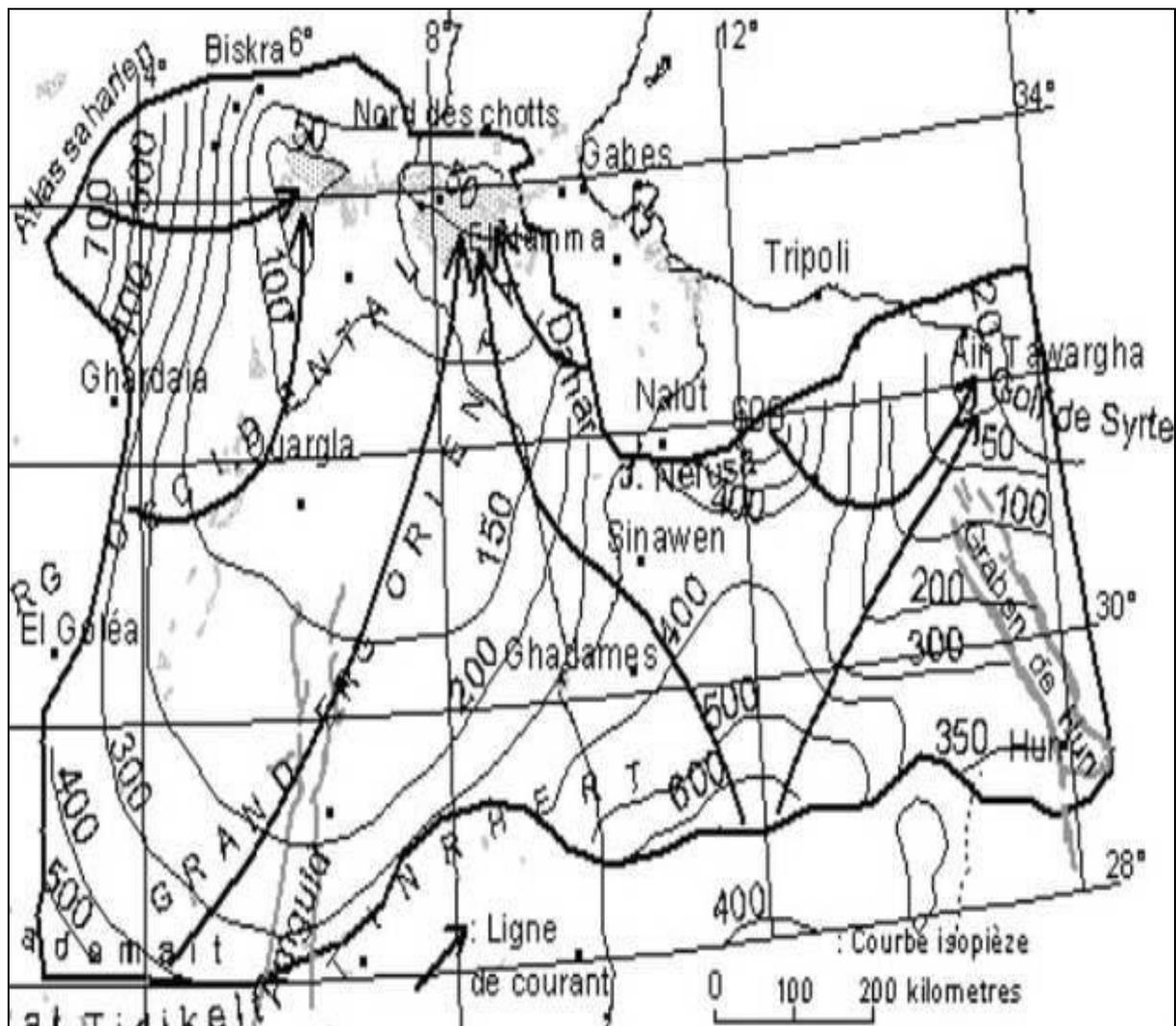


Fig. III.3: Limites de l'aquifère du Complexe terminale avec les niveaux piézométrique et les sens d'écoulement (Baba SY et al., 2006)

II. 3. Nappe du Continent Intercalaire (CI) :

Le terme « C.I » correspond ainsi aux formations continentales du Crétacé inférieur cette période se situe entre deux cycles sédimentaires régité par une régression marine suivit d'une transgression du Crétacé supérieur.

Le Continent Intercalaire occupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base Trias et le sommet de l'Albien.

Le traitement manquant du réservoir aquifère du Continental Intercalaire est son volume considérable dû à la fois à son extension sur plus de 600 000 Km² et son épaisseur moyenne de plusieurs centaines de mètres. Bien que l'intérêt majeur de ce système

aquifère soit constitué par les grandes quantités d’eaux qui ont été stockées au cours des périodes pluvieuses du Quaternaire et qui peuvent maintenant être exploitées ; il reçoit encore de nos jours une alimentation naturelle par les eaux météoriques et présente donc un fonctionnement hydraulique caractérisé par une alimentation, un écoulement et une série d’exutoire.

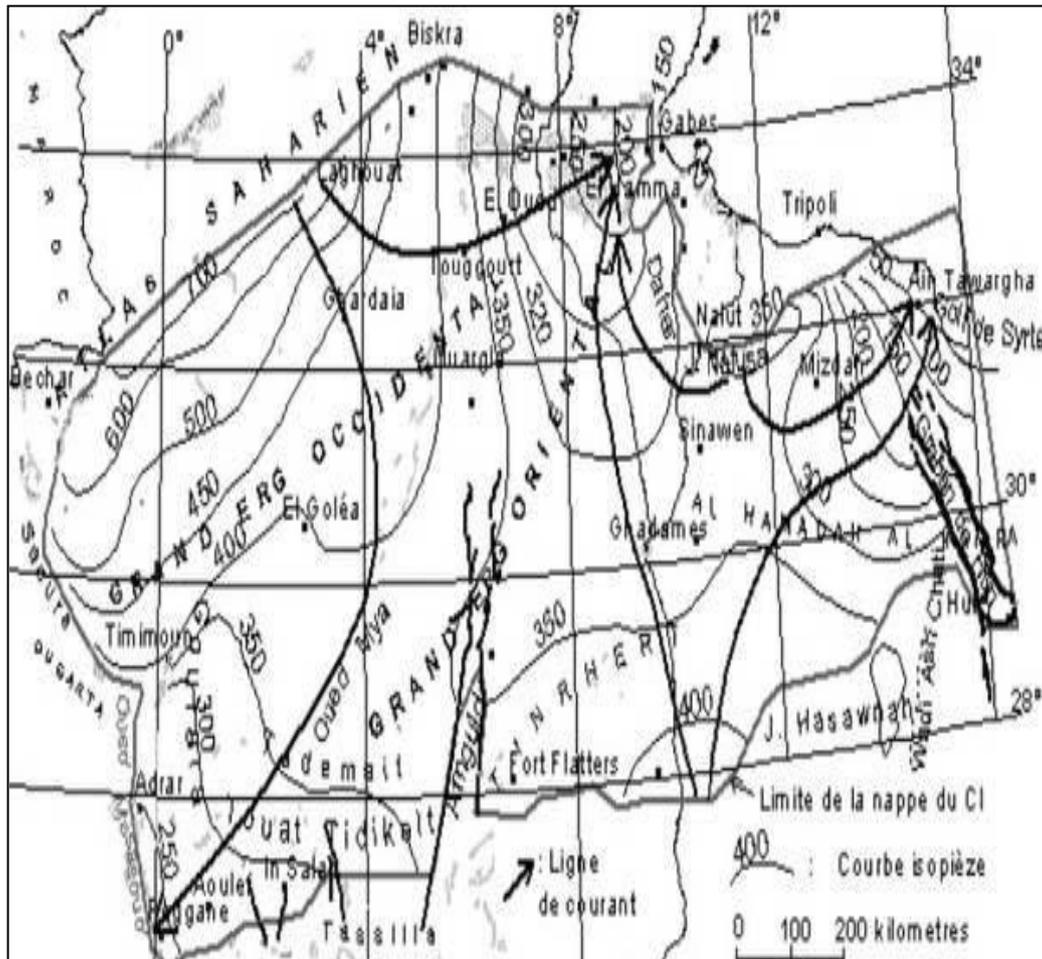


Fig. III.4: Limite de l'aquifère du Continental Intercalaire avec les niveaux piézométrique et le sens d'écoulement (Baba SY et al., 2006)

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

a) piémont sud atlasique au Nord-Ouest, b) Tinrhert au Sud, c) Dahar à l'Est, d) Jebel Nafusa au Nord-est, e) Jebel Hassawna au Sud, où la nappe du Cambro-Ordovicien est drainée vers le Nord par la nappe du Continental Intercalaire (Fig. III.5).

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 jalonne en 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, 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 Xe 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.

III. ESTIMATION DES RESERVES :

Les études hydrogéologiques montrent que le Sahara renferme d'énormes réserves d'eaux souterraines, constituée par des grès de porosité 25%, le bassin considéré ayant 600 000 Km² (en Algérie), l'étude UNESCO (1972) évalue approximativement la réserve d'eau moyenne de l'ensemble des aquifères du CI et du CT à $60000 \times 10^9 \text{ m}^3$.

MARGAT (1992), sans détail précis sur la méthode de calcul, fait état de $40000 \times 10^9 \text{ m}^3$ de réserves aquifères du CI. Il évalue la réserve du CT (couvrant 350 000 Km²) à $20\ 000 \times 10^9 \text{ m}^3$.

Nous tentons, ici, d'évaluer la ressource dans les aquifères du Sahara septentrional au dessous de la région du Souf. Les réserves totales contenues dans le réservoir représentent le volume total des formations aquifères, auquel est appliquée la porosité efficace (OSS 2002).

L'estimation des réserves, des aquifères de la nappe phréatique, du CT et du CI est rendue possible après la connaissance de l'épaisseur moyen de chaque aquifère

Tab.III.1: Récapitulatif des systèmes aquifères d'El-Oued

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

(Bousalsal B, 2007)

Le volume utile ou la réserve est calculée par la formule : $V = e \times s \times ne$

Où e : épaisseur moyen

s : la superficie

ne : la porosité efficace

D'après les études faites par l'ANRH pour mieux connaître les aquifères du Sahara septentrional, ces études nous a permis d'avoir une estimation de l'épaisseur moyen de chaque aquifères.

Tab. III.2 : Épaisseur moyen des différents aquifères et estimation de la réserve

Aquifère	Nappe phréatique	CT	CI
Épaisseur mouillée (ANRH : 2005)	45m	342m	385m
Superficie s	$11738 \text{ km}^2 = 11738000000 \text{ m}^2$		
porosité efficace ne	12.49×10^{-2}	5×10^{-2}	5×10^{-2}
Réserves en m ³	$65.97 \times 10^9 \text{ m}^3$	$200 \times 10^9 \text{ m}^3$	$226 \times 10^9 \text{ m}^3$

IV. INVENTAIRE DES POINTS D'EAU :

La nappe du complexe terminal (CT) dans la vallée d'Oued-Souf est très sollicitée notamment pour l'AEP, d'après l'inventaire 2012 on a montré que les 106 forages sont utilisés pour l'alimentation en eau potable et 24 forages sont utilisés pour l'irrigation

◆ **Caractéristiques des puits de la nappe phréatique :**

Les points d'eau retenus durant la campagne piézométrique sont répartis d'une manière inégale à travers la plaine. Ils sont pour la plupart des puits domestiques non couverts, creusés à la main et construits en brique ou en pierre, de profondeur et diamètre variable de 1 à 2 mètres, équipé généralement de motopompes non adaptés aux caractéristiques du puits. Ils sont destinés à l'irrigation des cultures saisonnières.

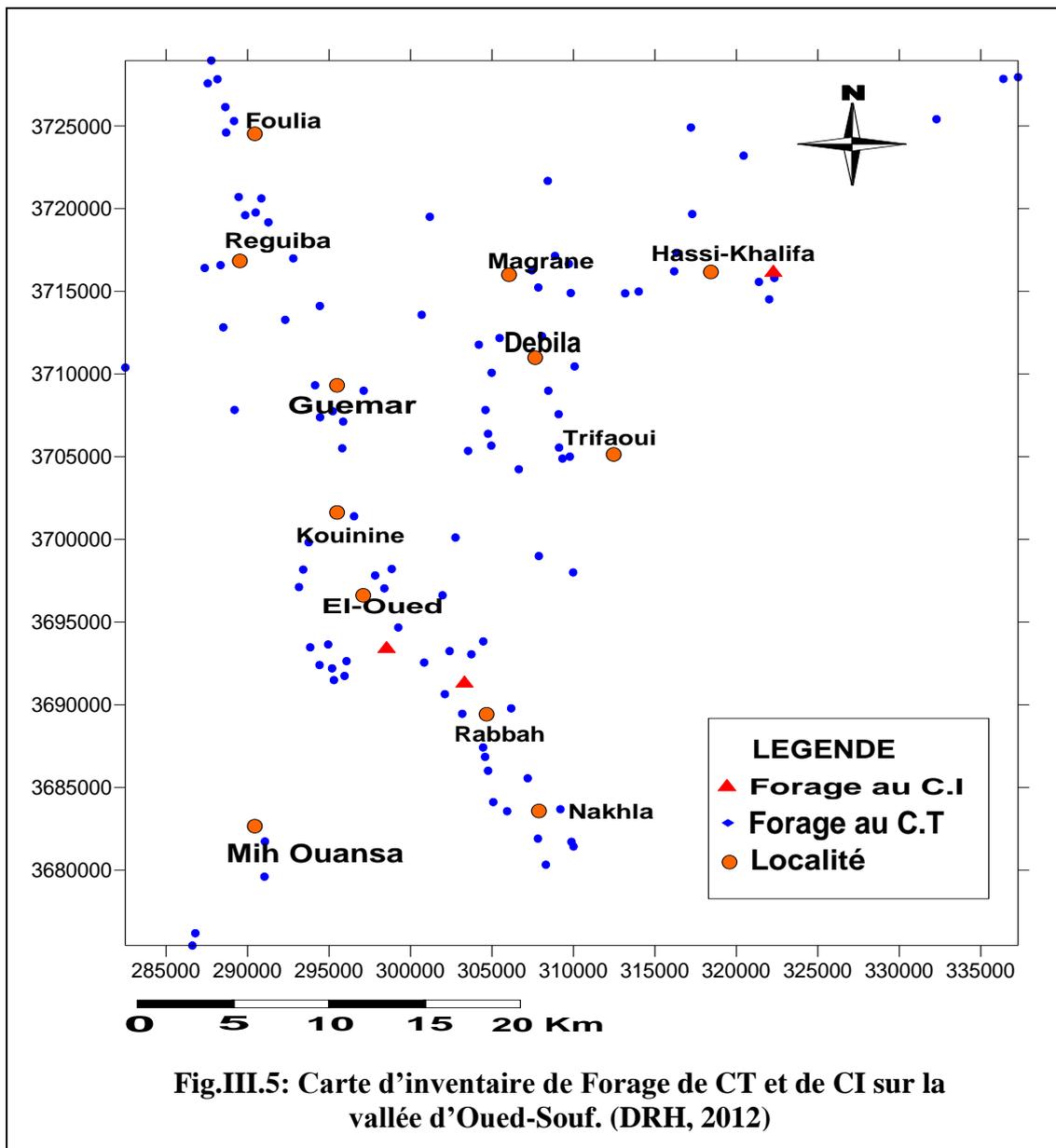


Fig.III.5: Carte d'inventaire de Forage de CT et de CI sur la vallée d'Oued-Souf. (DRH, 2012)

V. CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES DE LA NAPPE DU CT :

La détermination des caractéristiques hydrauliques de la nappe de complexe terminal se fait par des pompages d'essais.

Cette méthode consiste à représenter expérimentalement par des graphiques, les courbes et les droites des fonctions mathématiques régissant l'écoulement des eaux souterraines vers les ouvrages de captage.

L'étude de ces graphiques permet :

- D'analyser l'évolution du cône de dépression de la surface piézométrique ;
- De préciser les principales caractéristiques hydrauliques de la nappe ;
- De voir en temps réel l'effet de l'exploitation de l'aquifère.

V.1. Expérimentations des pompages d'essais:

- **Essais de puits :** Cet essai consiste en l'exécution de pompage par palier de débit de courte durée avec la mesure du niveau d'eau dans le puits. Cet essai permet de déterminer les caractéristiques du complexe : aquifère / ouvrage de captage. La manière la plus rentable sans très solliciter la nappe, est de n'extraire que la réserve régulatrice afin d'éviter une surexploitation minière de la ressource. Cela n'est possible que si le débit d'exploitation est inférieur au débit critique en respectant le nombre d'heure de pompage par jour.
- **Essais de nappe :** Cet essai est réalisé en un seul palier de débit de longue durée, avec la mesure des niveaux d'eau dans le forage (rabattement) et dans des piézomètres si c'est possible. Ce type d'essai est utilisé dans le but de déterminer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère (Transmissivité, Coefficient d'emménagement...). Il faut noter que l'interprétation n'est possible que si le type d'aquifère est identifié.

V.2. Essais des pompages :

Des essais de pompage par paliers et de longue durée ont été réalisés sur 03 sites répartis dans la zone d'étude de la vallée d'Oued- Souf, à Guemar (F 87- EL-Houd) , Magrane (F58 - Hammadine) , Bayadha (F31- Soualah).

L'essai par paliers est composé de quatre paliers de 6 heures chacun à débit constant, séparés par un intervalle d'au moins 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 pompages d'essais repose sur des méthodes graphiques d'approximation. Après l'utilisation du logiciel (Aquifer Test), ces méthodes sont toutes basées sur les hypothèses suivantes :

1. Le débit est supposé constant pendant toute la durée de pompage ;
2. La surface de la nappe est supposée horizontale ;
3. le forage capte la nappe sur la totalité de son épaisseur ;
4. L'écoulement est supposé laminaire ;
5. L'aquifère est illimité.

V.3. Interprétation des données des essais du pompage à longue durée:

V.3.1. Forage F 87 (-El-Houd-commune de Guemar):

Ce forage est implanté dans la partie Nord-Ouest de la ville de Guemar à proximité de la route RN 48 entre Guemar–Réguiba Wilaya d'EL-Oued au coordonnées Lambert (X=881.700 m, Y=327.900 m) de 363 m de profondeur (Annexe I).

L'essai qui a été réalisé a duré 72 heures pour la descente et avec un débit constant de 45 l/s.

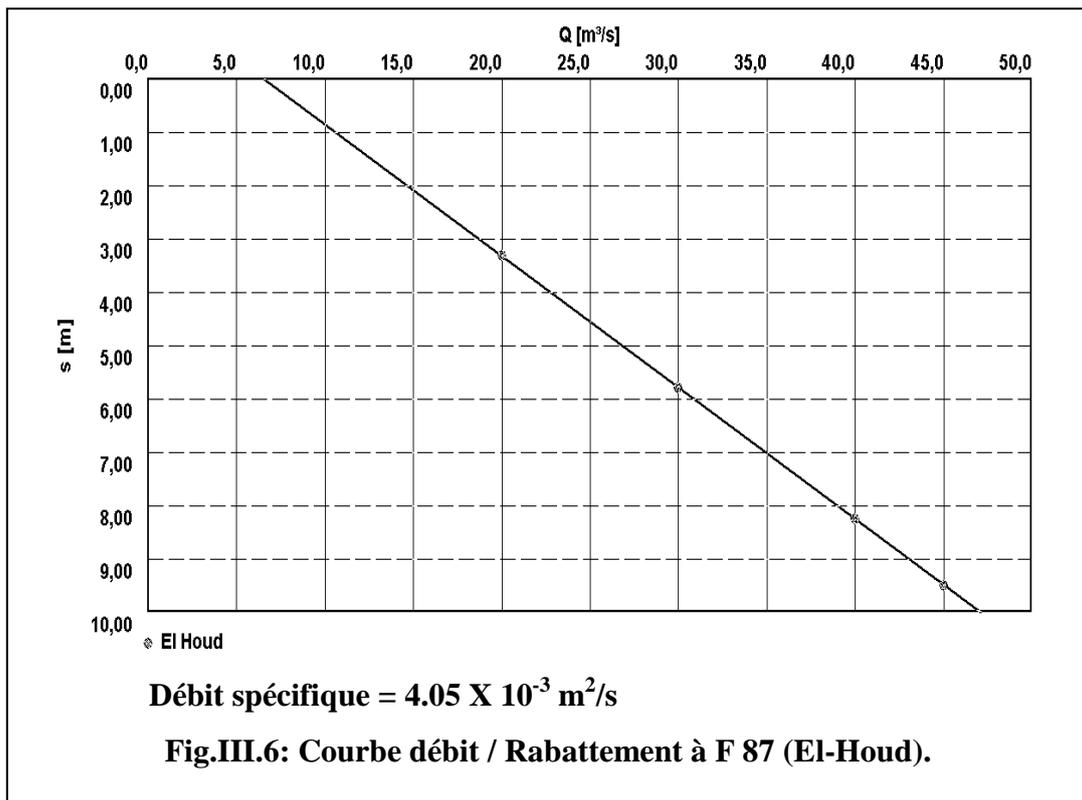
**Tab. III.3 : Calcul de débit spécifique : Valeurs débits /rabattements
F 87 (-El-Houd)**

Palier	Niveau dynamique (m)	Rabattement $\Delta s(m)$	Débit (l/s)
01	27.28	03.32	20
02	29.75	05.79	30
03	32.20	08.24	40
04	33.45	09.49	45

a. Débits spécifiques :

Après l'utilisation du logiciel (Aquifer Test), le débit spécifique est déterminé à partir de la droite débits- rabattement à un temps de 360 minutes (6h). Les rabattements correspondants aux différents paliers sont respectivement : 3.32m, 05.79 m, 8.24m et 9.49m (Tableau III.3).

Débits spécifiques (m^2/s) = débit (m^3/s) / rabattement (m).



b. Perméabilité :

"La perméabilité est l'aptitude d'un réservoir à se laisser traverser par l'eau sous l'effet d'un gradient hydraulique" (G. CASTANY). Elle est mesurée notamment par le coefficient de perméabilité K défini par la loi de Darcy comme le volume d'eau gravitaire traversant une unité de section perpendiculaire à l'écoulement en 1 seconde sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique. En prenant comme unités le m^2 et le m^3 , K est exprimé en m/s .

- Coefficient de perméabilité (K) :

Le coefficient de perméabilité dépend à la fois des caractéristiques du réservoir (granulométrie, porosité efficace) et des caractéristique du fluide (viscosité, donc température, et masse volumique).

Le coefficient de perméabilité d'un sol est un coefficient important dépendant de :

- la granulométrie du sol.
- la nature du sol.
- les caractéristiques physiques du liquide, viscosité (eau).
- degré de consolidation du sol.

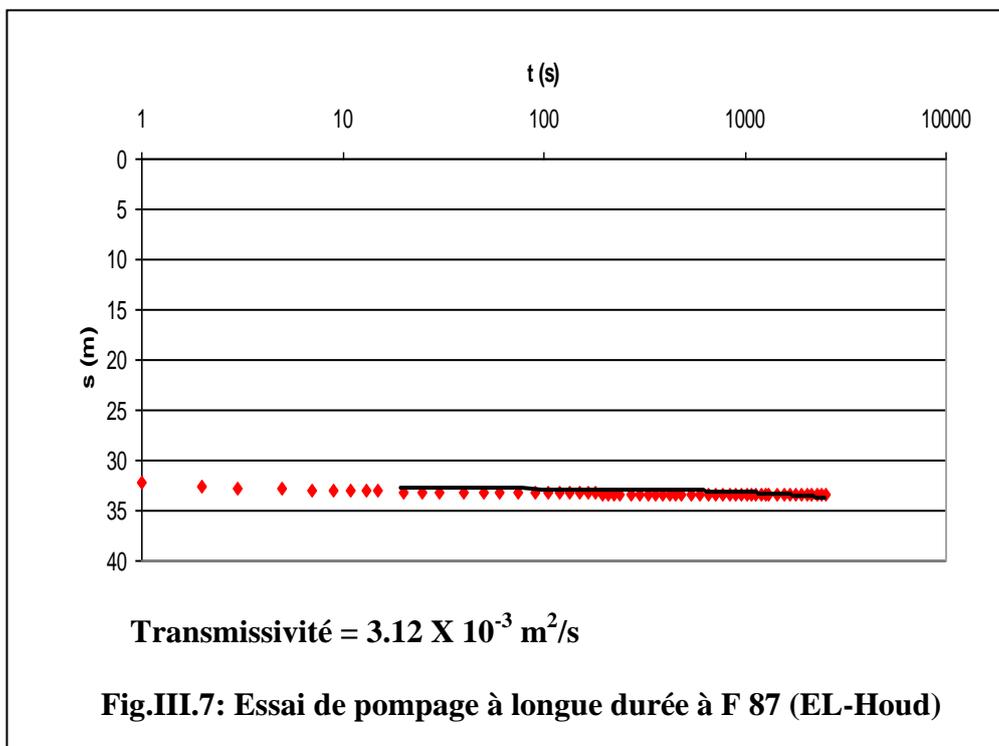
D'après les calculs, le coefficient de la perméabilité K est : $4.73 \times 10^{-4} \text{ m/s}$.

c. Calcul du coefficient d'emmagasinement :

La storativité S d'un aquifère, ou coefficient d'emmagasinement, est le volume d'eau libérée ou stockée par l'aquifère par unité d'aire horizontale de l'aquifère par unité de variation du gradient hydraulique. La storativité dépend en général des propriétés élastiques de l'eau et du milieu.

Le coefficient d'emmagasinement est obtenu par calcul numérique dans le deuxième terme de l'expression de Jacob. Ou, plus simplement, avec t_0 , lorsqu'il peut être déterminé, par l'expression suivante : $S = 2.25T t_0 / r^2$

Il faut noter que ce paramètre ne peut être calculé correctement que si on a des mesures au niveau d'un piézomètre ce qui n'est pas le cas pour les présents essais.



V.3.2. Forage F 58 (Hammadine) commune de Magrane :

Ce forage est implanté dans la partie Nord-Ouest de la ville de Magrane wilaya d'EL-Oued au coordonnées Lambert (X=881.700 m, Y=327.900 m) de 386 m de profondeur (Annexe II). L'essai qui a été réalisé a duré 72 heures pour la descente et avec un débit constant de 37 l/s.

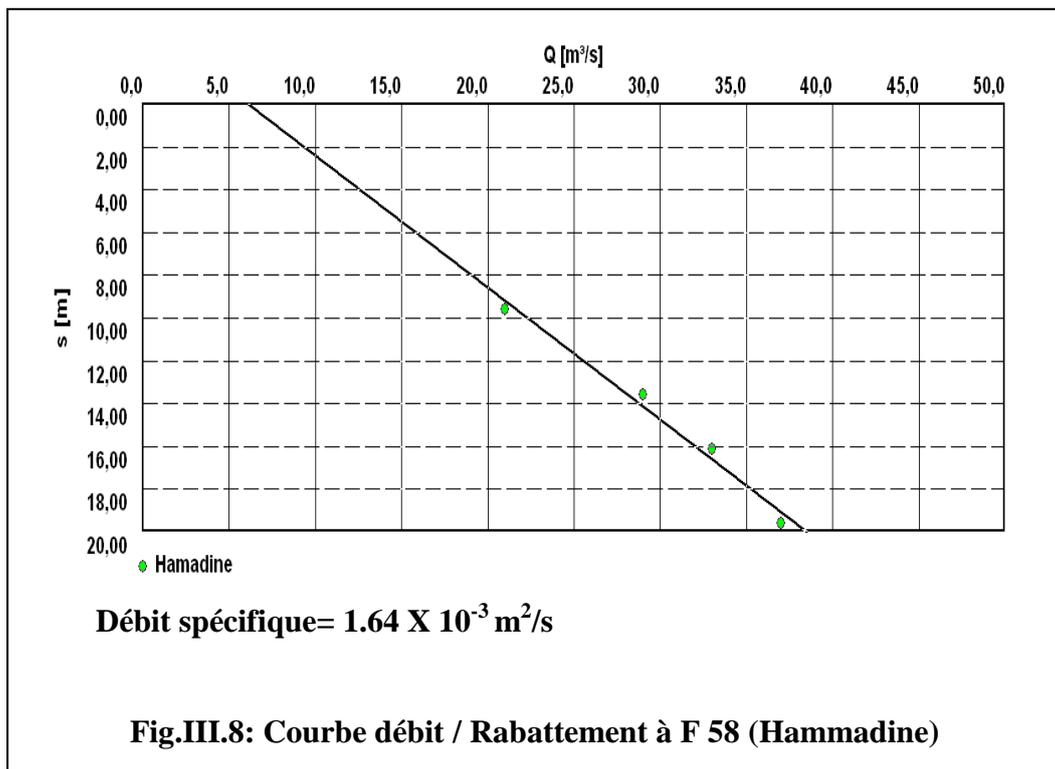
**Tab. III.4 : Calcul de débit spécifique : Valeurs débits /rabattements
F 58 (Hammadine)**

Palier	Niveau dynamique (m)	Rabattement $\Delta s(m)$	Débit (l/s)
01	30.70	9.70	21
02	34.70	13.70	29
03	37.12	16.12	33
04	40.60	19.6	37

a. Débits spécifiques :

Le débit spécifique est déterminé à partir de la droite débits- rabattement à un temps de 480 minutes (8h). Le rabattement à 21 l/s est de 9.70m, celui à 29 l/s est de 13.70m, celui à 33 l/s est de 16.12 m et celui à 37 l/s (essai longue durée) est de 19.60 m.

Débits spécifiques (m^2/s) =débit (m^3/s) / rabattement (m).



b. La transmissivité:

La transmissivité est le débit d'eau qui s'écoule par unité de largeur d'un aquifère sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique. Elle représente la capacité de l'aquifère à transmettre l'eau à travers une unité de surface. Elle peut donc nous situer sur la perméabilité du milieu.

Selon que cette valeur est élevée ou faible l'aquifère peut être jugé bon ou mauvais. Pour sa détermination plusieurs méthodes empiriques ont été établies (Theis, Cooper-Jacob, Banton-Bangoy).

Dans le cadre de notre étude, la méthode utilisée est celle de Cooper- Jacob.

- **L'approximation logarithmique de Cooper-Jacob :**

La transmissivité est calculée par la pente de la droite représentative l'échelle des coordonnées n'étant pas homogène, la pente est déterminée par l'accroissement des rabattements (ou des profondeurs des niveaux d'eau) au cours d'un module logarithmique.

$$T = \frac{0,183Q}{C}$$

T: La transmissivité en (m²/s).

Q: Le débit (longue durée) en (m³/s).

C : La pente moyenne (‰).

- **Par la méthode de Theis:**

L'équation de la remontée, après arrêt du pompage est la suivante:

$$R = \frac{Q}{4\pi T} \times \text{Log}\left(\frac{t+t'}{t'}\right) \Rightarrow R = \frac{Q}{4\pi S} \times \text{Log}\left(1 + \frac{t}{t'}\right)$$

T: La transmissivité en (m²/s).

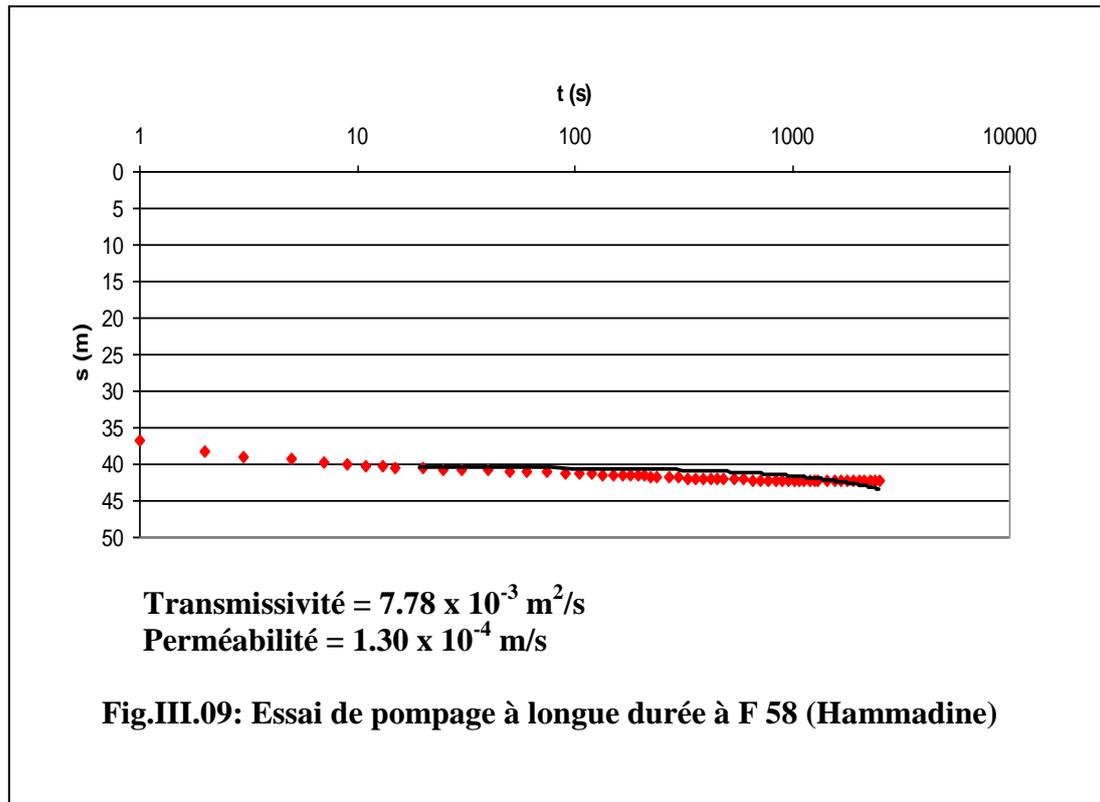
Q: Le débit (longue durée) en (m³/s).

R: Le rabattement (moyen) en tout point, à partir de l'arrêt du pompage en (m).

t : Le temps écoulé depuis le début du pompage en (s).

t': Le temps écoulé depuis l'arrêt du pompage (temps de remontée) en (s).

E: L'épaisseur de l'aquifère (m).



V.3.3. Forage F31 (Soualah) commune de Bayadha :

Ce forage est implanté dans la partie Nord-Ouest de la ville de Bayadha wilaya d'El-Oued au coordonnées Lambert (X=881.700 m, Y=327.900 m) de 386 m de profondeur (Annexe III).

L'essai qui a été réalisé a duré 72 heures pour la descente et avec un débit constant de 35 l/s.

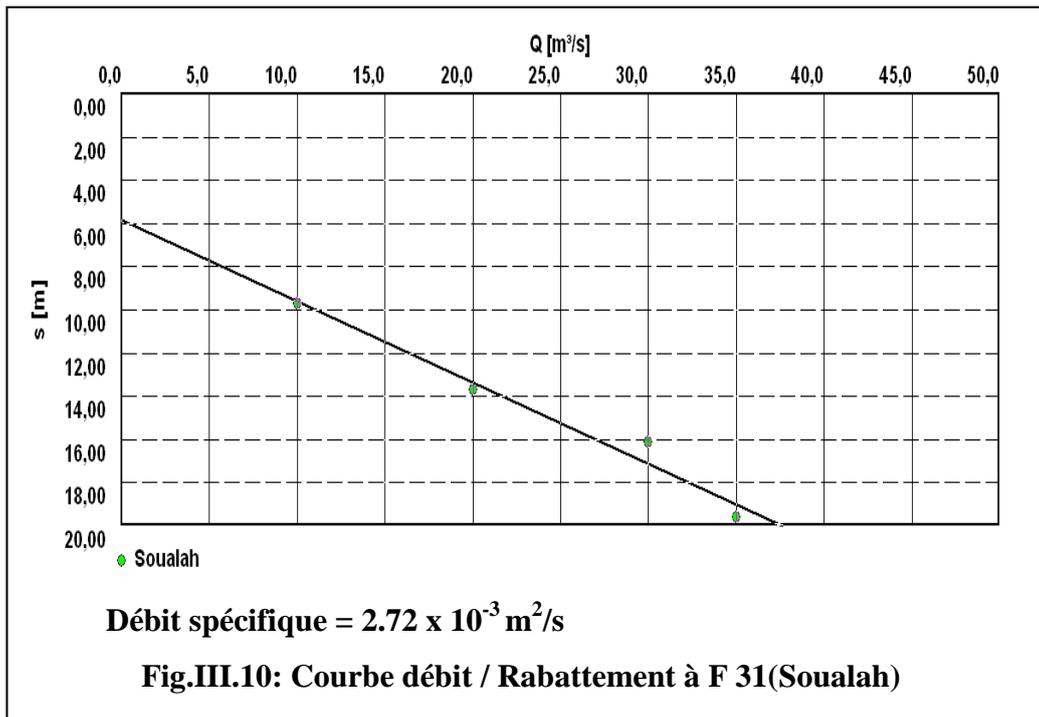
**Tab. III.5 : Calcul de débit spécifique : Valeurs débits /rabattements
Forage F31 (Soualah)**

Palier	Niveau dynamique (m)	Rabattement $\Delta s(m)$	Débit (l/s)
01	33.12	9.70	10
02	36.68	13.70	20
03	40.42	16.12	30
04	42.30	19.6	35

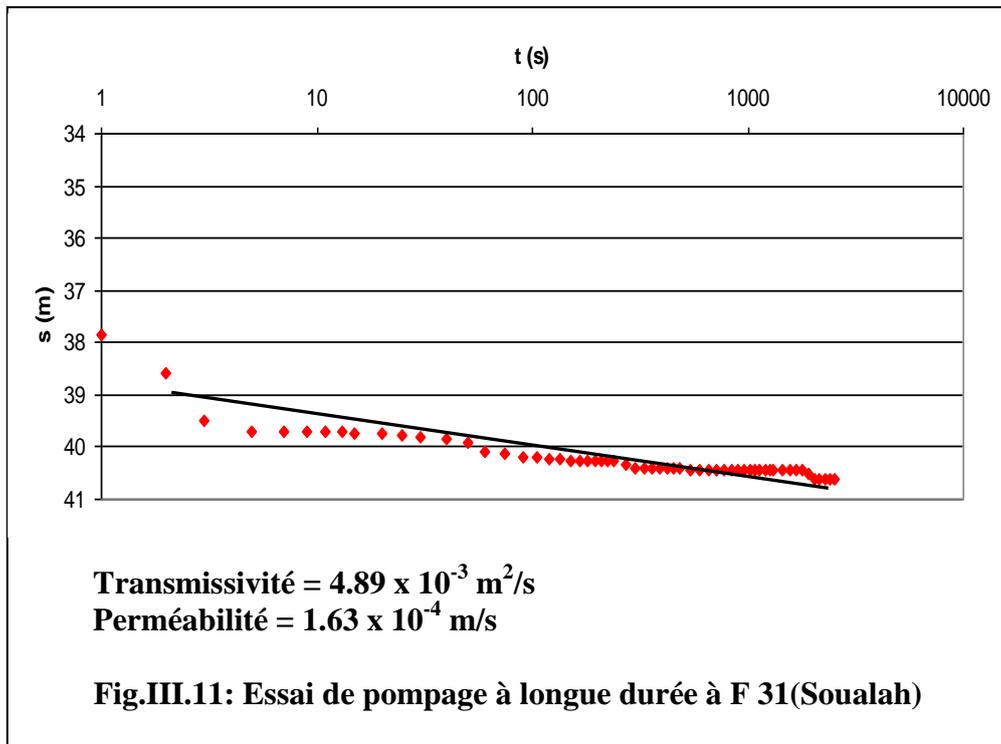
a. Débits spécifiques :

Le débit spécifique est déterminé à partir de la droite débits- rabattement à un temps de 360 s (6h). Le rabattement à 20 l/s est de 3.32m, celui à 30 l/s est de 5.79m, celui à 40 l/s est de 8.24m et celui à 45 l/s (essai longue durée) est de 9.49m.

Débits spécifiques (m^2/s) = débit (m^3/s) / rabattement (m).



b. La Perméabilité et la transmissivité:



Tab.III.6: Récapitule des résultats des paramètres hydrodynamiques pour les 03 sites d'essai.

Essai (station)	Débit Spécifique (m^2/s)	T (Cooper-Jacob) (m^2/s)	K (Cooper – Jacob) (m/s)
Guemar	4.06×10^{-3}	3.12×10^{-3}	4.73×10^{-4}
Magrane	1.64×10^{-3}	7.78×10^{-3}	1.30×10^{-4}
Bayadha	2.72×10^{-3}	4.89×10^{-3}	1.63×10^{-4}
Moyenne	2.81×10^{-3}	5.26×10^{-3}	2.55×10^{-4}

Les transmissivités sont homogènes sur la même station d'essai et les valeurs sont semblables, que ce soit en pompage ou après l'arrêt de celui-ci. D'une station à l'autre, les écarts sont peu importants, de l'ordre de 1 à 4 entre les extrêmes avec $3.12 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ à Guémar et $7.78 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ à Magrane. La transmissivité moyenne est de $5.26 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

La perméabilité moyenne est de 2.55×10^{-4} m/s est du même ordre que la perméabilité moyenne mesurée lors des essais d'infiltration ($1,6 \times 10^{-4}$ m/s).

V-4. Etude piézométrique de la nappe du Complexe Terminal (CT):

La mesure de niveau des eaux souterraines, est effectuée à l'aide d'une sonde électrique, dont le capteur est réactif à la conductivité de l'eau. Lorsque la sonde atteint le niveau de l'interface air/eau, un contact électrique est établie entre deux tiges métalliques, déclenchant un signal sonore et lumineux.

D'après les mesures piézométriques faites en 2010 et 2011 par la Direction des ressources hydriques (DRH) d'EL-Oued on obtient les résultats suivants :

Tab.III.7: Niveau piézométrique de la nappe du CT.

Commune	Niveau Piézométrique (m)	
	Mars 2010	Mars 2011
Mouihouensa	66	68
El Oued	72,15	72,9
El Oglâ	59,1	59
Robbah	81.9	82.7
Taghzout	71,2	71,9
Guemmar	35,3	36,6
Reguiba	43,82	44,4
Hassani A.El Krim	49,33	51
Trifaoui	80,4	81
Debila	41,55	42,5
Hassi Khalifa	21	22,5

(DRH, 2011)

Tab.III.8: Niveau piézométrique moyen de la nappe du CT (max et min)

Mars 2010		Mars 2011	
NP max (m)	NP min (m)	NP Max (m)	NP min (m)
84,5	18,2	81,9	20

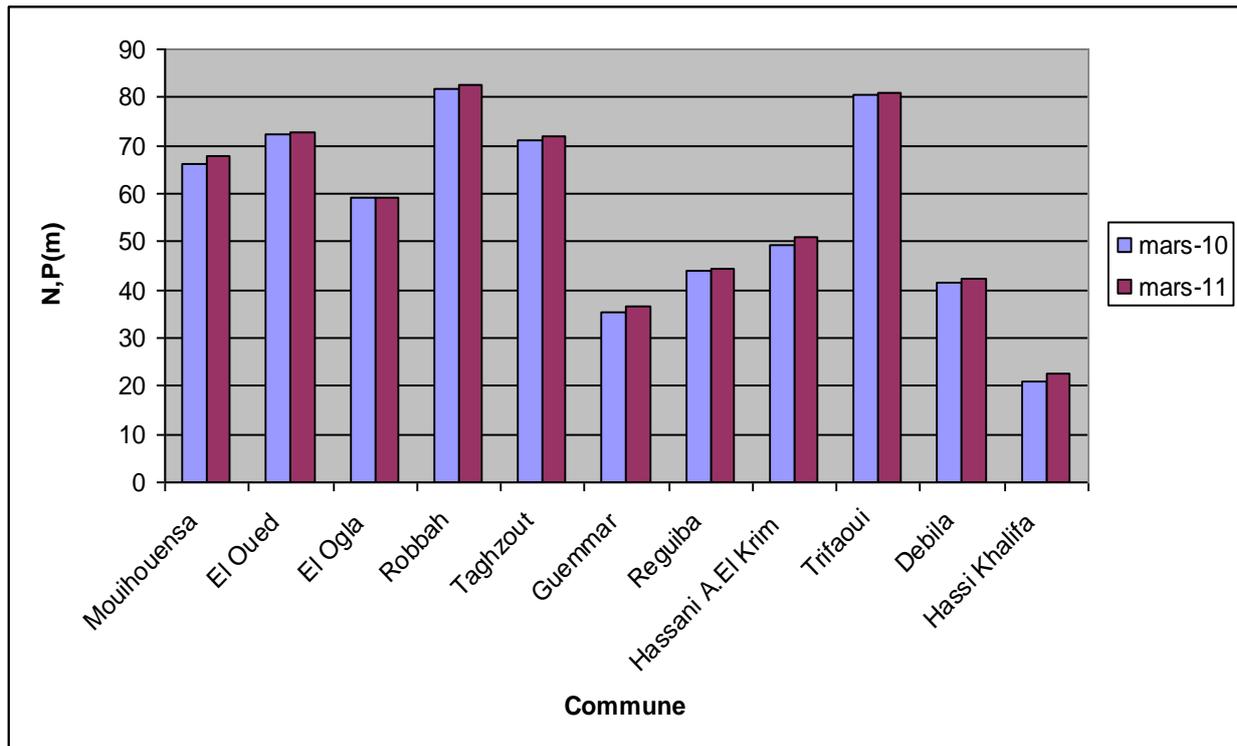


Fig.III.12: Variation des niveaux piézométriques de la nappe CT entre 2010 et 2011 (DHW, 2011)

V.4.1. Interprétation :

Nous constatons que le niveau piézométrique a baissé pour tout les points d'eau, le niveau piézométrique de la nappe diminue entre 2010 et 2011 ceci s'explique par la sur exploitation de cette nappe.

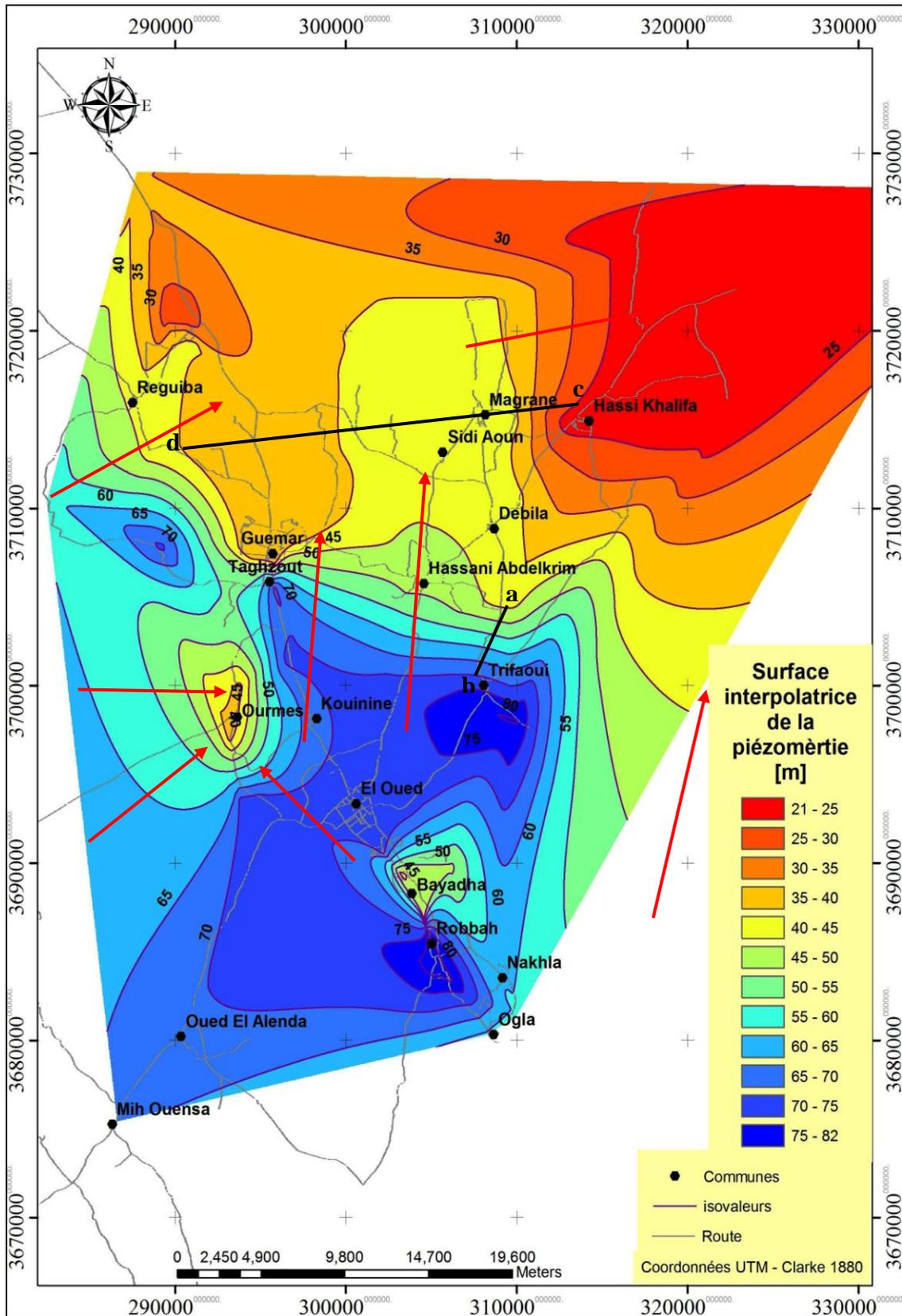


Fig.III.13: Carte piézométrique de la nappe CT de la vallée du Souf en 2011.

Les hauts niveaux piézométriques de la nappe est située à Robbah 81,9 et Trifaoui qui marqué une valeur de 80m, une zone basse située au Nord-Ouest à Hassi khalifa où le niveau piézométrique est compris entre 21 et 25m, on remarque aussi que le niveau piézométrique dans la commune d'El-Oued varie entre 70 et 75m,

- On constate que la surface piézométrique n'est pas régulière.

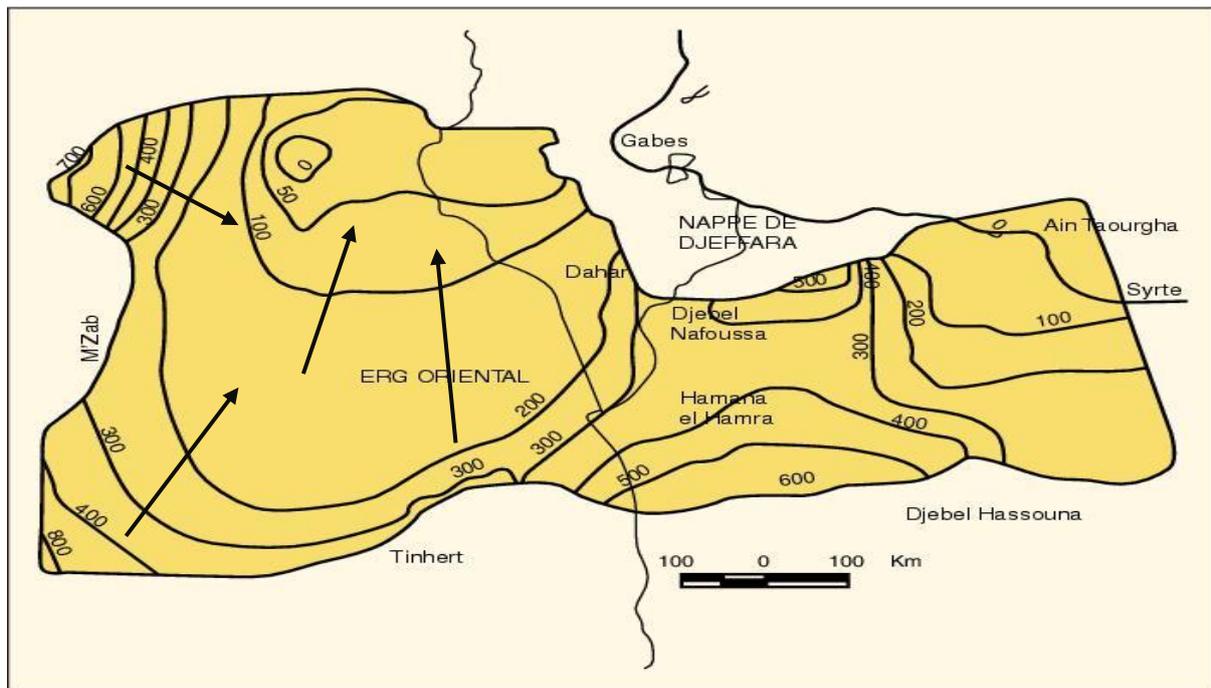


Fig.III.14: Carte piézométrique de référence de l'aquifère du Complexe Terminal (OSS, 2003).

La comparaison entre la carte piézométrique (2011) et celle de référence de l'aquifère du CT (OSS, 2003) nous permet de noter que les niveaux piézométriques sont identiques.

L'étude hydrodynamique et les cartes piézométriques nous a permis de constater que le sens d'écoulement des eaux souterraines est orienté suivant une direction générale SO-NE. Ceci est confirmé par les cartes piézométriques de référence de l'aquifère CT. On remarque aussi qu'il y a des sens d'écoulement secondaire suivant le gradient hydraulique de la zone. Ces écoulements secondaires ont évidemment des directions diverses mais finissent par rejoindre le sens d'écoulement principal.

- **Vitesse d'écoulement :**

La vitesse d'écoulement des eaux demeure variable d'une région à une autre. La légère variation constatée au niveau des équipotentiels :

$$V = K \times i$$

Pour calculer la vitesse d'écoulement, on doit tirer la valeur de gradient hydraulique à partir la carte piézométrique et multiplier cette valeur par la perméabilité, Le gradient hydraulique:

$I = \Delta H/L$, d'où ΔH : la différence de charge entre deux points alignés aux lignes de courants et L : la distance entre ces deux points. La valeur moyenne de gradient hydraulique est 2.5×10^{-3} (I_{ab} et I_{cd}). On remarque que cette valeur est très faible, indiquant une faible pente de la surface piézométrique et par conséquent une faible vitesse d'écoulement.

V.4.2. Forages à l'arrêt :

Lors de cette opération d'inventaire, il a été constaté que 70 forages sont à l'arrêt pour les raisons suivantes : manque d'équipements, problème d'alimentation en électricité, manque d'entretien dû à l'ensablement, etc.

L'exploitation de ces derniers nécessite seulement une prise en charge et un entretien régulier.

V.4.3. Forages abandonnés : Il a été remarqué durant cet inventaire que 13 forages captant la nappe du CT, se trouvent dans un état de dégradation très avancée, leur bouchage est indispensable afin d'éviter les fuites pouvant contaminer les autres nappes par la salinité.

III.9. Nombre des forages à l'arrêt et abandonnés par commune

Commune	Forages à l'arrêt	Forages abandonnés
El Oued	03	/
Kouinine	02	03
Réguiba	/	03
Guemar	/	03
Taghzout	/	/
Ourmés	/	02
Débila	/	01
Hassani	/	01
Hassi Khalifa	02	04
Trifaoui	/	/
Magrane	/	/
Sidi Aoun	/	01
Robbah	/	/
Nakhla	/	/
El Oglia	02	/
Bayadha	/	/
Oued El Alenda	/	/
Mih Ouensa	/	01

V.4.4. Volumes soutirés :

Afin d'évaluer le volume d'eau total soutiré des nappes par le biais des forages en exploitation, il a été jugé utile de scinder le territoire de la wilaya d'El-Oued selon la densité des forages dans les zones, la répartition des forages par usage avec les volumes fréquentiels sont indiqués dans le tableau suivant :

Tab.III.10 : Répartition des forages par usage avec les volumes respectifs

Commune	AEP		Irrigation		Volumes soutires (Hm ³ /an)
	CT	V (Hm ³ /an)	CT	V (Hm ³ /an)	
El Oued	11	9,8109	08	4,3046	14,1155
Kouinine	06	0,9760	/	/	0,976
Réguiba	09	0,7942	08	5,4412	6,2354
Guemar	11	1,5413	04	2,6411	4,1824
Taghzout	04	3,2387	/	/	3,2387
Ourmés	06	0,8010	/	/	0,801
Débila	07	3,2119	03	1,8790	5,0909
Hassani Abdelkrim	05	18,1127	/	/	18,1127
Hassi Khalifa	07	2,4798	/	/	2,4798
Trifaoui	03	1,4601	/	/	1,4601
Magrane	09	1,7947	/	/	1,7947
Sidi Aoun	07	4,5305	01	0,0657	4,5962
Robbah	04	1,7647	/	/	1,7647
Nakhla	03	0,9672	/	/	0,9672
El Ogla	02	3,6218	/	/	3,6218
Bayadha	06	52,9363	/	/	52,9363
Oued el Alenda	04	2,0969	/	/	2,0969
Mih Ouansa	02	3,7099	/	/	3,7099
TOTAUX	106	113,8486	24	14,3317	128,1803

V.4.5. Prélèvements selon l'inventaire 2012 :

Les résultats de l'inventaire 2012, ont permis de déterminer les volumes soutirés de la nappe CT à travers la vallée d'Oued-Souf qui sont de 4.06 m³/s soit 128 millions de m³/an. Ces volumes sont destinés pour AEP et l'irrigation.

La vallée d'Oued-Souf consomme 89 % du volume d'eau mobilisé de la nappe du CT et qui est destiné pour l'AEP et consomme 11 % est destiné pour l'irrigation

VI. LA REMONTEE DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE :

Dans un passé non lointain (années 1940), la nappe phréatique de la vallée de Oued Souf était l'unique ressource pour l'approvisionnement en eau potable de la population et l'abreuvement du cheptel, ainsi que pour l'arrosage des cultures vivrières (10.000 puits traditionnels actuellement).

Avec l'augmentation de la population et le recours aux forages profonds (CT-CI), une montée progressive et persistante de la nappe phréatique a atteint son paroxysme dans les années 1990.

Les premières apparitions de ce phénomène remontent à l'année 1969 et ont pris de l'ampleur dans les années 80, en raison d'un développement urbain anarchique venant perturber l'équilibre naturel qui existait auparavant.

La technique d'exploitation de la nappe phréatique dans la vallée du Souf est le ghout qui est sous forme de cuvette entonnoir aménagé (cratère abritant des palmeraies) dans le sable qui permet aux racines des palmiers d'atteindre la zone de remontée capillaire de la nappe superficielle (-15m). Actuellement la vallée souffre des conséquences négatives de la remontée des eaux de la nappe phréatique, qui a engendré l'inondation de la quasi-totalité des ghouts ainsi que des zones basses de la ville et de sa périphérie.

VI.1. Principaux causes de la remontée des eaux de la nappe phréatique :

Les causes de la remontée des eaux de la nappe du Souf sont multiples, dont les principales sont :

a) Plus de rejets et moins de prélèvement :

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



**Photo.III.1 : L'affleurement des eaux de la nappe phréatique à la surface:
Les roseaux remplacent les palmiers dattiers morts [Khechana S, 2007]**



Photo.III.2 : Conséquence de la remontée des eaux : Dégradation de l'environnement par les décharges domestiques [Khechana S, 2007]

b) Mauvaise gestion des eaux :

L'ensemble des forages exploités destinés à l'alimentation des agglomérations produisent d'énormes débits (14634,62 m³/j) ce qui traduit une consommation excessive, en plus, l'absence d'un réseau d'AEP adéquat et des compteurs sur les branchements particuliers ; ceci fait partie de la mauvaise gestion des eaux.

c) Exploitation des nappes profondes.

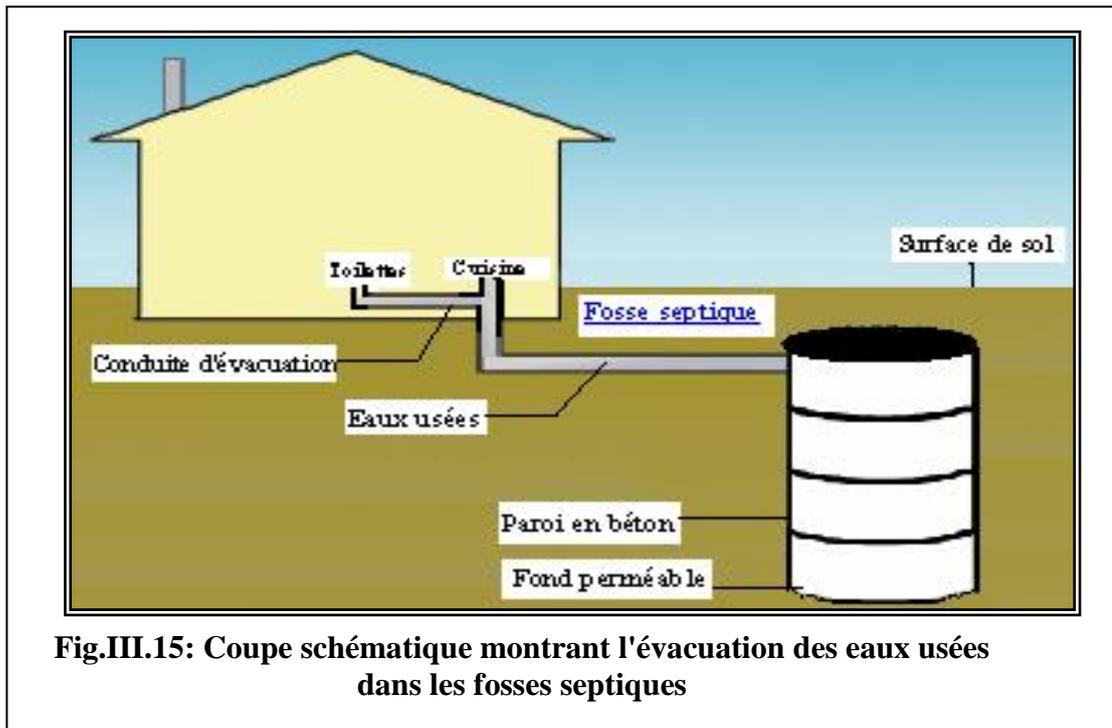
d) Les systèmes d'assainissement utilisés (fosses septiques) :

Le majorité des habitants utilisent des systèmes traditionnels pour l'évacuation des eaux usées, qui permettent l'infiltration des eaux usées à la nappe phréatique, soit directement par l'utilisation de dispositifs individuels d'assainissement (puits à fonds perdus, appelés localement « fosses septiques »); ces puits sont en général en contact directe avec la nappe phréatique et ne répondent à aucune norme de l'assainissement individuel ; ou indirectement par le déversement des eaux usées dans les rues par certains citoyens (sous la forme directe avec des seaux ou par des tuyaux en PVC qui permettent l'évacuation gravitaire et permanente des eaux usées ménagères ou industrielles vers l'extérieur du local consommateur).

Les dispositifs individuels utilisés pour l'évacuation des eaux usées, différents d'une zone à une autre selon le niveau de vie, les moyens financiers disponible, et principalement le degré de sensibilisation du citoyen.

L'utilisation des fosses non normalisées est une principale cause de la remontée des eaux, en raison des quantités d'eau incroyables qu'elles acheminent directement vers la nappe

phréatique, sans parler de leur majeur inconvénient, qui est suite au démangeaison des parois à cause du gaz H_2S dégagé de la fermentation anaérobie, ces fosses deviennent un véritable danger pour les citoyens, puisque la plupart sont implantées dans les maisons, et elles ont causé la mort de plusieurs victimes (Khelef K, 2006)..



VI.2. Solution envisagée :

Depuis l'an 2005, la vallée de Oued-Souf a bénéficié d'un grand projet d'assainissement et de drainage des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation pour la lutte contre la remontée des eaux de la nappe phréatique, c'est une nouvelle stratégie en cours de concrétiser dans la vallée, qu'on peut la classer dans le concept de la gestion des risques associés aux aspects quantitatifs et qualitatifs des ressources en eaux due au surplus d'eau (hydromorphie) [Khechana S, 2007]. Une représentation schématique générale de ce projet est démontrée dans la figure III.16, indiquant qu'il est fondé essentiellement sur quatre (04) schémas :

VI.2.1. Schéma d'assainissement :

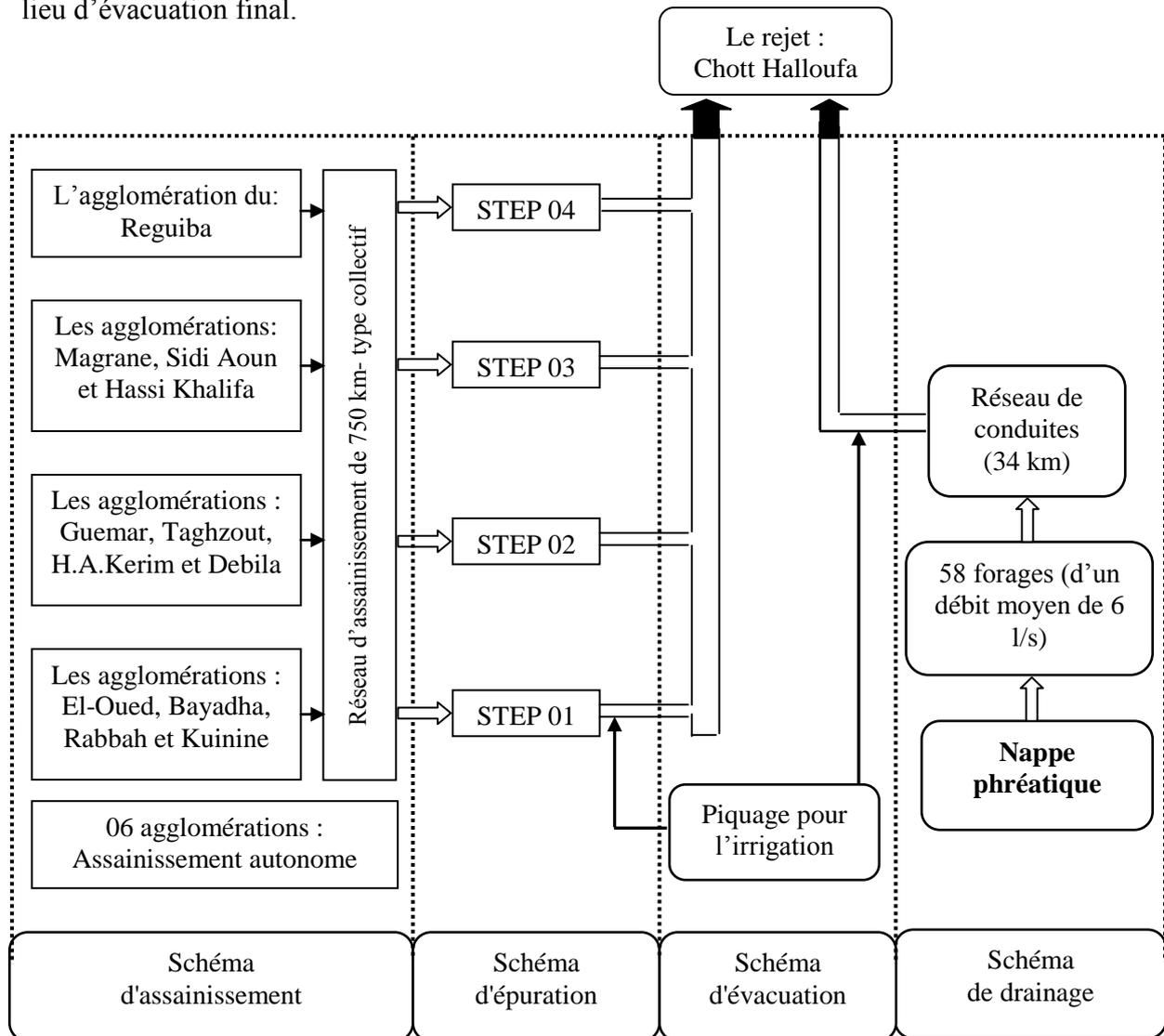
Dans les grandes agglomérations de la vallée (12 communes), le mode d'assainissement utilisé est de type collectif avec un réseau de collecte de 750 km et 57 stations de pompages (relevage et refoulement), le reste (les 6 communes) en assainissements autonomes améliorés.

VI.2.2. Schéma d'épuration :

Les 12 communes sont regroupées en quatre (04) sous ensembles, une station d'épuration est proposée pour chaque centre. La filière d'épuration choisie est le lagunage aéré parce qu'elle est la plus adaptée aux objectifs attendus au contexte de ce projet.

VI.2.3. Schéma de drainage :

Dans l'aire d'étude, la solution de drainage proposée est par le système de drainage vertical, composé par un réseau de 58 drains (forages) connectés à 34 km de conduites, l'ensemble des eaux drainées aboutit à la station de pompage existante (ST10) qui refoulera ensuite vers le lieu d'évacuation final.



STEP : Station d'Épuration

Fig.III.16 : Schématisation générale du projet [Khechana S, 2010]

VI.2.4. Schéma d'évacuation :

L'évacuation de l'ensemble des eaux usées traitées avec les eaux de drainage s'effectue grâce à un collecteur de transfert d'orientation Sud–Nord vers le site de rejet final situé à 70 km au

Nord-Ouest de la vallée. A l'aval des 4 stations d'épurations, un système de collecte des eaux usées traitées est installé avec la possibilité, de réutiliser l'eau à des fins agricoles, le long de ce système d'évacuation.

VI.3. Les objectifs attendus de la nouvelle politique de gestion :

La gestion intégrée des ressources en eaux dans la vallée d'Oued Souf concerne toutes les problématiques quantitatives et qualitatives, qui sont inters reliés, souvent en compétition et peuvent gérer dépendant avec des aspects socio-économiques et éco-systémiques. Le choix de ce problème (la remontée des eaux de la nappe phréatique) qui fait l'objet de la gestion intégrée est fait conformément aux besoins de la population et aux valeurs de la société. C'est pourquoi la gestion intégrée des ressources en eaux dans la vallée vise quatre (04) objectifs principaux:

VI.3.1. Rabattre ou stabiliser le niveau de la nappe :

Quand ce système mis en service, en aura fini avec la remontée des eaux et avec les nombreuses incidences néfastes qui en découlent, touchant plusieurs secteurs, notamment l'habitat, l'environnement et l'agriculture. La stabilisation de niveau piézométrique permettra de réduire les fluctuations des débits d'une période à l'autre [Cretenet J N et al, 2003].

VI.3.2. Réutilisation agricole des eaux drainées (ou restauration des eaux évacuées):

Le prélèvement, pour la réutilisation, d'eaux traitées sortants des stations d'épurations sera possible grâce à l'implantation d'ouvrages de piquage le long de la canalisation. Un robinet de prélèvement pour l'irrigation des espaces verts est prévu à la sortie du local de protection de chacun des forages implanté dans les endroits publics (écoles, annexes universitaires et administrations publiques), qui permettra de garantir un certain degré d'approvisionnement en eau d'irrigation pour protéger une part de la production agricole [Burri J M et Burri J P, 2004].

VI.3.3. Augmentation du pouvoir épurateur du sol :

L'espace entre les forages a été calculé pour qu'au cours de pompage, le niveau d'eau se maintienne à 1m au-dessous de la surface du sol des points les plus bas (Ghouts), ce qui proscrit l'assainissement autonome.

VI.3.4. Maintient écologique et sanitaire du site de rejets :

L'évaluation environnementale stratégique et l'étude d'impact du site des rejets qui accompagnent ce projet, à savoir les contraintes et les potentiels environnementaux sur la santé et le milieu écologique ont pu être définis dans une perspective de développement durable. Les experts ont souligné que le site de rejet, à savoir le chott de Haloufa, situé au Nord-Ouest de la vallée d'El-Oued, est maintenu et que le choix de ce site est judicieux et

n'aura aucun impact négatif que ce soit sur l'environnement ou sur l'exploitation des gisements de sel, distants de plus de 20 km, et tout changement du choix de ce site entraînera inéluctablement l'apparition, à nouveau, le problème de la remontée des eaux, mais, des associations locales et des organismes non gouvernementaux (ONG) ont été appelées au changement de cet endroit pour des raisons écologiques vers l'erg oriental [Khechana S, 2007].

VII. CONCLUSION :

Le système aquifère d'El-Oued est constitué de trois nappes : nappe libre (phréatique), et deux nappes captives (nappe de complexe terminal et nappe de continentale intercalaire). L'interprétation des essais de pompage par paliers et à longue durée qui a été effectué au niveau des 03 stations nous permet de définir les paramètres hydrodynamiques de la nappe du CT :

- Le débit soutiré oscille entre 10 l/s à 55.5 l/s
- Transmissivité moyenne de la nappe du CT est $5.26 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
- La perméabilité de CT dans la région du souf est comprise entre 10^{-3} et 10^{-4} m/s pour la nappe la plus exploitée du mio-pliocène, ce qui nous donne une valeur moyenne de coefficient de perméabilité $K = 2.55 \times 10^{-4} \text{ m/s}$.
- La porosité efficace estimée à 5%

La zone d'étude présente des potentialités en eau très importantes qui sont évaluées à 10,08 m^3/s [Prélèvements (2,84 m^3/s) + Disponibilités (7,25 m^3/s)].

La piézométrie de CT selon l'inventaire (2003) dans la région du Souf varie entre 20 m à Benguecha et 81,9 m dans la région de Robbah. Le niveau statique varie entre 3,75m à Hassi Khalifa et 40 m à Guemar. Nous remarquons par ailleurs l'existence de l'artésianisme à Douar El Ma, Hamraia et Taleb Larbi.

La profondeur moyenne de la nappe du CT varie entre 200 et 600 mètres. Quant à l'épaisseur utile de cette nappe, elle est de 50 mètres environ.

Le diagnostic de la remontée des eaux visé a décrit les causes, les conséquences et les impacts de ce problème sur les différents secteurs, dont la principale cause générant ce problème est l'exploitation irrationnelle des nappes profondes.

CHAPITRE IV
HYDROCHIMIE ET VULNERABILITE
DES EAUX SOUTERRAINES

I. INTRODUCTION

La bonne gestion quantitative de la nappe convient toujours aux nombreuses pressions qualitatives, de déterminer leur origine, quelles soient diffuses (agriculture) ou ponctuelles (rejets d'égoûts, fuites de citerne, ...), de vérifier leur qualité présente et d'en prévoir l'évolution à plus ou moins long terme.

Notre étude hydrochimique a pour but de définir l'origine des eaux de la nappe du Complexe terminal CT, les caractéristiques physico-chimiques des eaux, les éléments majeurs dissous dans les eaux et ces origines, ceux-ci par la quantification des divers éléments chimiques dissous dans l'eau, les faciès chimiques, la dureté, la potabilité de ces eaux et leurs aptitudes pour les utilisations agricoles.

Dans cette partie nous allons encore utiliser un système d'information géographique (SIG) pour cartographier la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution.

II. INTERPRETATION DES RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES :

II.1. Echantillonnage

Afin de mener à bien notre travail et atteindre les objectifs souhaités, nous avons procédé à un échantillonnage selon l'axe Rabbah, El-Oued, Kouinine, Guemar et Réguiba, c'est à dire selon le sens d'écoulement des eaux de la nappe du Complexe Terminal (CT), à partir des forages destinés à la consommation humaine (Fig.IV.1).

Les prélèvements ont été effectués manuellement pendant le mois de mars 2012 à partir de 26 châteaux d'eau, à condition que la javellisation soit arrêtée et la conduite est vidangée pour que l'échantillon soit représentatif de l'eau du forage. Les échantillons ont été prélevés dans des bouteilles bien lavées, d'une capacité de 1 litre, sans rajouter aucune substance conservatrice pour éviter toutes contaminations.

La fiche de l'échantillon ou l'étiquetage comporte : l'identité du préleveur, la date et l'heure du prélèvement, la ville ou l'établissement que l'eau alimente, l'origine et la température de l'eau.

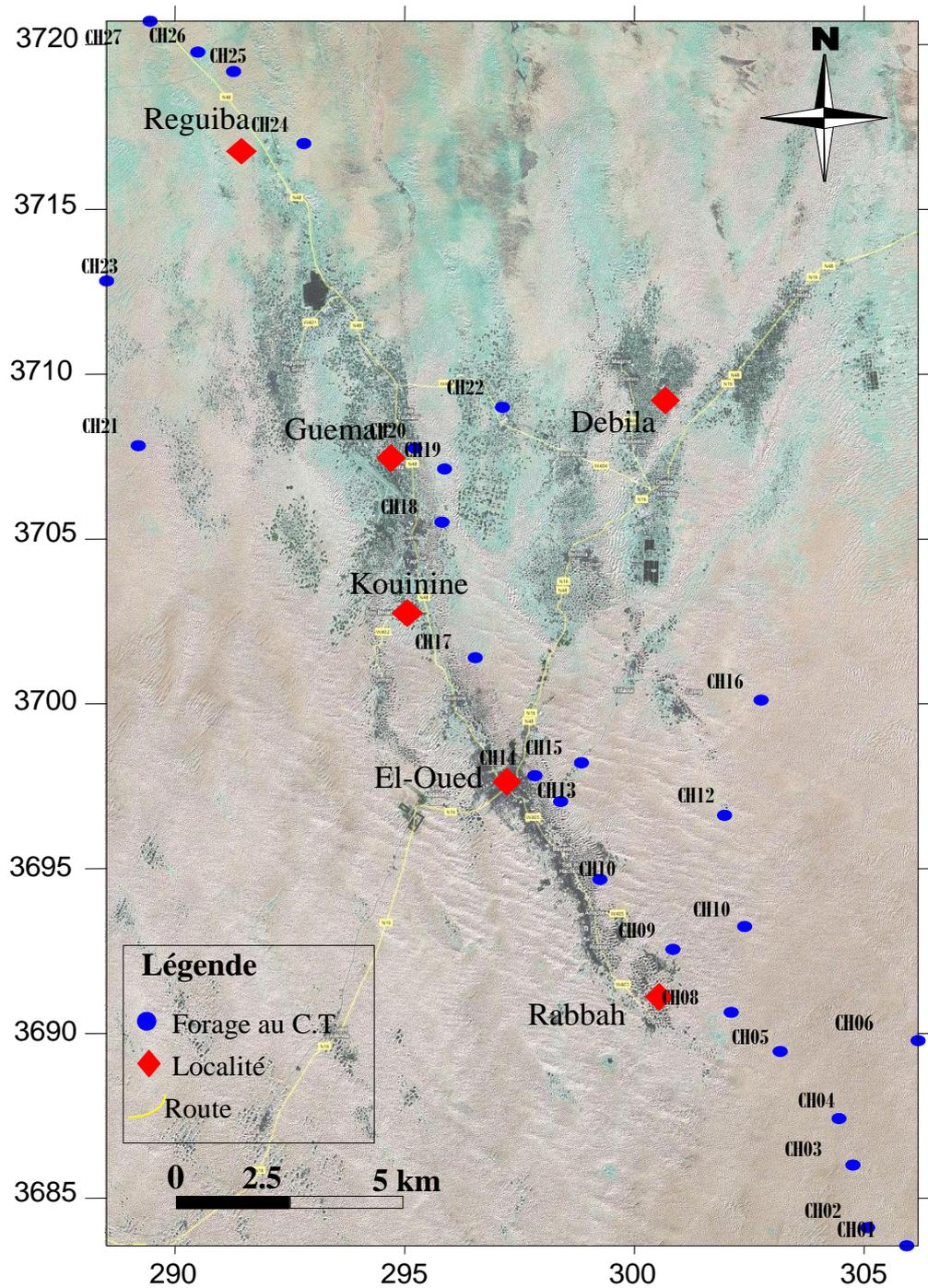


Fig.IV.1 : Carte d'inventaire des forages de prélèvement

II.2. Mode opératoire

Les paramètres physiques concernant la qualité des eaux (T° , conductivité et pH) sont mesurés sur terrain (in situ) à l'aide d'une valise multi-paramètres (marque 350i);

La dureté totale des échantillons est déterminée par complexométrie (par titrage avec l'acide éthylène-diamine-tétracétique, EDTA) ;

La mesure de l'alcalinité est basée sur la neutralisation d'un certain volume de l'échantillon par l'acide sulfurique (N/50) ;

Les chlorures sont déterminés par la méthode de Mohr ;

Les sulfates par spectrophotométrie à une longueur d'onde $\lambda = 420$ nm pour une suspension obtenue par réaction des sulfates avec le chlorure de baryum ;

Le sodium et le potassium sont dosés par photométrie à émission de flamme sur appareil JENWAY PFP7 ;

Tous les résultats sont comparés avec les normes de l'organisation mondiale de la santé (OMS).

II.3. Résultats et discussion :

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux du complexe terminal (26 forages) sont portés sur le tableau IV.1. Pour tous les échantillons, la balance ionique est inférieure 7%.

II.3. 1. Le faciès chimique :

c. . . Diagramme de Piper :

Le report de 26 forages d'eau sur le diagramme de Piper (Fig.IV.2) montre que tous les points analysés sont caractérisés par des eaux de type sulfaté sodique. Ce faciès indique une dissolution évaporitique riche en sels et en gypse.

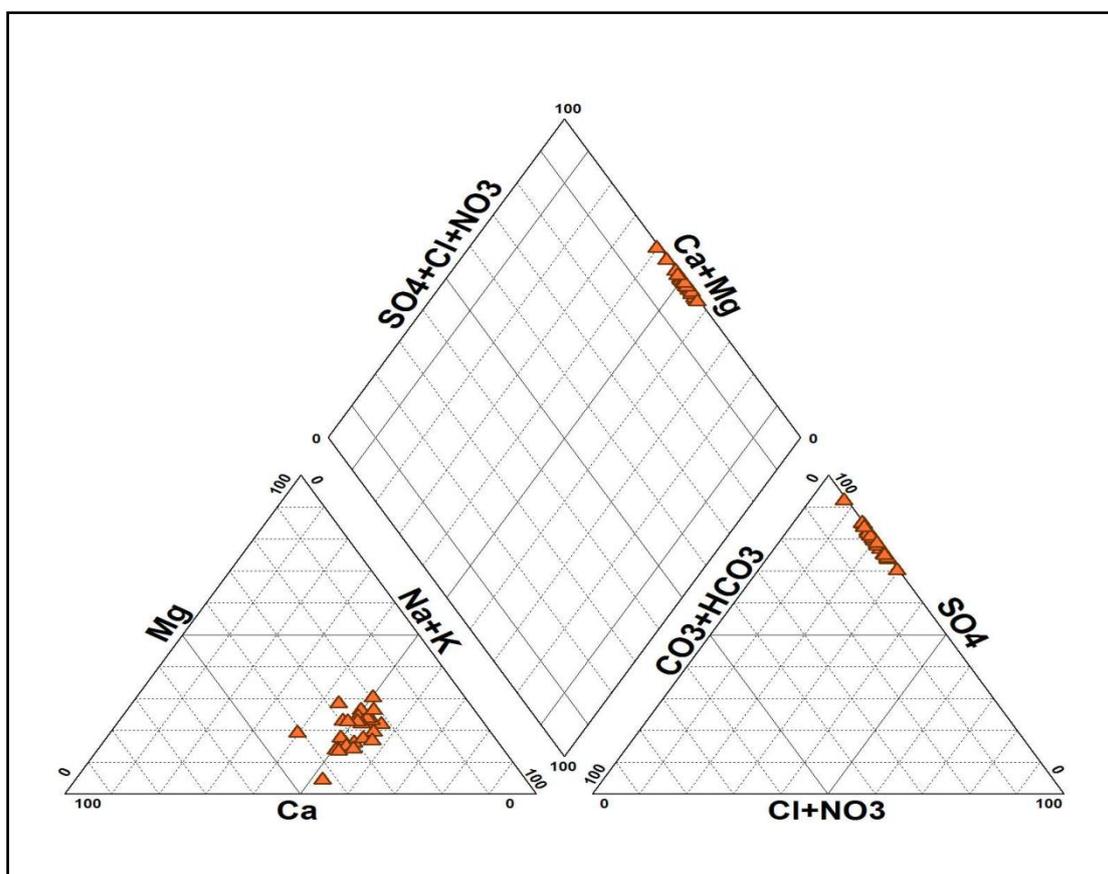


Fig.IV.2: Diagramme de Piper des eaux de la nappe du CT (Région d'Oued Souf, mars 2012)

Tab.IV.1 : Résultats des analyses physico-chimiques des eaux du CT (mars 2012).

Nom	SO ₄ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	Ca ⁺⁺ (mg/l)	Mg ⁺⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	pH	T °C	CE (ms /cm)
CH01	8414,12	31,18	310	190,8	1065	42,7	701,27	30,73	7,41	22,6	4,38
CH02	6155,29	30,12	364	117,6	1579,75	45,14	713,92	30,12	7,55	22,5	4,38
CH03	5082,35	29,35	404	120	1100,5	41,48	713,92	30,73	7,34	22,5	4,46
CH04	7764,71	29,21	288	156	1242,5	46,36	688,61	32,56	7,3	22,5	4,31
CH05	7284,71	29,24	312	208,8	1100,5	40,26	726,58	28,9	7,28	22,5	4,27
CH06	8244,71	30,12	316	148,8	1065	43,92	562,03	31,95	7,55	22,5	4,47
CH08	4856,47	35,83	248	151,2	1029,5	46,36	713,92	27,07	7,67	22,6	3,97
CH09	6607,06	30,85	232	216	1217,65	46,36	663,29	27,68	7,38	22,5	3,96
CH10	4178,82	30,68	302	85,2	656,75	47,58	308,86	45,37	7,17	22,3	2,69
CH11	4230,70	30,78	352	115,2	1189,25	42,7	594,94	29,51	7,37	22,4	4,32
CH12	8075,29	31,59	274	164,4	1100,5	45,14	701,27	28,9	7,57	22,2	4,33
CH13	6494,12	27,67	278	133,2	1189,25	43,92	701,27	26,46	7,41	22,5	4,1
CH14	5505,88	28,26	314	181,2	1118,25	48,8	688,61	31,34	7,51	22,5	4,32
CH15	6804,71	28,88	256	153,6	390,5	47,58	625,32	28,9	7,71	22,1	3,95
CH16	6635,29	27,96	352	98,4	1189,25	45,14	625,32	28,9	7,39	22,1	3,98
CH17	4941,18	29,94	304	115,2	1153,75	43,92	663,29	27,07	7,47	22,3	3,99
CH18	5042,75	28,29	428	26,4	1118,25	42,7	579,11	27,07	7,55	22,5	4,07
CH19	5453,63	31,07	328	204	1792,75	45,14	579,11	28,9	7,37	23	4,58
CH20	4346,67	27,6	274	140,4	1029,5	46,36	612,66	24,63	7,42	22,6	3,66
CH21	8950,59	31,22	380	103,2	1118,25	46,36	726,58	28,29	7,28	22,5	4,57
CH22	7454,12	29,87	290	111,6	1029,5	43,92	701,27	26,46	7,34	22,5	4,29
CH23	6465,88	29,9	332	172,8	1136	46,36	713,92	28,9	7,33	22,3	4,34
CH24	6712,5	29,9	364	85,2	1189,25	45,14	579,11	27,68	7,38	22,5	4,35
CH25	5788,24	33,6	250	188,4	958,5	46,36	688,61	27,68	7,26	22,6	4,37
CH26	8357,65	31,11	416	96	1153,75	46,36	675,95	28,9	7,3	22,5	4,38
CH27	7847,58	29,87	314	151,2	1065	43,92	594,94	27,07	7,34	22,3	4,33

b. Digramme de Schoeller-Berkaloff

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff permet la représentation de plusieurs analyses sur le même graphique. Si les concentrations sont identiques, on trouve une superposition des droites obtenues et dans le cas contraire, on remarque un décalage relatif des droites les unes au-dessus des autres.

D'après la figure IV.3 (a et b) on constate toujours l'existence d'une même famille d'eau qui est celle des eaux sulfatées, avec la prédominance du faciès sulfaté sodique.

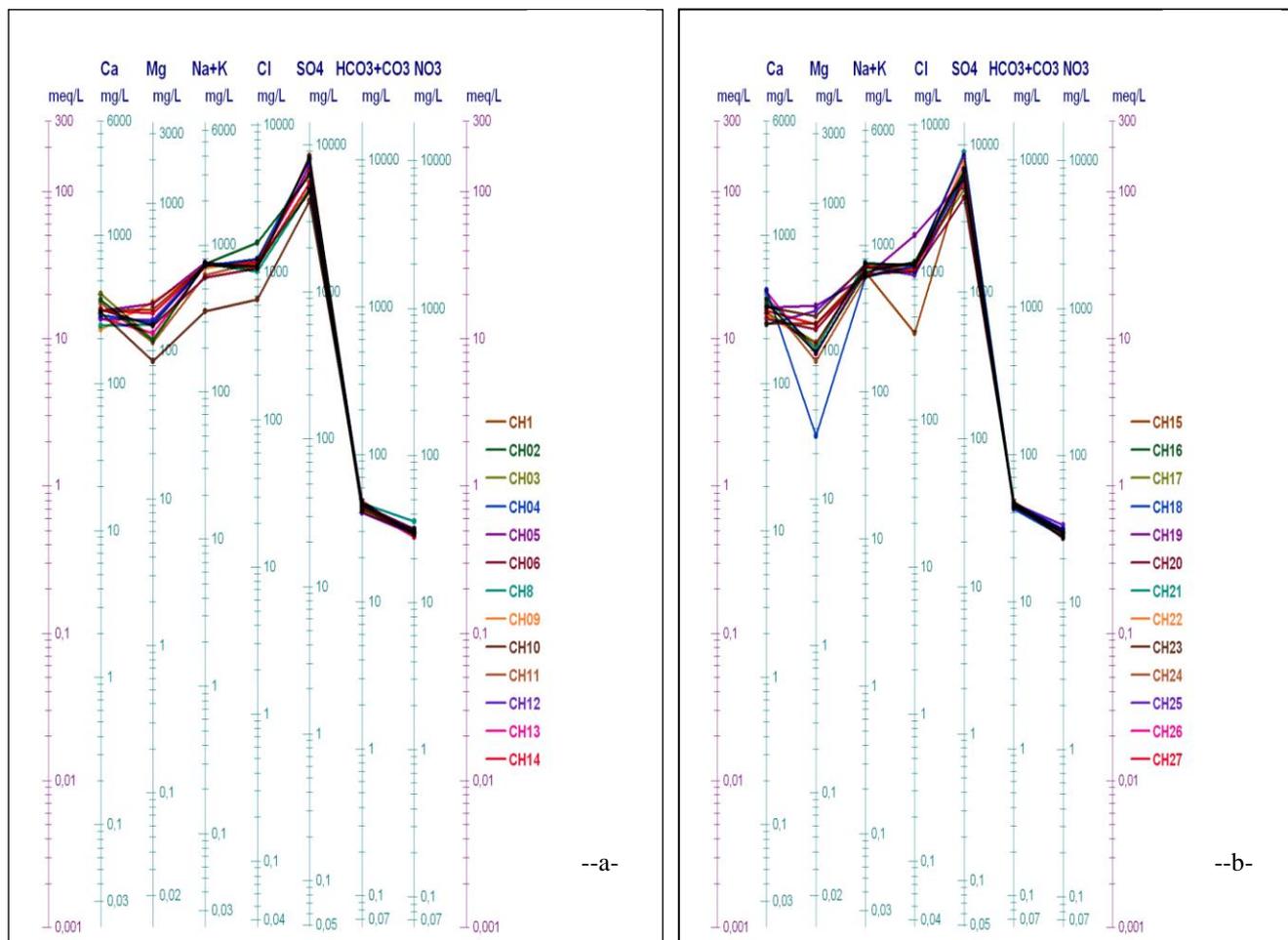


Fig.IV.3: Diagramme de Schoeller Berkaloff des eaux de la nappe du CT (Région d'Oued Souf, mars 2012).

- a: Diagramme de Schoeller Berkaloff des eaux de 13 forages (du CH 1 à CH 14) ;**
b : Diagramme de Schoeller Berkaloff des eaux de 13 forages (du CH 15 à CH 27).

II.3.2. Etude des rapports caractéristiques et origine des éléments dominants

a. Origine des éléments Na^+ et Cl^- :

Pour avoir une idée sur les éléments dominants, nous avons fait une représentation graphique sur une échelle logarithmique, avec en abscisses la teneur exprimée en milliéquivalents des chlorures, et en ordonnées celle du sodium.

L'examen de la figure IV.4.a permis de remarquer que la majorité des points d'eau se trouve au-dessous de la droite d'une pente égale à 1. Dans ce cas, ce sont les chlorures qui l'emportent sur le sodium à cause d'un excès de dissolution de cet élément due à l'écoulement souterrain importante et à la température élevée des ces eaux.

b. Origine du calcium :

Le faciès calcique a été étudié à l'aide de deux diagrammes, à cause de sa double origine : carbonatée et évaporitique. Les figures IV.4.b et IV.4.c montrent que l'ensemble des points se trouve dans le domaine évaporitique, ce qui vérifie que l'élément Ca^{++} provient de la dissolution des calcaires fissurés et des évaporites d'âge Sénonien.

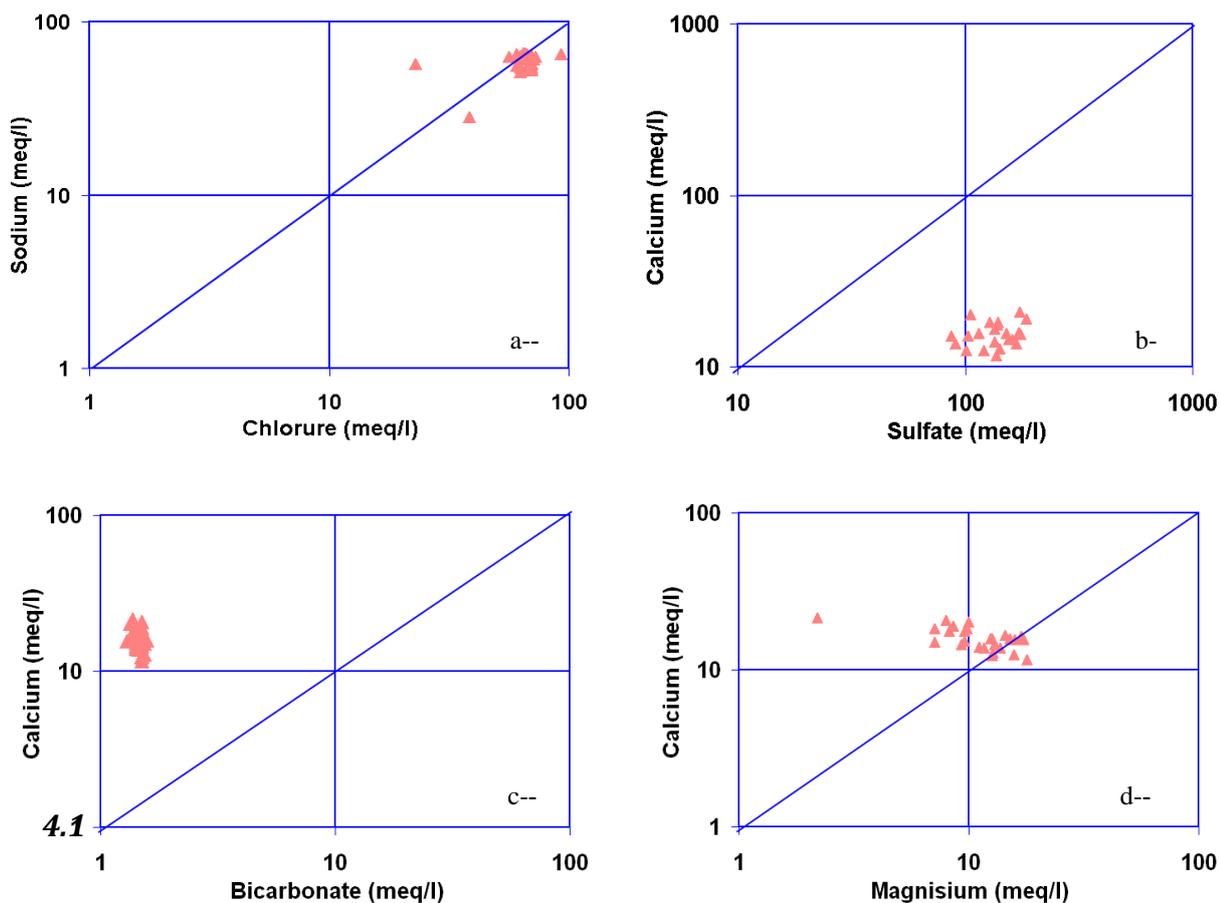


Fig.IV.4 : Les rapports caractéristiques ; a : le rapport Na^+/Cl^- ; b : le rapport $\text{Ca}^{++}/\text{SO}_4^{--}$; c : le rapport $\text{Ca}^{++}/\text{HCO}_3^-$; d : le rapport $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$

Afin de définir la potabilité des eaux souterraines, nous nous basons sur les normes de l'O.M.S (Organisation Mondiale de la Santé) et ceux du D.H.T (Degré Hydrométrique Total).

c. Le rapport $\text{Ca}^{++} / \text{Mg}^{++}$:

La figure 4.d montre l'existence de deux ensembles de points :

Un ensemble où le rapport est supérieur à 1, donc le calcium prédomine, c'est le cas de la plupart des points d'eau analysés, cela est dû à la dissolution des formations gypseuses.

Un ensemble où le rapport est inférieur à 1, le magnésium prédomine, il concerne quelques échantillons analysés. Le faciès magnésien indique la présence d'argiles ou de dolomies riches en magnésium.

II.3.3. Aptitude des eaux à la potabilité

a. Selon l'O.M.S

Ces normes définissent deux types de concentrations maximales (Tab.IV.2) qui traduisent les limites de potabilité. On distingue :

- Une concentration maximale acceptable à partir de laquelle une eau provoque une certaine réticence chez les consommateurs ;
- Une concentration maximale admissible qui correspond à la quantité maximale de substance à tolérer et dont la teneur supérieure peut être dangereuse à la santé.

Tab.IV.2 : Normes de potabilité de l'O.M.S.

Eléments chimiques	Concentration maximale acceptable (mg/l)	Concentration maximale admissible (mg/l)	Pourcentage des échantillons ayant une concentration inférieure à la concentration maximale admissible
Calcium	75	200	00
Magnésium	50	150	50
Sodium	150	250	00
Sulfates	200	500	00
Chlorures	200	400	00
Nitrates	50	100	100

L'examen du tableau 2, montre que tous les échantillons analysés ont des teneurs en SO_4^{--} , Ca^{++} , Na^+ et Cl^- supérieures aux normes maximales admissibles. Pour le magnésium, 50 % des eaux ont des teneurs inférieures aux normes. Cependant, pour les nitrates, elles restent toutes inférieures aux normes maximales admissibles.

En résumé, d'après les analyses physico-chimiques effectuées sur terrain et au laboratoire en mars 2012 pour les 26 forages de la nappe du Complexe Terminal alimentant les quatre daïras d'El Oued, Rabbah, Guemar et Reguiba, on constate ce qui suit (Tab.IV.2):

- La température varie entre 22.1 °C et 23 °C, elle est conforme aux normes (20 °C- 25 °C);
- Le pH varie entre 7.175 et 7.71, il est conforme aux normes (6.5- 8.5);

- Les valeurs de la conductivité électrique varient entre 2690 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et 4580 $\mu\text{s}/\text{cm}$, elles dépassent la norme admise (200 à 1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$), pour toute la région d'étude;
- Les teneurs en calcium (Ca^{++}) varient entre 232 mg/l et 428 mg/l dépassant la norme qui est de 100 à 140 mg/l. Par contre pour le magnésium 50% des forages ont des teneurs conformes à la norme;
- Les concentrations en chlorures (Cl^-) dans les forages varient entre 656.75 mg/l et 1792.75 mg/l dépassant la norme (500 mg/l), excepté le forage de Sidi Mestour (390.5 mg/l);
- Les concentrations en sulfates (SO_4^{--}) oscillent entre 4178.82 et 8950 mg/l dépassant la norme préconisée qui est de 400 mg/l;
- En ce qui concerne le sodium (Na^+), les concentrations oscillent entre 308 et 726 mg/l dépassent la norme (200 mg/l);
- Les concentrations en potassium (K^+) varient entre 24 et 45 mg/l dépassant largement la norme qui est 12 mg/l;
- Malgré l'activité agricole intense dans la région, les concentrations en nitrates (NO_3^-) restent conformes à la norme (50 mg/l), et varient entre 27 et 35 mg/l, ceci s'explique par la nature captive de la nappe du Complexe Terminal qui assure sa protection contre toute contamination anthropique.

4.3.2 Selon le degré hydrométrique total (D.H.T)

Le degré hydrométrique ou la dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en calcium et en magnésium.

$$\text{DHT} = r \text{Ca}^{++} + r \text{Mg}^{++} \text{ (en méq/l)}.$$

$$\text{DHT} = (r \text{Ca}^{++} + r \text{Mg}^{++}) * 5 \text{ (en degré français } ^\circ\text{F)}.$$

Le Tableau 3 montre que la totalité des eaux analysées (100%) sont très dures, le D.T.H est supérieur à 54 $^\circ\text{F}$. Cette dureté a des conséquences plus ou moins néfastes telle que la consommation excessive du savon, la mauvaise cuisson des légumes secs et le goût inacceptable, ce qui oblige les citoyens à acheter l'eau à des propriétaires.

Tab.IV.3 : Dureté des eaux en $^\circ\text{F}$.

D.H.T (en $^\circ\text{F}$)	0 - 7	7 - 22	22 - 32	32 - 54	> 54
Qualification de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure
Pourcentage des points	0	0	0	0	100

Nous pouvons donc dire que les eaux souterraines de la nappe du Complexe Terminal d'Oued Souf sont de qualité chimique médiocre à mauvaise et impropres à la consommation selon les normes de l'OMS.

II.3.4. Aptitudes des eaux à l'irrigation

L'abondance de sodium dans l'eau d'irrigation peut provoquer également la dispersion et la destruction de la structure du sol, si la teneur en sodium est au moins trois fois supérieure à celle du calcium, dans de telles conditions, il peut devenir extrêmement difficile à satisfaire les besoins en eau de la culture. Le risque est déterminé à partir de la valeur du sodium absorbable « Sodium Absorption Ratio » (S.A.R) pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé. Le S.A.R est donné par la formule ci-dessous, il est utilisé en combinaisons avec la conductivité électrique de l'eau.

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}, \text{ où tous les éléments sont exprimés en méq/l}$$

Par sa qualité bactériologique, l'eau souterraine doit être destinée prioritairement à l'AEP, malheureusement ce n'est pas le cas pour la nappe du Complexe Terminal d'Oued Souf à cause de sa qualité impropre. Afin d'estimer l'influence de ces eaux sur le sol et sur certaines cultures pratiquées dans la région, nous allons essayer d'évaluer leur aptitude à l'irrigation.

Pour classer ces eaux, nous avons utilisé la méthode de Richards. Le Tableau IV.4 récapitule les résultats obtenus après l'interprétation du diagramme de Richards (Fig.IV.5).

Tab.IV.4 : Résultats obtenus après interprétation du diagramme de Richards.

Classes		Pourcentage des points d'eau (%)
Admissible	S ₁ C ₃	00
	S ₂ C ₃	00
Médiocre	S ₁ C ₄	00
	S ₂ C ₄	00
Mauvaise	S ₂ C ₄	38.46
Très mauvaise	S ₃ C ₄	61.54

Les eaux de la région d'étude appartiennent à deux classes selon le diagramme de Richards:

- La classe S₂ C₄ avec un pourcentage de 38,46%. Celle-ci est caractérisée par des eaux de mauvaise qualité. L'eau est fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces (concombre) bien tolérantes au sel, sur des sols bien drainés et lessivés.

III. CARTOGRAPHIE DE LA VULNERABILITE DES EAUX SOUTERRAINES :

L'eau souterraine est considérée comme polluée lorsqu'elle contient des substances autres que celles liés aux structures naturelles des terrains où elle a séjourné, en particulier lorsque les concentrations des constituants dissous ou en suspension dépassent les concentrations maximales admissibles fixées par les standards nationaux ou internationaux.

Le but de l'établissement de cette carte est de montrer quelles sont, suivant les terrains rencontrés en surface, les possibilités de pénétration et de propagation des polluants dans le terrain, de mieux apprécier la fragilité des captages d'eau potable existants, de mieux cerner les zones à risque lors du choix de nouveaux sites des captages, et de prévoir les mesures compensatoires à mettre en œuvre sur les infrastructures existantes ou à créer pour limiter les risques de pollution chronique ou accidentelle, diffuse ou ponctuelle .

III.1. Mécanisme de pollution : si on considère une pollution se produisant à la surface du sol, elle peut s'infiltrer jusqu'à la surface de la nappe selon les manières :

III.1.1. Dans une nappe libre : on distingue:

- *Une zone non saturée (ZNS) :* comprise entre le sol et la surface de nappe. De nature très diverse suivant le type de roches concernées et d'épaisseur variable, elle conditionne en grande partie les temps de transfert vers la nappe. Suivant que la roche est à perméabilité interstices (sables, grès) ou de fissures (calcaires), les circulations seront plus ou moins rapides. Dans le milieu non saturé les transferts se font sous l'influence d'une composante verticale.

- *Une zone saturée (ZS) :* dont les transferts sont essentiellement latéraux (composante horizontale), selon la direction générale d'écoulement de la nappe.

III.2.2. Dans une nappe captive: la pollution ne peut provenir que d'injections volontaires de déchets liquides par forages ou de mise en communication de nappes par des ouvrages non étanches (forages profonds d'eau, hydrocarbure, forages «sauvages »).

III.2.3. Dans un aquifère fissuré : La pollution est introduite par les avens et puits par l'intermédiaire de la zone non saturée.

III.2. Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité :

Les méthodes d'estimation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution sont très nombreuses. Chacun élaborant sa méthode selon ses besoins. La multiplicité des méthodes provient aussi bien des objectifs recherchés (la réglementation, les activités humaines, les polluants), que du nombre d'organismes qui développent leur propre méthode pour une utilisation spécifique à leur pays.

Le but consiste à proposer un outil de caractérisation simple et efficace, répondant aux aspirations des gestionnaires de l'eau souterraine et de réaliser la synthèse de quelques paramètres ayant une description majeure dans la vulnérabilité des aquifères. Les différentes méthodes sont groupées comme suit:

- Les méthodes fondées sur les documents cartographiques,
- Les méthodes basées sur un système de cotation numérique,
- Les méthodes fondées sur la caractérisation des rejets.

La réalisation de ses cartes repose essentiellement sur la classification des sites en fonction des propriétés et de la géométrie des aquifères, en catégorisant la vulnérabilité à partir des divers paramètres de terrain. Ces cartes sont devenues des documents nécessaires aux études d'impact.

Dans ce travail, on a choisie la méthode DRASTIC.

III.3. Hypothèses de la méthode DRASTIC:

La méthode DRASTIC est d'origine américaine, développée par NWWA (National Water Well Association), entre 1983 et 1987 comme base pour l'évaluation du potentiel des eaux souterraines. Elle est basée sur un système de cotation numérique et permet l'établissement des cartes de vulnérabilité, qui sont la synthèse des connaissances lithologique, pédologique et hydrogéologique d'une région. Elle repose sur quatre hypothèses fondamentales.

- Elle s'applique à des unités de surface supérieure à 40 hectares ;
- La source de pollution potentielle est localisée à la surface du sol ;
- Les polluants sont entraînés depuis la surface du sol jusqu'à l'aquifère par l'infiltration efficace ;
- Dans le cas où la source de pollution est située en profondeur dans le sol, la méthode reste valable à condition de modifier les paramètres affectés par la position de la source de pollution.

III.3.1. Paramètres DRASTIC : Le terme DRASTIC est en fait un acronyme formé par l'abréviation de sept (7) paramètres hydrogéologiques plus ou moins faciles à évaluer, à savoir :

D- Depth to water, (Distance à la nappe, épaisseur de la zone non saturée)

R- Recharge, (La recharge nette ou infiltration efficace)

A- Aquifer media, (Le type de l'aquifère)

S- Soil media, (Le type de sol)

T- Topography, (La topographie)

I- Impact of the vadose zone, (L'impact de la zone non saturée)

C- Conductivity, (La conductivité hydraulique ou perméabilité de l'aquifère).

III.3.2. Indexation ou Système de cotation numérique :

A chaque paramètre DRASTIC, est assigné d'un poids (P) dont la valeur est comprise entre 1 et 5. Cette valeur est relative et tient compte de l'importance du rôle joué par chacun des sept (07) paramètres dans le processus de transport et d'atténuation des polluants.

Un paramètre prépondérant se voit assigner un poids (5), alors qu'un paramètre ayant un faible impact sur l'évolution du polluant se voit affecter un poids 1.

Tab.IV.5: Les poids attribués aux paramètres DRASTIC

Paramètres	Poids (général)
D- Profondeur de la nappe	5
R- Recharge nette	4
A- Milieu Aquifère	3
S- Type de Sol	2
T- Topographie	1
I- Impacte de zone non saturée	5
C- Conductivité hydraulique	3

Chaque paramètre se voit ensuite attribuer une cote (c) pouvant varier entre 1 et 10, laquelle est en fonction des conditions locales propres à l'unité hydrogéologique.

Une cote de 1 correspond aux conditions de moindre vulnérabilité alors qu'une cote 10 reflète des conditions très propices à la migration et la propagation du polluant dans le milieu aquifère.

III.3.3. Calcul de l'indice « DRASTIC » :

L'indice DRASTIC partiel propre à chaque paramètre correspond aux produits du poids par la cote :

Poids . Note = Indice Partiel

La somme pondérée de sept (7) indices partiels correspondant à chaque paramètre, représente la valeur DRASTIC global (général) :

Indice DRASTIC général =

$$(Dc.Dp)+(Rc.Rp)+(Ac.Ap)+(Sc.Sp)+(Tc.Tp)+(Ic.Ip)+(Cc.Cp)$$

D, R, A, S, T, I, C : paramètres

C: cote de paramètre considéré,

p : poids de paramètre considéré.

Indice DRASTIC maximum = 226, Indice DRASTIC minimum = 23

III.3.4. Interprétation de l'indice « DRASTIC » :

L'indice DRASTIC général d'un site donné permet d'exprimer son degré de vulnérabilité. Mais, l'appréciation de cet indice numérique de vulnérabilité n'est possible que par l'analyse comparative entre différents sites ou unités hydrogéologiques.

En 1982, le groupe d'associés J.R.B a développé, un système de représentation permettant à l'utilisateur une visualisation rapide du degré de vulnérabilité. En 1987, le Canadien R.Fréchette a réactualisé cette représentation, alors cinq classes de vulnérabilité ont été définies.

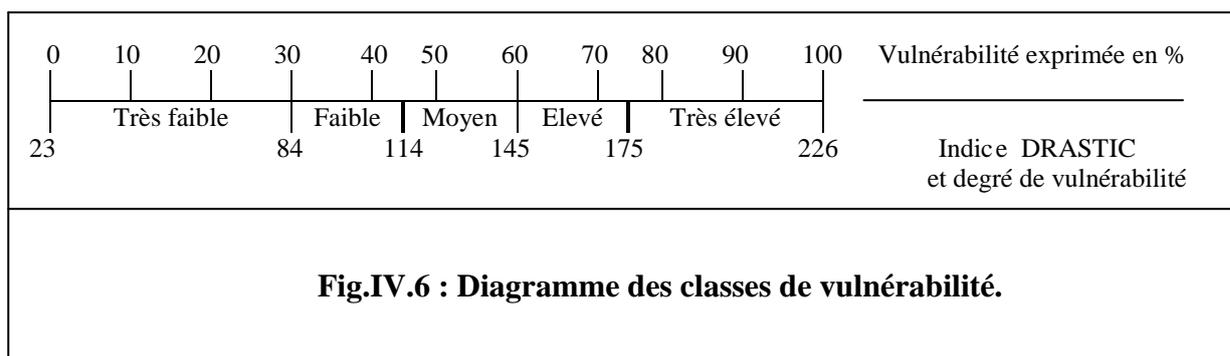


Fig.IV.6 : Diagramme des classes de vulnérabilité.

III.4. Application de la méthode DRASTIC pour cartographier la vulnérabilité des eaux souterraines de la vallée de Oued-Souf :

Les principales étapes pour la réalisation des cartes de vulnérabilité sont les suivantes:

- Acquisition de données pour chaque paramètre DRASTIC ;
- Préparation des différentes cartes thématiques relatives à chaque paramètre DRASTIC ;
- Obtention d'une carte synthèse de vulnérabilité par superposition des différentes cartes thématiques à l'aide d'un SIG;
- Classification des grandes unités hydrogéologiques et des sous unités correspondantes.

III.5. Description des paramètres et réalisation des cartes thématiques :

III.5.1. La profondeur de l'eau (D) :

L'évaluation de ce paramètre a été faite à partir la superposition de la carte topographique avec la carte piézométrique. Cette superposition montre que la profondeur de niveau statique varie de -2.3 à 18.5 m (Figure IV.07)

Les grandes profondeurs sont très peu, localisées au Sud Ouest de Ourmes, Sud de Trifaoui, sud de Robbah et El Oгла qui varient de 15 à 18.5 m. Ces valeurs permettent d'affecter un indice de vulnérabilité partiel égal à 15.

Dans la majeure partie de la zone d'étude, deux plages de profondeurs se présentent, la première varie entre 9 et 15 m et la deuxième entre 4.5 et 9 m, impliquant ainsi des indices de vulnérabilité partiels égal à 25 et 35 respectivement.

On note l'existence de certaines zones qui présentent de faibles profondeurs situées dans la partie centrale et la partie Nord Est de la vallée, avec des profondeurs qui varient entre 1.5 et 4.5m, ce qui nous permet d'affecter un indice partiel de vulnérabilité de 45.

Et une zone de très faible profondeur inférieure à 1.5 m avec une apparition de la nappe à la surface, située au centre de la zone d'étude, ce qui donne un indice partiel de vulnérabilité égale à 50.

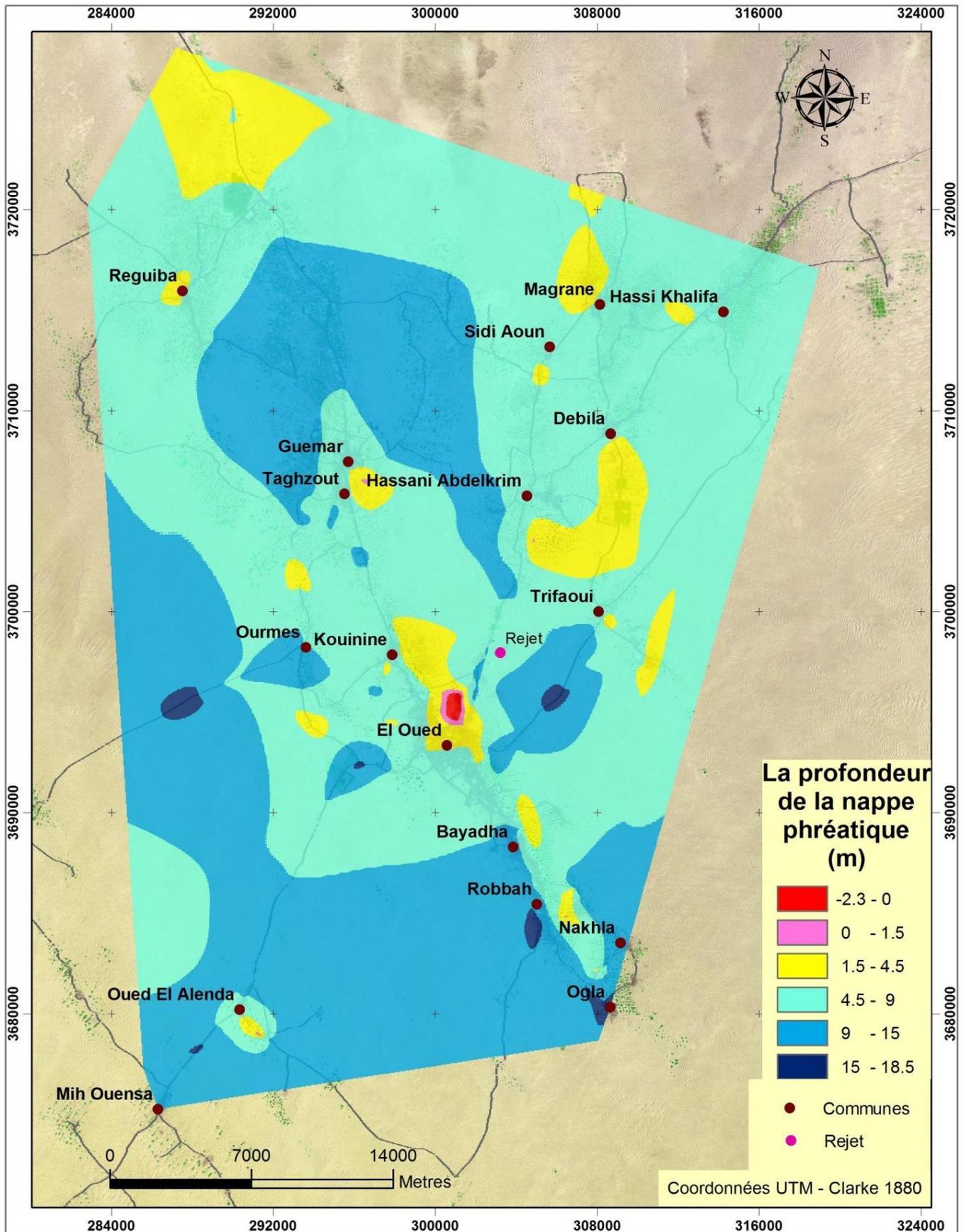


Fig.IV.7 : Carte de profondeur du niveau statique de la nappe phréatique de la vallée d'Oued Souf.

III.5.2. La recharge nette (R) :

Vu le déficit du bilan hydrique (Voir chapitre II), la recharge issues des conditions climatiques (précipitation) est nulle. Donc, la recharge de la nappe phréatique de Oued Souf a deux origines :

- Les eaux usées urbaines ;
- Les eaux d'irrigation.

Les zones de recharge ont été définies à partir de l'interprétation de l'image satellite et la carte d'occupation de sol (BG, 2004).

a) Calcul de la recharge des eaux usées (Communale) :

$$Q_m = (N_p \times D') + (N_p \times D') \times 0.3$$

$$Q_s = Q_m \times 0.8$$

$$R = \frac{Q_s}{S} \times 1000$$

Où :

N_p : Nombre d'habitant.

D' : la dotation ($m^3/an/hab$) = $D \times 0.365$ (D : la dotation ($l/j/hab$))

Q_m : Débit moyen de consommation (m^3/an).

Q_s : Débit moyen d'assainissement (m^3/an).

R : la recharge (mm/an).

S : la surface urbanisée de la commune (m^2)

b) La recharge de l'irrigation a été estimée de $1m/an$ (DSA d'El-Oued, 2009).

Après le calcul de la recharge, On constate que ce paramètre dépasse les $225 mm/an$ sur toute l'étendue de l'aire d'étude, ce qui nous donne un indice partiel de vulnérabilité égal à 36 (Figure IV.08).

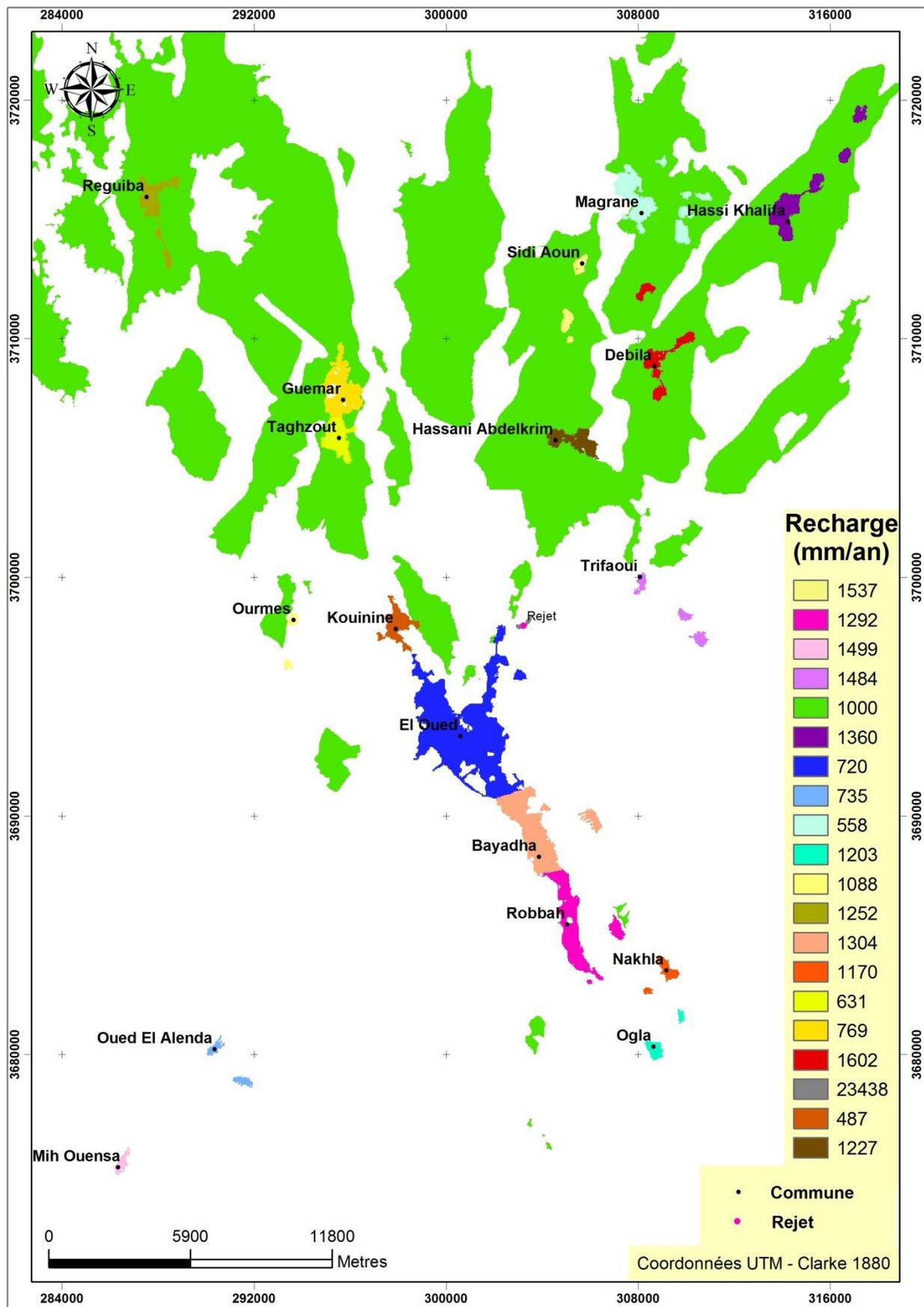


Fig.IV.8 : Carte de recharge de la nappe phréatique de la vallée de Oued Souf (2002).

III.5.3. Nature du milieu aquifère (A) :

Le matériau de l'aquifère est supposé homogène dans son ensemble caractérisé par un terrain sableux, ce qui implique un indice partiel de vulnérabilité égal à 24.

III.5.4. Type de sol (S) :

La texture du sol constituant la couche végétale (1 à 2,5 m d'épaisseur) est constaté homogène et d'origine sableuse, impliquant un indice partiel de vulnérabilité égal à 18.

III.5.5. Topographie (T) :

La carte des pentes ne révèle qu'une seule plage où la pente est comprise entre 0 et 2 degré (topographie quasi-plate). L'indice partiel de la vulnérabilité est égal à 10.

III.5.6. Impact de la zone non saturée (I) :

La couche non saturée est formée uniquement du sable perméable qui nous donne un indice partiel de vulnérabilité égal à 40.

III.5.7. Conductivité hydraulique (C) :

Ce paramètre a été évalué par l'interpolation de l'inventaire des valeurs de perméabilité mesurées à partir des 42 échantillons prélevés à travers le territoire de la zone d'étude (Figure.IV.09).

Les perméabilités varient de 5.6×10^{-5} à 35×10^{-5} m/s, il existe trois classes de conductivité hydraulique :

- Les terrains de conductivité hydraulique comprise entre 33×10^{-5} et 35×10^{-5} se localisent à l'Ouest de Hassani Abdelkrim, avec un indice de vulnérabilité partiel égal à 18.
- La partie majeure de la zone d'étude a une perméabilité comprise entre 15×10^{-5} et 33×10^{-5} , se localisent dans la partie Sud, avec un indice partiel de vulnérabilité égal à 12.
- Les terrains de conductivité hydraulique comprise entre 5.6×10^{-5} et 15×10^{-5} , se localisent au Nord, avec un indice de vulnérabilité partiel égal à 6.

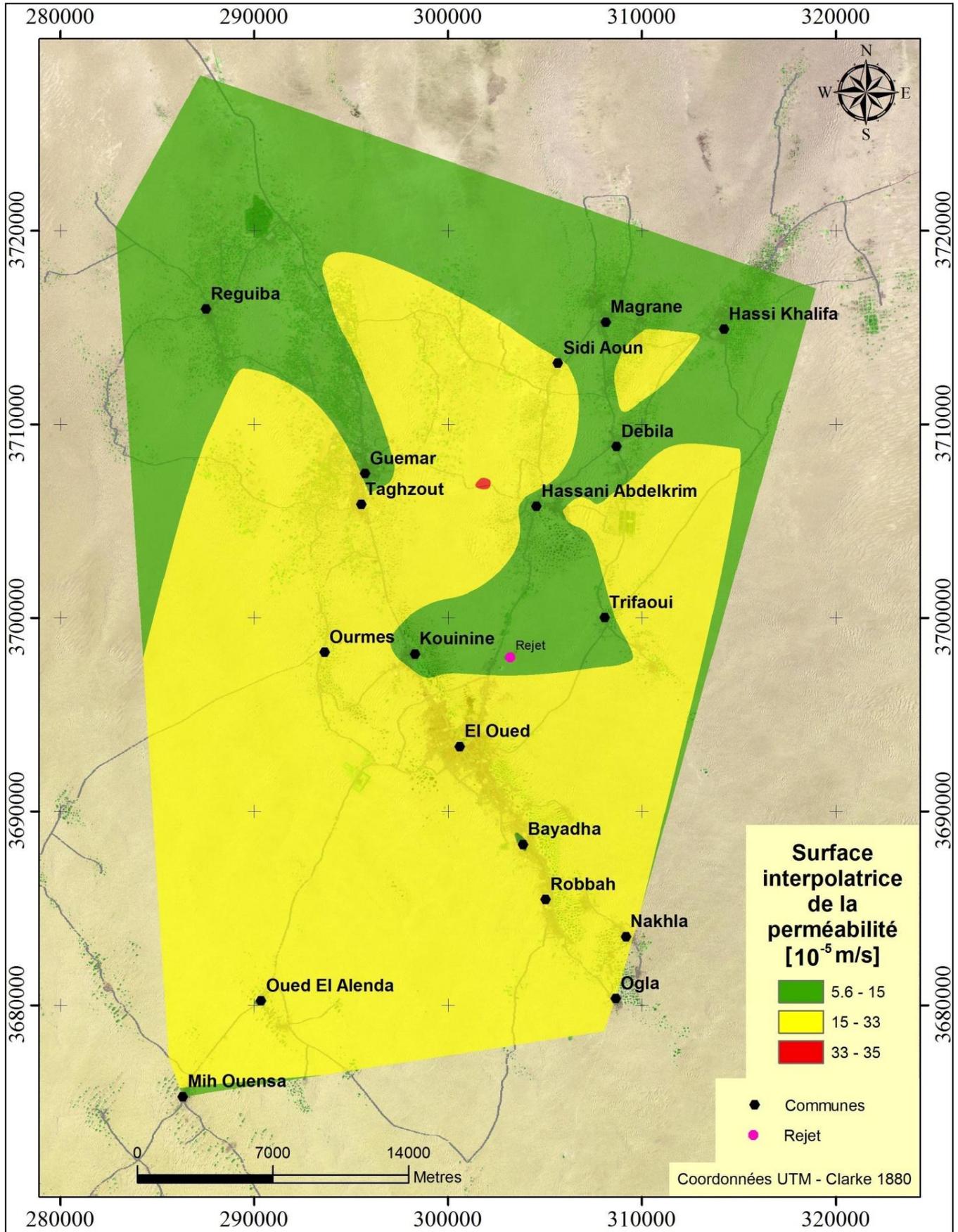


Fig.IV.09 : Carte de conductivité hydraulique de la nappe phréatique de la vallée de Oued Souf (2002).

III.6. La carte de vulnérabilité :

La carte de vulnérabilité de la nappe phréatique d'Oued Souf est obtenue donc par la superposition spatiale des différentes couches caractérisant les paramètres de la méthode DRASTIC.

Cette carte a permis de bien cibler les zones à risque de pollution. Elle regroupe trois (3) classes (Figure IV.10).

La classe 1 :

Caractérise un degré de vulnérabilité "Moyen" à la pollution, représentée dans la carte en couleur verte. C'est la classe la plus dominante dans la zone d'étude.

La classe 2 :

Caractérise un degré de vulnérabilité "Elevé" à la pollution. Elle regroupe les zones à vulnérabilité "Forte" à la pollution, représentée par le couleur jaune qui occupe le site de rejet de la ville d'El Oued et la grande surface irriguée et urbanisée de la zone d'étude.

La classe 3 :

Qui caractérise une vulnérabilité "Très élevée" à la pollution, regroupe les zones dont le risque à la contamination est "très fort". Les zones concernées sont : les communes de Kouinine, El-Oued, Reguiba, Foulia et Magrane ainsi que le Sud de Hassi Khalifa, la zone agricole entre Debila et Trifaoui et l'est de Taghzout.

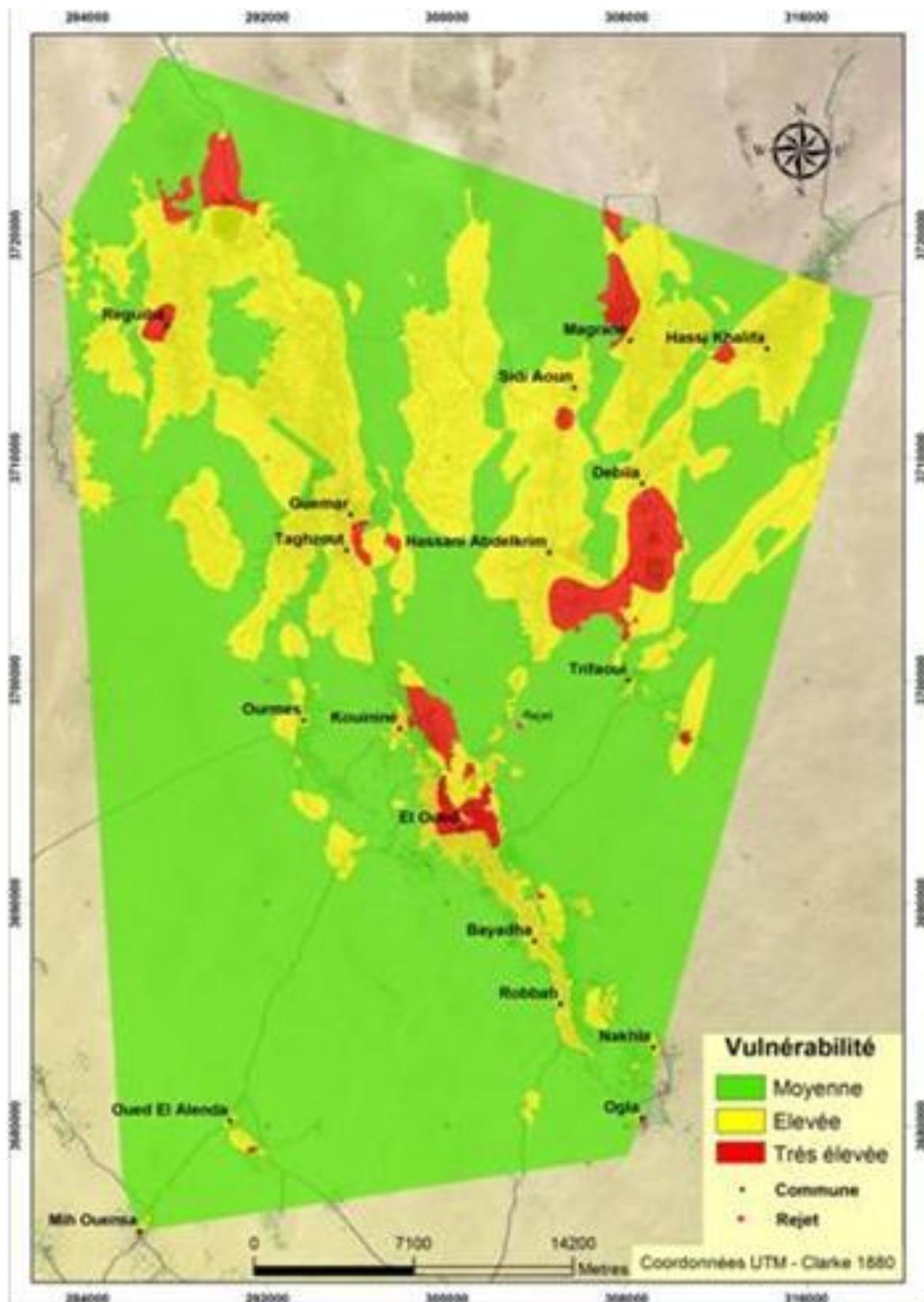


Fig.IV.10 : Carte de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la nappe phréatique d'Oued Souf.

III.7. Discussions des résultats :

La carte de vulnérabilité a été dressée dans le but de montrer quelles sont, suivant les paramètres rencontrés, les possibilités de pénétration et de propagation des polluants dans ces terrains c'est-à-dire la vulnérabilité de ces nappes, que la plupart des puits et forages de captage d'eau de différents usages. A partir de cette carte, il est donc possible de définir les zones sensibles dans lesquelles une pollution peut affecter gravement une nappe et d'avoir une idée des moyens à employer si l'on veut protéger cette nappe.

Ces conditions réunies montrent que les zones urbanisées de la vallée de Oued Souf sont des zones vulnérables, de même que les zones de recharge de la nappe phréatique par les eaux d'irrigation et les rejets domestique.

Comme il parut que les zones les plus vulnérables dans la vallée de Oued Souf ne sont que des endroits dont on trouve une recharge importante : dans les zones urbanisées par les rejets domestiques (vu l'absence d'un réseau d'assainissement) ou bien au niveau des zones agricoles caractérisées par une recharge intensive par les eaux d'irrigation et par une zone non saturée de faible épaisseur.

Dans les zones vulnérables, la zone non saturée est mince et le taux de raccordement au réseau d'assainissement est très faible voire nul avec une densité de population forte. Les forages appartenant à ces zones doivent bénéficier des périmètres de protection et aussi l'extension de ces agglomérations doit tenir compte de la vulnérabilité des espaces. Cette vulnérabilité peut être due au taux de raccordement qui est très faible et à la densité moyenne de la population.

IV. CONCLUSION

La région d'Oued Souf possède une potentialité hydrique très importante, présentée sous forme de trois nappes souterraines : la nappe du Complexe Terminal (CT), la nappe du Continental Intercalaire (Albien) et la nappe phréatique (libre). La quasi-totalité des eaux destinée à l'alimentation de la population sont celles du CT qui ont de forts débits (dépassant les 14 000 m³/j) ce qui traduit une consommation excessive de cette nappe.

Au cours de ce travail, on a pu définir la qualité des eaux de la nappe du CT, du point de vue potabilité et aptitude à l'irrigation. D'après l'interprétation des analyses physico- chimiques, ces eaux sont trop salées et la concentration des éléments majeurs dépasse de loin les normes de potabilité de l'OMS, ce qui nous laisse parler à des eaux de mauvaise qualité pour la consommation humaine.

La classification des eaux du CT selon le diagramme de Richards montre qu'elles ont des conductivités très fortes et sont impropres pour les utilisations agricoles.

Cette situation a conduit les habitants de la région d'Oued Souf à acheter les eaux des citernes (eaux traitées ou provenant des régions voisines) pour leur propre consommation et n'utiliser les eaux de robinet (de CT) que pour le lavage et l'arrosage des espaces verts et des jardins. Ainsi, la dotation journalière devient très élevée (dépassant les 200 litres/jour/habitants), ce qui a pour conséquence une mauvaise gestion de cette ressource rare et vulnérable.

Au cours de cette partie, on a pu encore définir la vulnérabilité des nappes souterraines et choisir parmi les méthodes qui l'évaluent celle qu'on appelle la méthode DRASTIC. Cette méthode basée sur sept paramètres : la profondeur de l'eau, la recharge de la nappe, nature du matériel aquifère, type de sol, topographie de terrain, impact de la zone non saturée et la conductivité hydraulique.

L'utilisation d'un système d'information géographique (SIG) pour l'élaboration de cette carte montre que la vallée de Oued Souf présente un degré de sensibilité à la pollution moyenne à élevée, sauf quelques zones où la vulnérabilité est très élevée. Il a parut que ces zones sont soit :

- des zones ont une recharge forte par les eaux domestiques et agricoles ;
- des zones ont une faible couche non saturée,

Ces endroits doivent bénéficier d'un suivi tout particulier avec un aménagement adapté (Les forages appartenant à ces zones doivent bénéficier des périmètres de protection et aussi l'extension de ces agglomérations doit tenir compte de la vulnérabilité des espaces).

CHAPITRE V
GESTION DES RESSOURCES
EN EAU

I. INTRODUCTION :

A cause de son importance, l'eau constitue un enjeu primordial de développement durable pour la civilisation humaine, c'est pourquoi la ressource en eau, sa gestion et sa pénurie dans le monde constituent les problèmes les plus cruciaux du 21^{ème} siècle.

L'eau est indispensable à la vie de l'homme et à ses activités agricoles, industrielles et domestiques. Même, elle le décrit à toutes les époques de son développement politique, social, économique et technique. Vis-à-vis de cette ressource, les activités des individus sont d'exigences de tous ordres, techniques, sanitaires, qualitatives et quantitatives. Par ailleurs, l'eau est indispensable au fonctionnement des écosystèmes terrestres.

Actuellement, loin d'être disponible en quantité et en qualité, l'eau demeure le centre des préoccupations sur les possibilités de développement et de la civilisation humaine. La question que se pose : comment gérer durablement l'eau ? Comment laisser aux héritiers une situation au moins aussi bonne que celle à laquelle les contemporains ont eu à se mesurer.

Dans ce chapitre, on va éclaircir la situation générale et tendancielle de la gestion de cette ressource dans la vallée d'Oued-Souf, et on va adapter une nouvelle approche de gestion, basé essentiellement à la méthode de perspective, après avoir quantifié les réserves disponibles et les demandes en eau pour les différents usagers et de priorité d'allocation basé sur des approches de concertation et de collaboration de tout acteur de l'eau intervenant dans cette unité de ressource hydrique, en vue de développer ce secteur de telle sorte a ne pas dégradé l'environnement ni le système socio-économique.

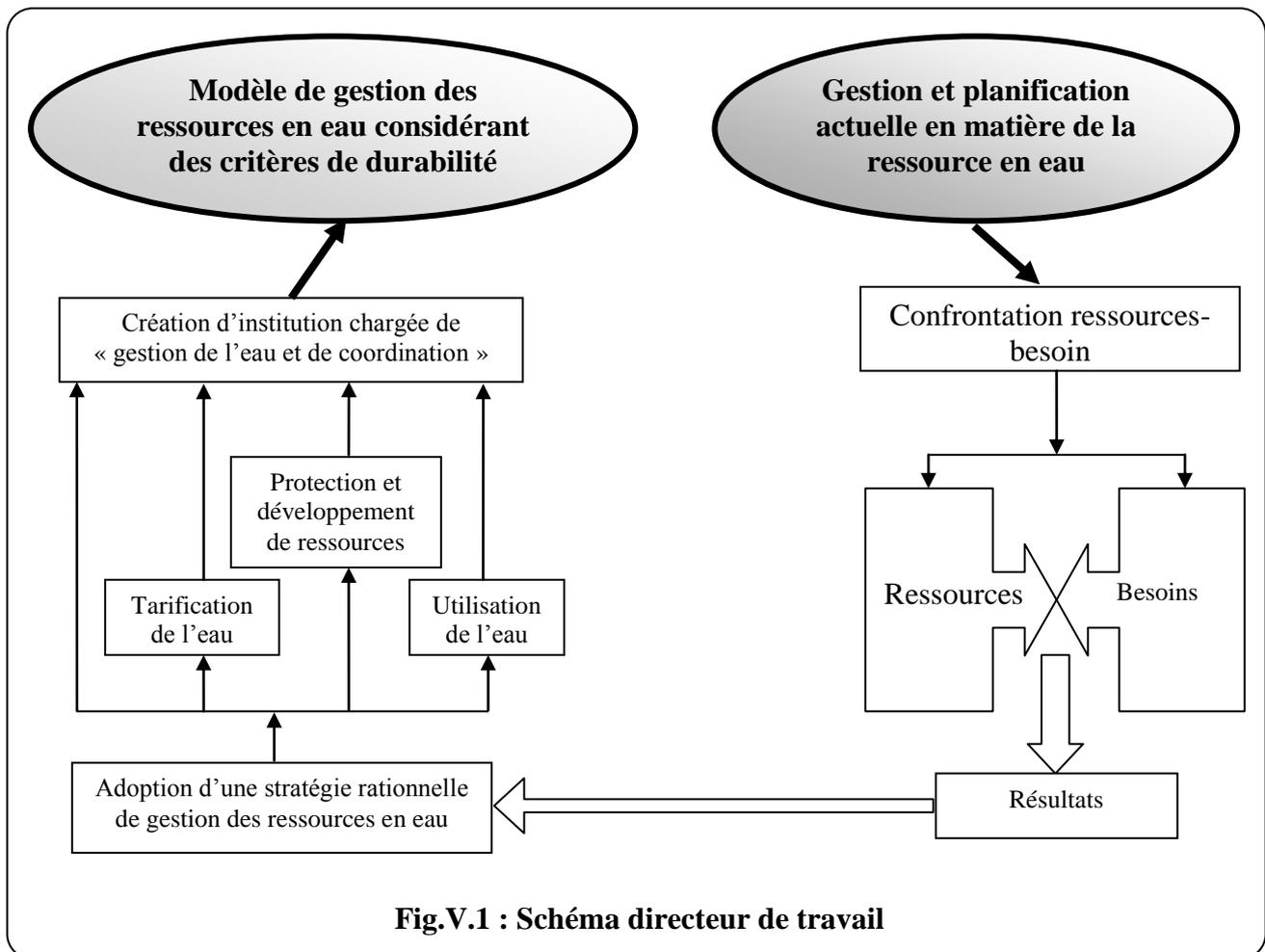


Fig.V.1 : Schéma directeur de travail

II. CONFRONTATION RESSOURCES-BESOINS EN EAU:

Dans la vallée d'Oued Souf, et comme toutes les zones arides, les seules ressources en eaux sont souterraines, alors que leur mobilisation est primordiale. Tandis que les ressources superficielles sont absentes.

L'approche ou la méthodologie que nous avons adoptée permet de :

- Evaluer les ressources et les besoins en eaux sur une période d'observation allant du 1999 jusqu'au 2012 pour les différents secteurs.
- Confronter entre les quantités d'eaux demandées et réellement fournies pour l'ensemble des usagers.
- Envisager des scénarios possibles à court, à moyen et à long terme.

II.1. Les ressources en eau :

Le potentiel des ressources en eaux souterraines, établi par la direction de l'hydraulique de la Wilaya d'El-Oued, se répartit comme suit :

- Nappe phréatique : $0.13 \cdot 10^6$ Millions hm^3 .

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

Total : 4.90 Millions hm³.

II.2. Les différents usages de l'eau :

II.2.1. L'alimentation en eau potable (AEP) :

Les prélèvements pour l'alimentation en eau potable sont principalement effectués à partir de 148 forages dans la nappe du Complexe Terminal (CT) et 02 forages dans la nappe du Continental Intercalaire (CI).

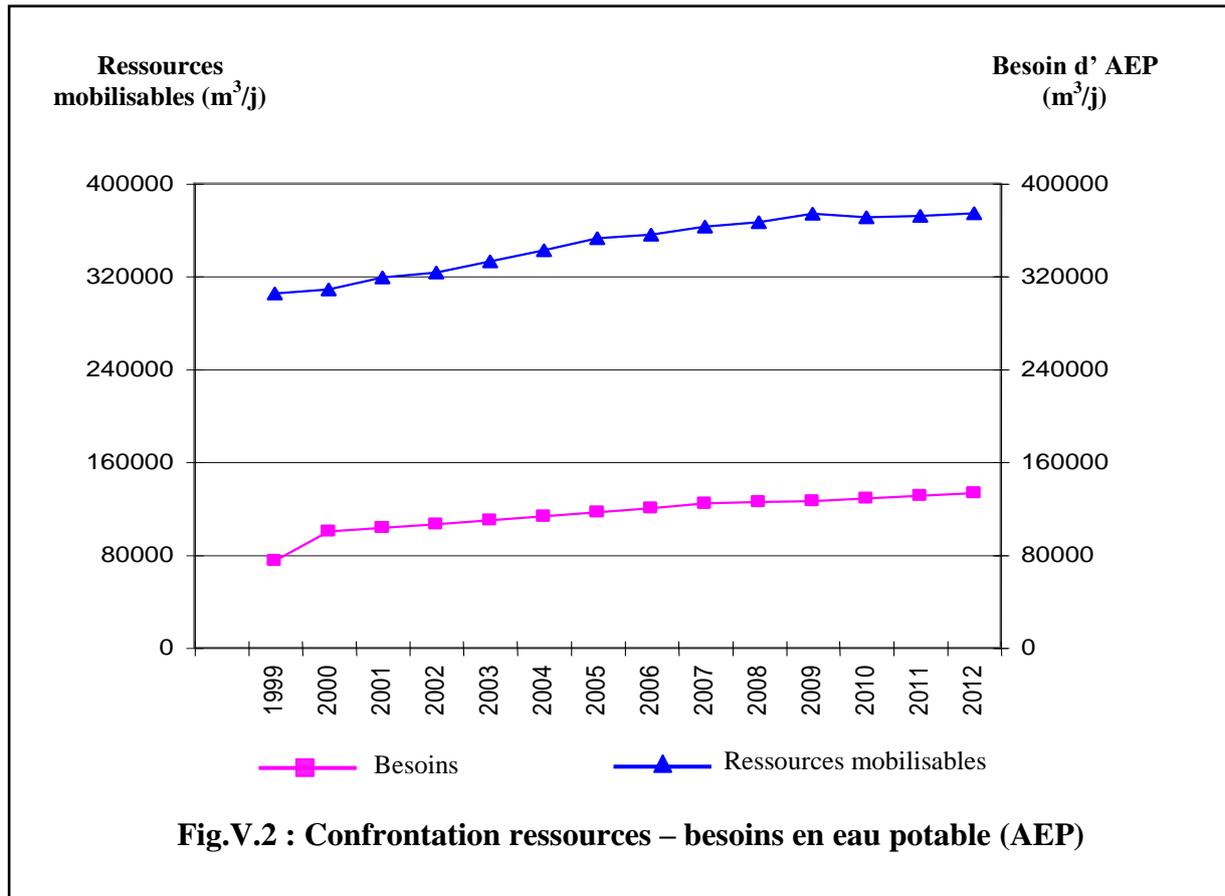
En 1999, la mobilisation est de 305279.29 m³/j en 1999 qui atteint 396468.59 m³/j en 2012 où les ressources mobilisables à but d'alimentation en eau potable représentent 8.29 % du total de la mobilisation.

Les besoins en eau domestique est évaluée à 27326.06 m³/j en 1999 qui s'accroît jusqu'à 138671.82 m³/j en 2012 avec une moyenne d'augmentation annuelle de 2202 m³/j.

Tab.V.1 : Les besoins / ressources en eau mobilisable pour l'AEP (1999-2012)

Année	Besoins d'AEP en m ³ /j	Ressources mobilisables (m ³ /j)
1999	27326.06	305279.29
2000	100276.02	308632.86
2001	103341.68	319099.29
2002	106516.80	323084.29
2003	109817.76	332682.86
2004	113166.82	342261.43
2005	116646.66	352916.43
2006	120245.84	355710.71
2007	124351.76	362824.92
2008	125374.08	366453.17
2009	124351.76	362824.92
2010	128952.78	373709.67
2011	133724.03	384920.96
2012	138671.82	396468.59
Total	1572763.87	4886869.39

(DRH, El-Oued, 2013)



II.2.2. Les usages agricoles de l'eau (AEA) :

Dans la vallée de Souf, la ressource en eau est fortement exploitée par l'irrigation, la culture de la pomme de terre a connu un fort développement depuis la fin des années 90. La superficie agricole irriguée s'élève à près de 31494 ha en 1999 et à 59935 ha en 2009, sachant que les besoins en eaux d'un hectare est évaluée à 16430 m³/an.

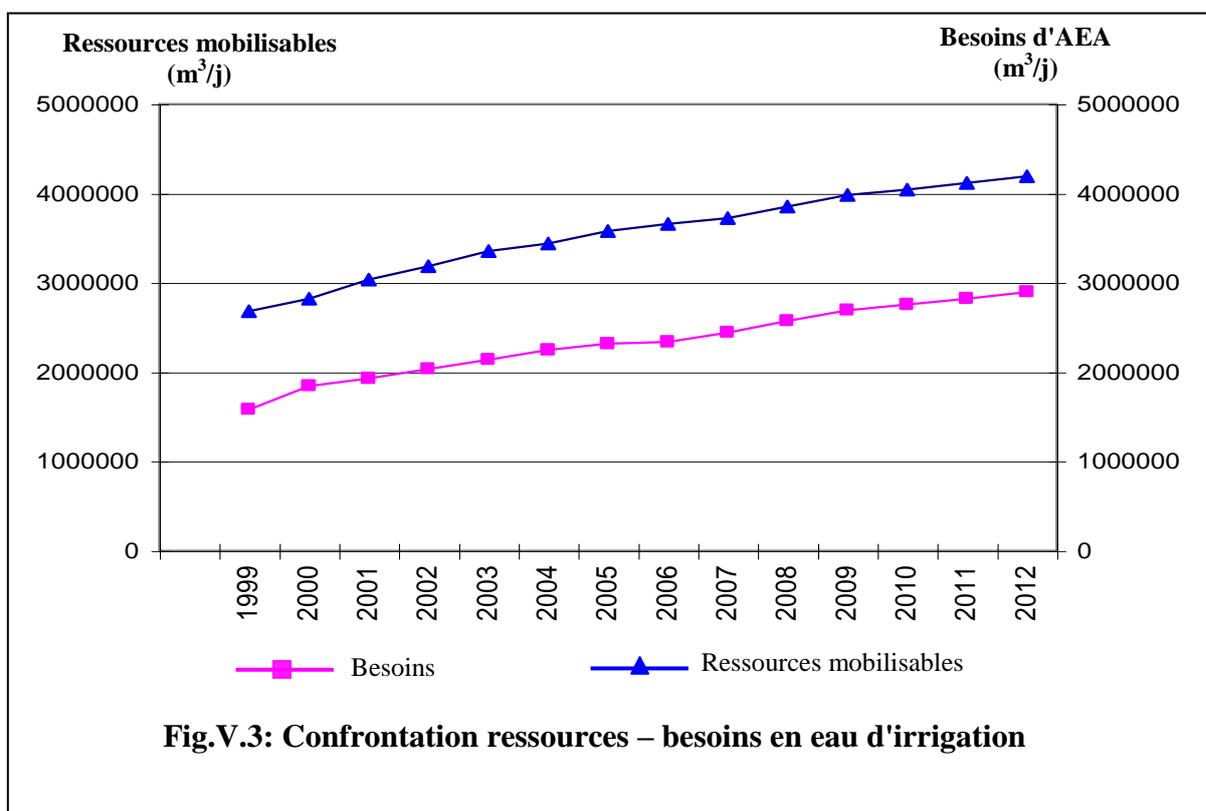
Ceux-ci s'effectuent essentiellement par le pompage au sein des forages des nappes profondes (CT et CI) et surtout de nombreux puits dans la nappe phréatique (autour de 20000 puits en 2010).

L'agriculture, qui utilise plus de 88 % des ressources en eau mobilisées représente la part du lion (Fig.V.5), augmente de 2679696 m³/j en 1999 à 3354307.2 m³/j en 2003 pour atteindre 4389769.5 m³/j en 2012. Les besoins en eau de ce secteur sont évalués à 3095940.1 m³/j en 2012.

Tab.V.2 : Besoins en eau-ressources mobilisable aux fins agricoles (AEA) (1999-2012)

Année	Besoins d'AEA en m ³ /j	Ressources mobilisables (m ³ /j)
1999	1417661.4	2679696.0
2000	1845561.6	2819404.8
2001	1931222.7	3033590.4
2002	2035159.3	3186950.4
2003	2136665.2	3354307.2
2004	2249874.7	3440448.0
2005	2316224.9	3578256.0
2006	2337651.4	3592080.0
2007	2443918.7	3722418.0
2008	2570239.3	3852718.0
2009	2693211.8	3983038.0
2010	2822068.0	4117766.3
2011	2954705.2	4253652.6
2012	3095940.1	4389769.5
Total	29754164.20	50004095.20

(DSA, El-Oued, 2013)



II.2.3. Utilisation industrielle de l'eau (AEI) :

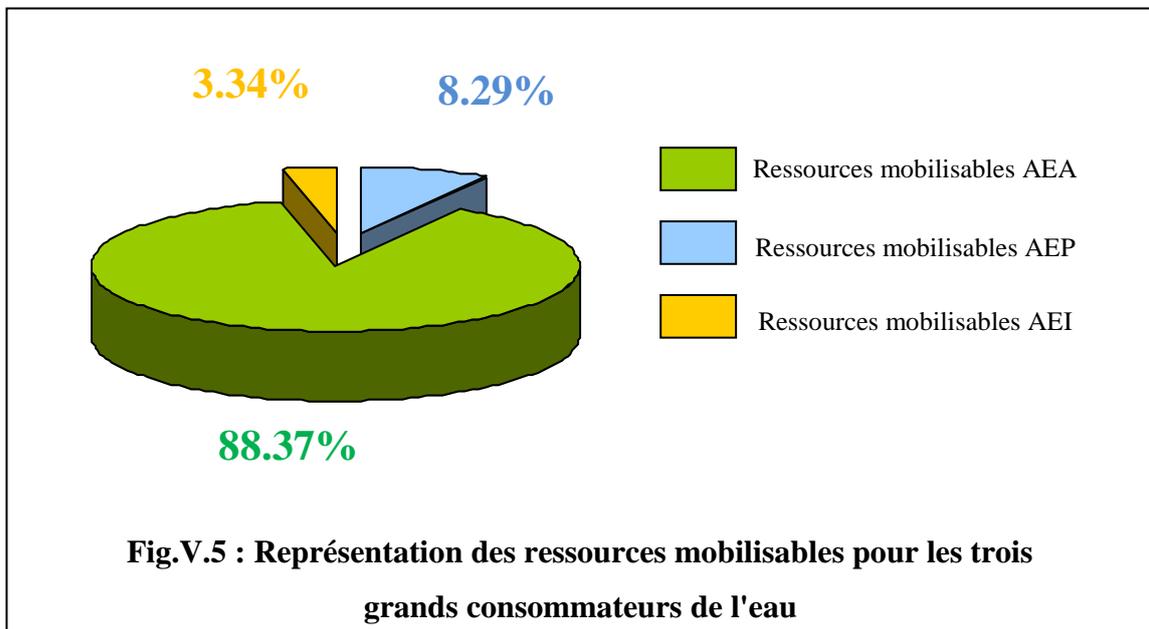
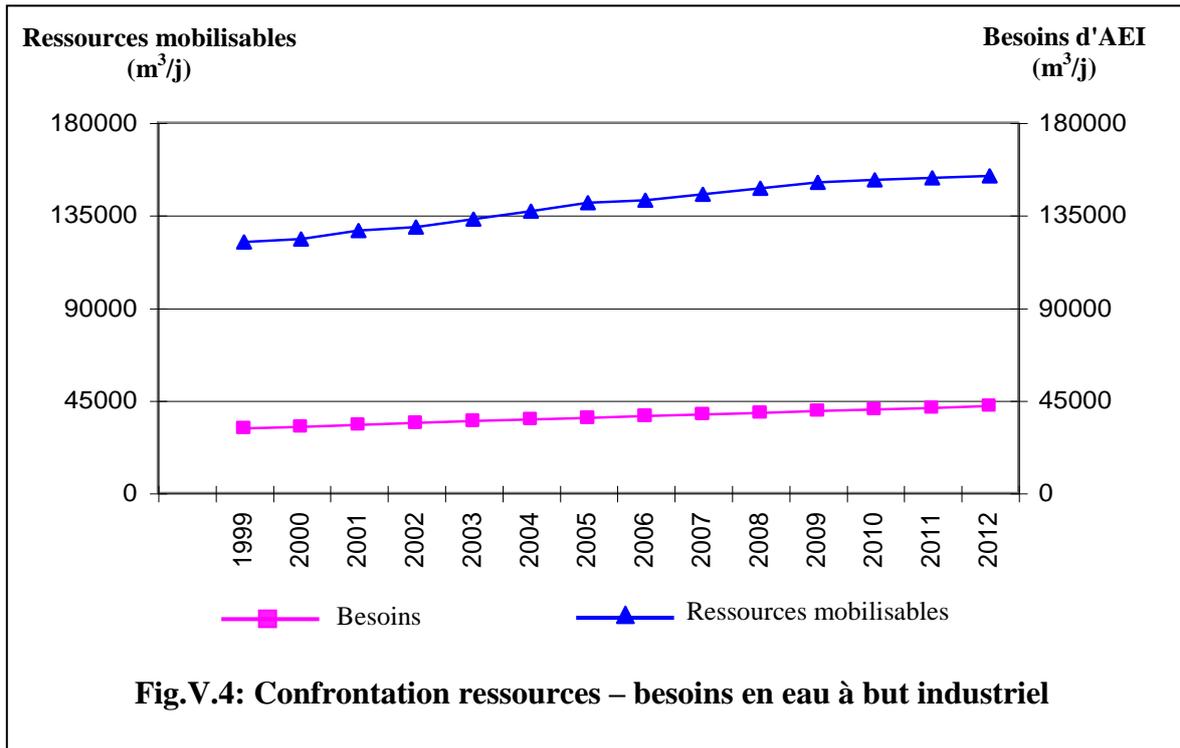
La consommation d'eau industrielle est extrêmement variable et elle dépend évidemment du type d'industrie, et vu l'absence des industries à forte intensité d'eau (telles que l'industrie chimique, la sidérurgie et la pâte à papier...) les ressources mobilisables à des fins industrielles ne représentent que 3.34 % du total des ressources mobilisables de la vallée.

Les besoins industriels en eau en 1999 est estimé à 31375.71 m³/j qui s'accroît en 2012 à 41459.8 m³/j.

Tab.V.3 : Les besoins en eau-ressources mobilisable d'AEI (1999-2009)

Année	Besoins d'AEI en m³/j	Ressources mobilisable (m³/j)
1999	31375.71	122111.71
2000	32169.71	123453.14
2001	33135.14	127639.71
2002	34008.86	129233.71
2003	34984.00	133073.14
2004	35838.86	136904.57
2005	36477.14	141166.57
2006	37542.00	142284.29
2007	38280.04	145164.29
2008	39019.12	148049.5
2009	39757.49	150931.00
2010	40314.10	153868.60
2011	40878.50	156946.00
2012	41459.8	160084.90
Total	515240.47	1970911.13

(DEM, El-Oued, 2013)



II.3. Ressemblance des données ressources / besoins :

II.3.1. Ressources :

Les ressources mobilisables pour les différents usagers (domestiques, agricoles et industriels) dépassent 1.13 km³ en 1999 qui atteignent 1.7 km³ en 2012.

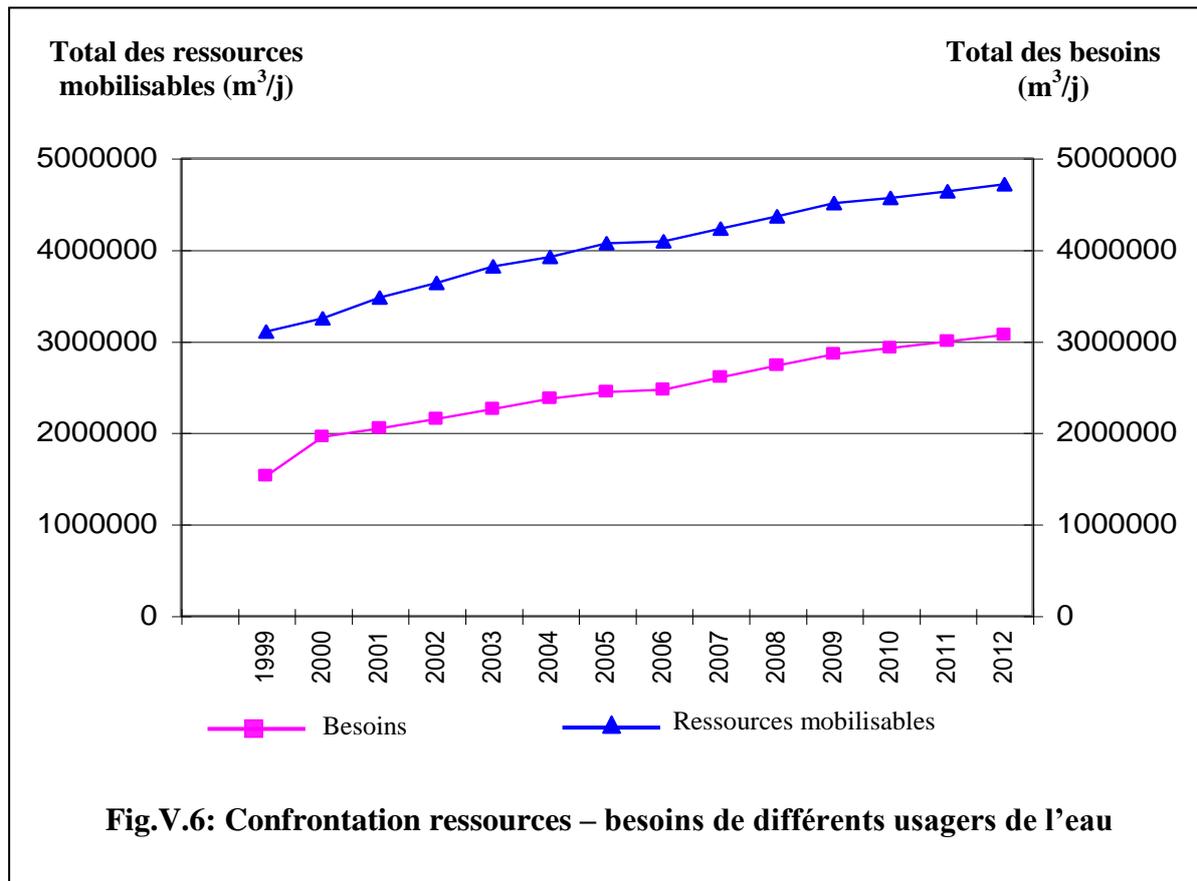
II.3.2. Besoins :

La population de la vallée d'Oued-Souf est de 374331 habitants en 1999, ce nombre est passé à environ 542150 habitants en 2012 où les besoins ont dépassé 1.14 Milliards m³. Les besoins par habitant de cette année se répartissent comme suit :

- Besoins industriels : 38.08 hm³.
 - Besoins domestiques: 94.50 hm³.
 - Besoins agricoles : 1007.42 hm³
- Total : 1140 hm³

Tab.V.4: Récapitulation sur les ressources et les besoins en eaux de différents secteurs en m³/j (1999-2012).

Année	Ressources (m ³ /j)			Total des ressources mobilisables (m ³ /j)	Besoins (m ³ /j)			Total des besoins (m ³ /j)
	AEP	AEA	AEI		AEP	AEA	AEI	
1999	305279.29	2679696	122111.71	3107087.0	78439.29	1417661.4	31375.71	1527476.42
2000	308632.86	2819404.8	123453.14	3251490.8	80424.29	1845561.6	32169.71	1958155.64
2001	319099.29	3033590.4	127639.71	3480329.4	82837.86	1931222.7	33135.14	2047195.71
2002	323084.29	3186950.4	129233.71	3639268.4	85022.14	2035159.3	34008.86	2151190.34
2003	332682.86	3354307.2	133073.14	3820063.2	87460.00	2136665.2	34984.00	2259109.23
2004	342261.43	3440448.0	136904.57	3919614.0	89597.14	2249874.7	35838.86	2375310.68
2005	352916.43	3578256.0	141166.57	4072339.0	91192.86	2316224.9	36477.14	2443894.88
2006	355710.71	3592080.0	142284.29	4090075.0	93855.00	2337651.4	37542.00	2469048.40
2007	362824.92	3722418.0	145164.29	4230407.2	124351.76	2443918.7	38280.04	2606550.50
2008	366453.17	3852718.0	148049.5	4367220.6	125374.08	2570239.3	39019.12	2734632.50
2009	373782.24	3983038.0	150931.00	4507751.2	126404.2	2693211.8	39757.49	2859373.49
2010	371685.299	4042906.8	152327.88	4566919.17	128606.2	2756372.6	40634.36	2925613.16
2011	371887.09	4115622.7	153189.31	4640699.1	130834.2	2823654.2	41256.71	2995745.11
2012	374115.38	4189976.6	154227.8	4718319.78	133077.52	2896587.4	42371.62	3072036.54



II.4. Prévisions :

La planification d’une stratégie de développement économique et durable dans la région exige des informations tant sur les ressources hydriques disponibles que sur l’évolution future de la consommation.

On construit les scénarios d’évolution sur l’hypothèse d’une continuité des tendances des dernières années. Pour soutenir la croissance démographique et économique attendue, trois scénarios quant à l’évolution des besoins en eau par habitant sont envisageables :

a. Scénario 01 (Horizon 2017) :

Le scénario retenu est fondé sur une croissance de la population (taux de 3.07 %) et donc des prélèvements destinés à l’alimentation en eau potable qui est prévue d’atteindre 59.87 hm³. Sur le plan agricole, le prolongement de la tendance observée au cours des onze ans précédentes montre un accroissement de la demande en eau d’agriculture allant jusqu’à 1541 hm³. Le nombre d’établissements industriels se poursuit à la même allure, nécessitant pour satisfaire leurs besoins environ 18 hm³.

b. Scénario 02 (Horizon 2027) :

Sur le plan agricole, toujours dans le scénario de continuité des précédentes années, les exploitations s'agrandissent et, les besoins vont s'accroître à 1867.18 hm³. L'augmentation de la pression démographique (évaluée à 827672 habitants) générerait une demande de 81.84 hm³ en eau potable. Dans le même scénario, les établissements industriels utiliseraient un volume d'eau qui dépasse les 26.85 hm³.

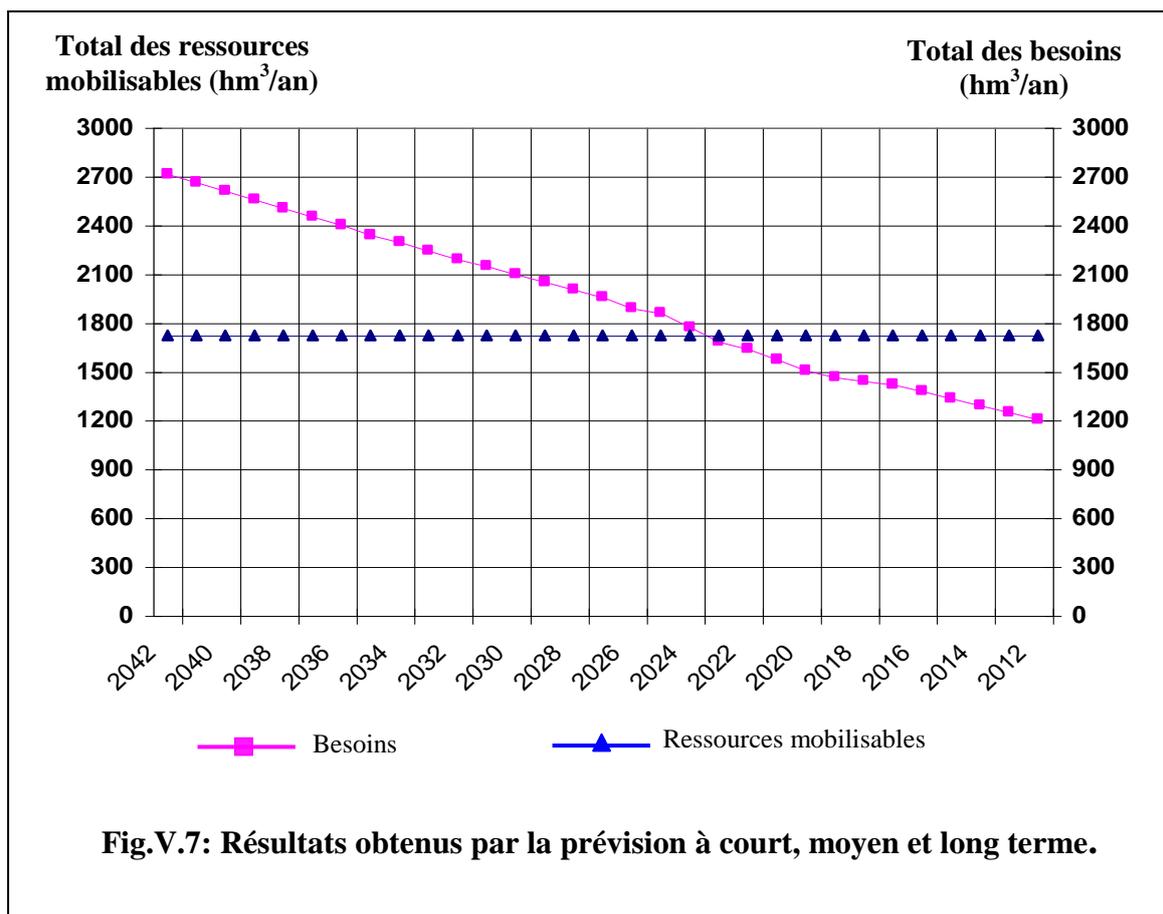
c. Scénario 03 (Horizon 2042) :

La poursuite des tendances passées aboutit à une croissance démographique globale de 1251928 habitants qui nécessiteront pour satisfaire leurs besoins un volume de 99.57 hm³. Du même, les superficies irriguées auront une demande d'environ 2.92 km³ d'eau pour répondre à leur besoins croissante ainsi qu'à ce temps, la demande en eau industrielle va s'accroître jusqu'à 38.6 hm³.

Tab.V.5 : Résultats obtenus par la prévision

N° de scénario	Population	Besoin d'AEP (hm ³ /an)	Besoin d'AEA (hm ³ /an)	Besoin d'AEI (hm ³ /an)	TOTAL (hm ³ /an)
Scénario 0 (année 2012)	542150	94.50	1007.42	38.08	1140
Scénario 01 (Horizon 2017)	615686	59.87	1541	18	1618.87
Scénario 02 (Horizon 2027)	827672	81.84	1867.18	26.85	1975.87
Scénario 03 (Horizon 2042)	1251928	99.57	2920	38.6	3058.17

Au cours de l'établissement de ces scénarios, nous considérons que les ressources mobilisables auront constantes à partir de l'année 2012 (4718319.78 m³/j ou 1722.19 hm³/an).



- Discussion des résultats obtenus par la prévision:

Dans le scénario 1 (2017), l'établissement du bilan ressources – besoins nous permet de constater que ceci est excédentaire, autrement dit les ressources mobilisables peuvent répondre aux différents besoins des usagers.

Dans le second scénario (2027), la croissance démographique et le développement économique sont responsable à des quantités d'eau supplémentaires qu'il faut les remplir. En 2023, on observe que les besoins des différents usagers vont atteindre les ressources mobilisables en eau.

Dans le troisième scénario (2042) et suite à une demande croissante de l'eau (où une hausse continue de la population et de leurs besoins domestiques, agricoles et industriels), on obtient un état d'insatisfaction des besoins des différents utilisateurs de l'eau et alors un déficit de bilan ressources / besoins.

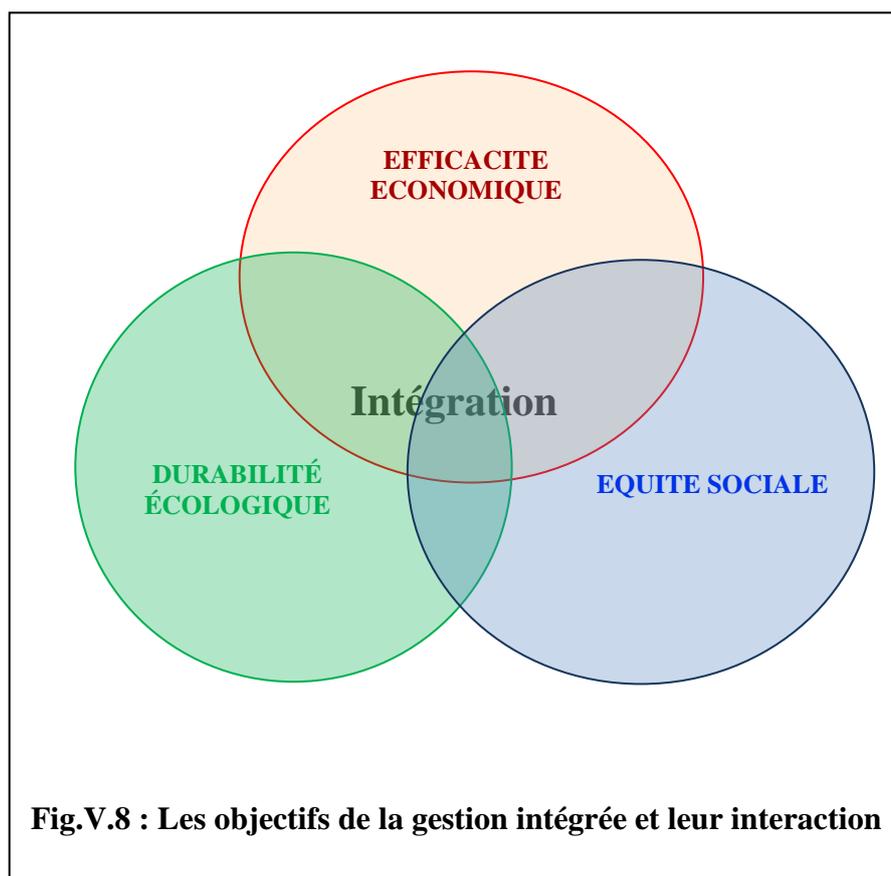
Cela s'explique par le fait que le bilan ressources – besoins, dans le cas où les ressources restent constantes, est excédentaire au cours du premier scénario. Au cours du deuxième scénario, il deviendra déficitaire (l'an 2023), et restera encore au-delà de cette année.

D'après ces chiffres, le bilan deviendra négatif à partir de l'an 2023 (volume exploitable est inférieur à la demande), ce qu'il nous impose une gestion future des ressources en eau dans la région qui se posera davantage en termes de maîtrise de l'offre en général, et de l'efficacité de l'irrigation en particulier, d'autant plus que cette région est de plus en plus considérée comme une région de mise en valeur par l'eau et que le caractère fossile des nappes de la région pose le problème de la durabilité de leur exploitation.

III. STRATEGIE POUR LA GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU :

Pour élaborer une stratégie adéquate en vue de gérer les ressources en eau, on doit d'abord répondre aux perspectives et objectifs suivants :

- l'équité sociale ;
- l'efficacité économique ;
- la durabilité écologique.



IV. LES ACTIONS DE LA GESTION DES RESSOURCES EN EAU :

IV.1. Institutions de gestion de l'eau :

L'amélioration de la gestion des ressources en eau ne peut aboutir sans la création de structures institutionnelles dans un cadre juridique et organisationnel performant et que permet la coordination de toutes les décisions prises par les différents secteurs. La prise en compte dans ces réformes institutionnelles de la prépondérance de la gestion traditionnelle et des coutumes autant que possible dans ces structures nouvelles. D'un autre point de vue, il existe dans plusieurs cas des organismes et des structure de coordination non performants à cause de l'absence de pouvoir de décision et des ressources nécessaire pour l'application des motions d'organisation et de gestion, raison part laquelle une refonte ou une révision des règlements existants permettent, dans une large mesure, la coordination et l'application effective recherchée.

Le cadre institutionnel pour l'exploitation des ressources en eau et les possibilités de coordination constituent un des aspects qui permet au mieux, d'assurer l'efficience de l'usage dans les différents secteurs. De ce fait, il est urgent de développer les cadres législatifs en conformité avec la grande avancée dans le domaine de recherche et d'étude sur l'utilisation des ressources en eau et les problèmes rencontrés, entre autres, le gaspillage, la surutilisation et la pollution.

IV.1.1. Possibilités de développement des structures institutionnelles régionales :

La comparaison entre l'offre de la ressource et la demande présage l'impossibilité d'un développement durable à long terme, dans l'éventualité du maintien des modes de consommation actuelle. C'est à juste titre que les points de départ pour développer les structures institutionnelles nécessitent l'unification du secteur et un mécanisme central ou une autorité nationale qui assure et coordonne les intérêts sociaux et économiques divers à travers l'élaboration de politiques et de stratégies des eaux à l'échelle nationale. Les prérogatives de cette instance peuvent se résumer ainsi :

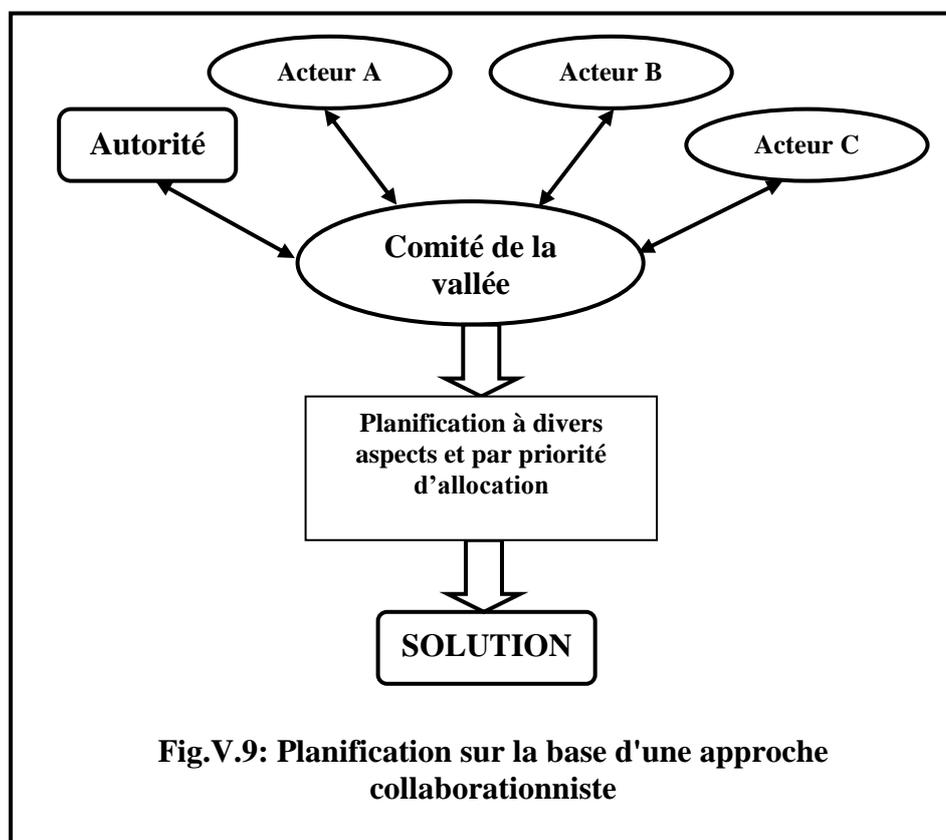
- Création d'une base de données centrale bien gérée.
- Définir les priorités et les orientations des politiques des eaux, la planification et le cadre juridique.
- La coordination entre les institutions locales.
- Assurer la complémentarité dans la prise de décision à caractère social, économique et environnemental.

- Assurer le transfert de connaissances scientifiques et techniques de gestion des ressources en eau.
- Dynamiser les liens entre les instances locales, régionales et internationales œuvrant dans le domaine des ressources en eau.
- Donner plus d'importance à la formation, au perfectionnement et au recyclage des cadres techniques et scientifiques et renouveler en permanence leurs connaissances.

IV.1.2. La structure d'institution proposée:

Sur une approche collaborationniste et dans la lumière d'une gestion intégrée et participative des ressources en eau, on propose la création d'un «*comité de la vallée*» dont il se compose par les représentants de tous acteurs pourront intervenir et intéressant de cette ressource dans la vallée, parmi ces acteurs on cite :

- ◆ Représentant de la DHW ;
- ◆ Représentant de l'ONA ;
- ◆ Représentant de la DSA ;
- ◆ Représentant de l'ADE ;
- ◆ Représentant de la D. de l'environnement ;
- ◆ Représentant du centre universitaire d'El-Oued ;
- ◆ Représentant des agriculteurs ;
- ◆ Représentant des ONG ;
- ◆ Représentant d'Elus locaux ;
- ◆ Représentant de l'industrie et de mine (DIM).



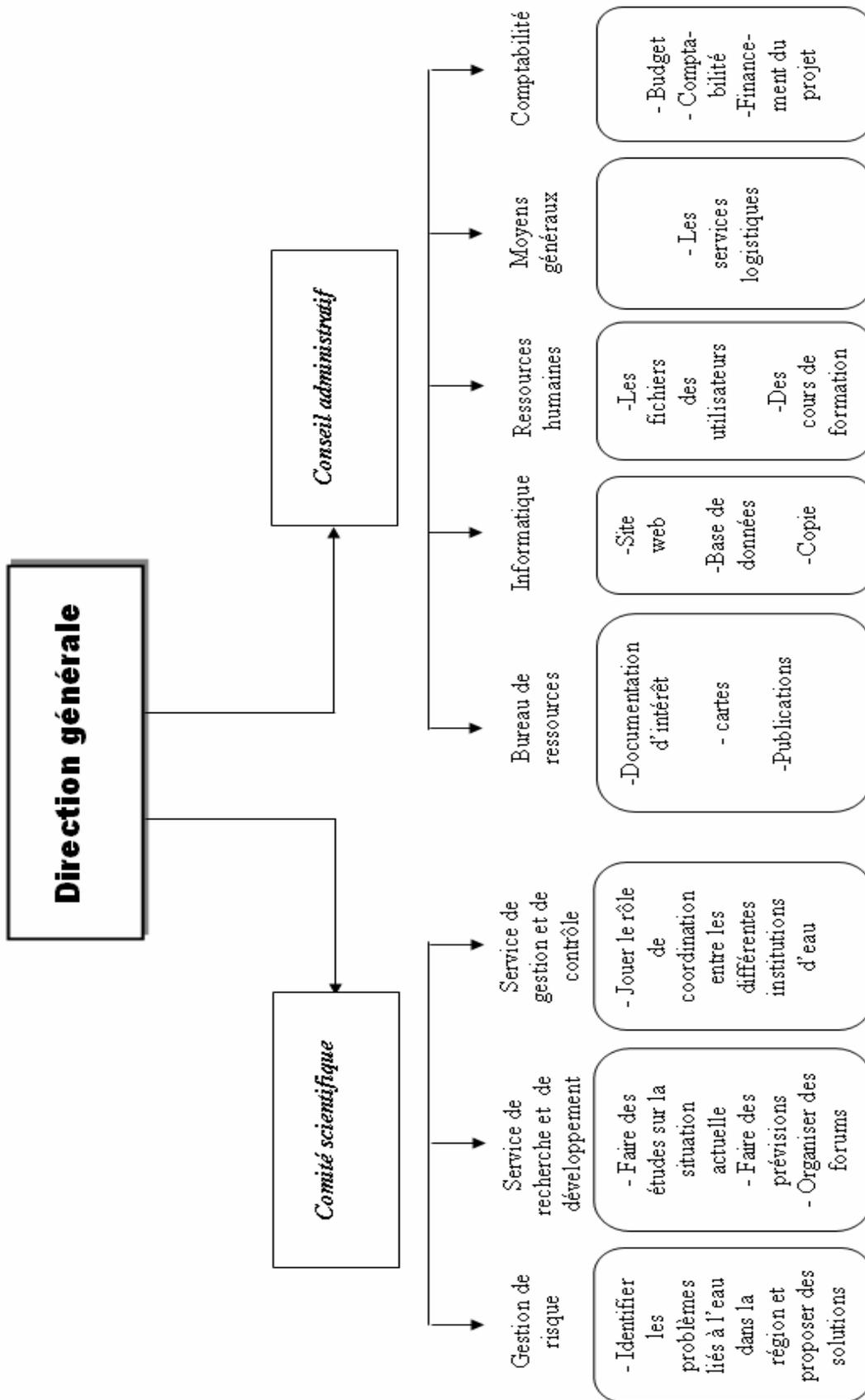


Fig. V.09 : La structure proposée de " comité de la vallée " en vue d'une meilleure gestion des ressources en eau

IV.1.3. Certaines tâches des services :**❖ Service de gestion et contrôle :**

- La coordination entre les différentes institutions de l'eau (DRH, ADE, DSA....) ;
- Assurer l'accès de l'eau à tous les usagers et en quantité suffisante (sur un principe de priorité d'allocation) ;
- Contrôler la qualité de l'eau fournie à l'utilisateur par prélever des échantillons à partir de réseau de distribution ;
- Superviser les travaux des institutions privées de dessalement de l'eau ou l'industrie des filtres pour préserver la santé de consommateur ;
- La conservation des ressources souterraines et la protection contre la pollution et l'exploitation irrationnelle par prenant des mesures périodiques.

❖ Service de recherche et développement :

- Faire des études actuelles sur la situation hydrique et établir des scénarios de prévision ;
- Organisation des séminaires et coordination entre les centres de recherche régionaux et l'université.

❖ Service de gestion de risque :

- Prendre des mesures de précaution pour éviter les problèmes potentiels au niveau local ;
- Élaborer un plan d'urgence pour les catastrophes naturelles et les incidents de pollution ;
- Evaluer l'impact des activités de développement sur les ressources en eau ;
- Renforcer le système de surveillance afin d'améliorer la prévision hydrologique et la planification.

IV.2. L'utilisation d'eau :

L'économie de l'eau demeure une composante principale de la gestion des ressources en eau. L'ensemble des pertes entre la production de la ressource et son utilisation dans la vallée de Souf est estimé à 50% en 1999 et il atteint en 2009, 36.56% du volume global de la ressource mobilisable, cette valeur inclut la perte dans le réseau de distribution et la mauvaise utilisation de cette ressource, sur ce plan, et pour la meilleure utilisation, on a recommandé :

IV.2.1. Pour le secteur agricole :

- La modernisation des conduites d'adduction et des réseaux d'irrigation ;
- l'amélioration de la gestion de l'eau à la parcelle: techniques d'irrigation, par exemple l'utilisation de l'irrigation au goutte à goutte; actuellement l'état finance entre 40 à 60 % du prix du matériel utilisé pour l'irrigation dans le but d'une économie de l'eau agricole ;
- L'introduction des techniques nouvelles de contrôle de l'irrigation (irrigation déclenchée par mesure automatique du stock d'eau dans le sol, ferti-irrigation permettant de valoriser au mieux les intrants, contrôle de fertilisants dans le sol,...) ;
- L'encouragement des associations d'agriculteurs ayant pour tâche le partage et la gestion de l'eau.

**Photo. a : système d'irrigation traditionnel****Photo. b : système d'irrigation moderne****Photo.V.1 : La modernisation des systèmes d'irrigation****IV.2.2. Pour l'eau potable :**

- La modernisation des conduites d'adduction et des réseaux de distribution d'eau ainsi que l'instauration des systèmes de détection et de contrôle de fuites. Par rapport aux volumes d'eau distribués, le pourcentage des volumes d'eau perdus est passé de 50% en 1999 à 30% en 2009, malgré l'augmentation des volumes d'eau distribués qui sont passés de 111 hm³ en 1999 à 136 hm³ en 2009 ;
- L'amélioration des caractéristiques des accessoires sanitaires (robinetterie, chasses d'eau) ;

- La sensibilisation des utilisateurs en commençant par les gros consommateurs (hôteliers, administration, usines,...).

IV.2.3. Pour l'industrie :

- La mise en place de technologies propres (refroidissement en circuit fermé, recyclage de l'eau, arrêt automatique des pompes, nettoyage à sec, ...), dans certains secteurs à forte consommation d'eau comme les laiteries et les teintureries textiles, permet de réduire la demande en eau et de limiter les coûts d'épuration.

IV.3. Protection et développement des ressources :

IV.3.1. Protection des ressources :

Le principal risque auxquels sont confrontées les ressources en eau dans la vallée de Souf est le problème de pollution, notamment la pollution de la nappe phréatique, ainsi que le problème d'entartrage des conduites surtout les conduites en ciment.



a. l'état chimique des eaux souterraines :

Afin de connaître l'état chimique actuelle des eaux souterraines de la vallée de Souf, on a pris les résultats d'analyse faite par le laboratoire de l'ADE en 2010, les résultats sont résumés dans le Tableau V.6.

Tab.V.6 : Les analyses des eaux souterraines

Paramètre	Unité	Normes	Les eaux souterraines			
			phréatique	CT	CI	
physicochimique	Ph	-	6.5 – 8.5	7.22	7.42	7.22
	Température	C°	-	21.6	24.3	34
	TDS	Mg/l	-	-	2020	1430
	Conductivité	µs/cm	1000	1500	3530	2410
	Turbidité	NTU	5	-	0.39	2.13
	Oxygène dissous	Mg/l	8	-	8.7	5.05
	Salinité	‰	-	-	2.1	1.4
Examens prélimaire	Résidu sec à 105C°	Mg/l	2000	5202	1180	2000
	TA	Mg/lCaCO ₃	-	-	00	00
	TAC	Mg/lCaCO ₃	-	-	165	127
	MES à 105C°	Mg/l	Abs	Traces	-	-
	Durté totale	Mg/lCaCO ₃	500	-	1170	988
Contrôle de pollution	Ammonium	Mg/l	0.5	1	0.113	0.119
	Nitrites	Mg/l	0.1	1.19	0.042	0.001
	Nitrates	Mg/l	50	0.57	15.062	1.40
Minéralisation	Calcium	Mg/l	200	6657.30	272.540	200.4
	Magnésium	Mg/l	150	245.43	119.09	118.6
	CO ₂ -total	Mg/l	-	-	332.844	297.43
	CO ₂ - libre dissous	Mg/l	-	-	155.70	173.679
	Bicarbonates	Mg/l	-	256.20	201.3	150.06
	Carbonates	Mg/l	-	Traces	00	00
	Chlorures	Mg/l	-	905.25	808.328	517.61

(ADE d'El-Oued, 2010)

- **Discussion des analyses :**

➤ Nappe phréatique :

Les paramètres chimiques des eaux dans cette nappe sont plus élevés aux normes, notamment les paramètres polluants (ammonium, nitrites, nitrates), cela nous incite à dire que les eaux de la nappe phréatique est contaminée et impropre à l'usage (domestique, agricole et industriel).

➤ CT et CI:

Dans ces deux aquifères, le contrôle de pollution est positif parce que tous les paramètres polluants ne dépassent pas les normes, d'autre part, nous pouvons dire que l'eau est dure (dureté total > 500 mg/l CaCO_3), quant au sel, toutes les concentrations dépassent les normes qui nécessiterait un traitement de dessalement.

b. Les origines de pollution des eaux :

La pollution de l'eau souterraine est provoquée par les rejets des activités domestiques et urbaines, agricoles ou industrielles, dont l'eau est le véhicule de transport et de dissémination idéal. D'où trois grandes sources de pollutions : domestiques :

- **La pollution domestique :**

Ce sont les rejets d'eaux usées domestiques et municipales (lavage des rues, arrosage) elles se caractérisent par :

- De forte teneur en matières organiques ;
- Des sels minéraux, dont l'azote et le phosphore ;
- Des détergents ;
- Des germes fécaux.

- **La pollution industrielle :**

Elle est caractérisée par une très grande diversité, suivant l'utilisation de l'eau dans les processus (refroidissement, lavage, extraction, mise en solution, etc.) et l'activité de l'usine (chimie, traitement de surface, agroalimentaire, etc.). On peut donc retrouver dans l'eau, qui est un bon solvant, tous les sous-produits possibles de l'activité humaine :

- Matières organiques et graisses (industries agroalimentaires, abattoirs) ;
- Acides, bases, produits chimiques divers (industries chimiques et pharmaceutiques, tanneries).

- **La pollution agricole :**

Les pollutions agricoles sont causées principalement par l'utilisation irrationnelle des engrais chimiques et pesticides, qui se caractérisent principalement par :

- Une forte teneur en sels minéraux (azote, phosphore, potassium), provenant des engrais et des effluents d'élevage (fumiers, lisiers) ;
- Des substances d'oxydables issues de sous-produits d'élevage et des lavages d'aires (matières organiques, ammoniacque) ;
- La présence épisodique dans les effluents d'élevage des produits sanitaires (bactéricides, antibiotiques).

c. Solutions proposées contre le problème de pollution :

- Entreprendre une étude approfondie de la région pour identifier les zones touchées, ainsi que la propagation de la pollution (simulation de propagation des polluants) ;
- Installation du périmètre de protection d'une combinaison spatiale avec le degré de risque (périmètre de protection immédiat, rapproché et éloigné), selon la carte de vulnérabilité (établie en chapitre précédent) ;
- Interdiction de jeter les déchets des usines dans les zones non-affectés ;
- L'utilisation de techniques modernes dans l'agriculture pour augmenter la production au lieu d'engrais, telles que l'utilisation de l'eau magnétique ;
- L'installation d'un système de puits dans les zones touchées et l'application de technique d'alimentation des nappes pour améliorer la qualité des eaux souterraines (recharge artificielle) ;
- Eviter l'utilisation des conduites en ciment qui facilite le phénomène d'entartrage, et les remplacer par d'autres en PVC.

IV.3.2. Développement des ressources :

• **Réutilisation des eaux usées et traitées :**

Le développement de l'urbanisation, du tourisme et de l'industrie nous conduit à entreprendre les mesures adéquates afin de protéger les sites de rejet des eaux usées d'une pollution certaine à plus ou moins longue échéance. La création des stations d'épuration autour des principales concentrations urbaines et touristiques est devenue impérative comme mesure de prévention et de réduction du risque. Avec la réalisation des stations d'épuration dans la région du Souf, le volume des eaux épurées rejetées devient de plus en plus important. Ces eaux constituent actuellement des ressources non négligeables pour la création des périmètres irrigués. Les rejets des eaux usées des stations d'épuration dépassent 17 Millions de m³/an en 2005 et pourront atteindre 21 Millions de m³/an en 2015. Cette eau de "seconde

main" est toujours disponible indépendamment des saisons. Le recyclage de ces importantes quantités d'eau en agriculture (culture fourragère et certaines cultures fruitières) est une solution judicieuse. La réutilisation de ces eaux traitées débouchera sur deux profits capitaux pour l'agriculture (en tenant profit des éléments fertilisants que l'eau usée peut apporter à la plante) et pour l'environnement (en éliminant une eau traitée présumée encore dangereuse pour certains milieux récepteurs).

- **Réutilisation des eaux de drainage :**

Les eaux de drainage constituent une ressource non négligeable. Le réseau de drainage vertical dans la vallée de Souf (El Oued, Kouinine, Bayadha et Robbah) comprend 58 forages connectés à 34 Km de conduites, le volume d'eau connecté par ce réseau est d'ordre de 8 million m³/an, on peut utiliser ce volume de façon souple pour l'irrigation d'environ 620 ha.

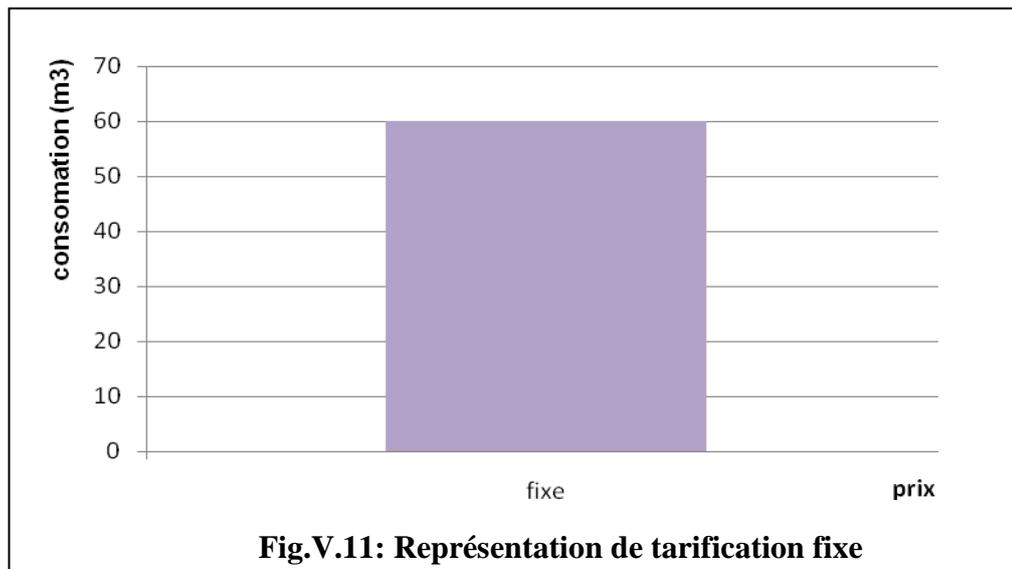
IV.4. Tarification de l'eau :

La tarification de l'eau soulève toujours des débats orageux, souvent empreints de partisanerie, la raison est souvent liée au fait qu'au nom du rôle essentiel que procure l'eau, le Gouvernement a adopté des politiques de tarification qui faisaient supporter une très faible partie du coût directement aux usagers (bien qu'indirectement les usagers paient l'eau par le biais des taxes municipales et des impôts). Ainsi, dans beaucoup de municipalités, la tarification de l'eau n'a aucun rapport avec la consommation individuelle des usagers.

IV.4.1 La structure de tarification dans la vallée de Souf :

Dans la vallée de Souf, il y a deux catégories de tarification de l'eau :

- Forfait (fixe) :** elle comprend 17 communes (toutes les communes à l'exception de la ville d'El-Oued) et près de 40.32% d'utilisateurs dans la commune d'El-Oued, chaque trois mois, le consommateur paie environ 1540.00 DA/an (dans la commune d'El-Oued), le graphe suivant (figure V.11) représente la tarification d'eau par cette catégorie :
- Par compteur :** elle comprend 12345 utilisateurs d'eau dans la commune d'El-Oued (ADE, mars 2010), ce système est équitable pour le consommateur et prendre en compte l'économie de l'eau. Pour calculer le prix d'eau il ya 4 classes : ménages, administration, commerce et industrie/tourisme.

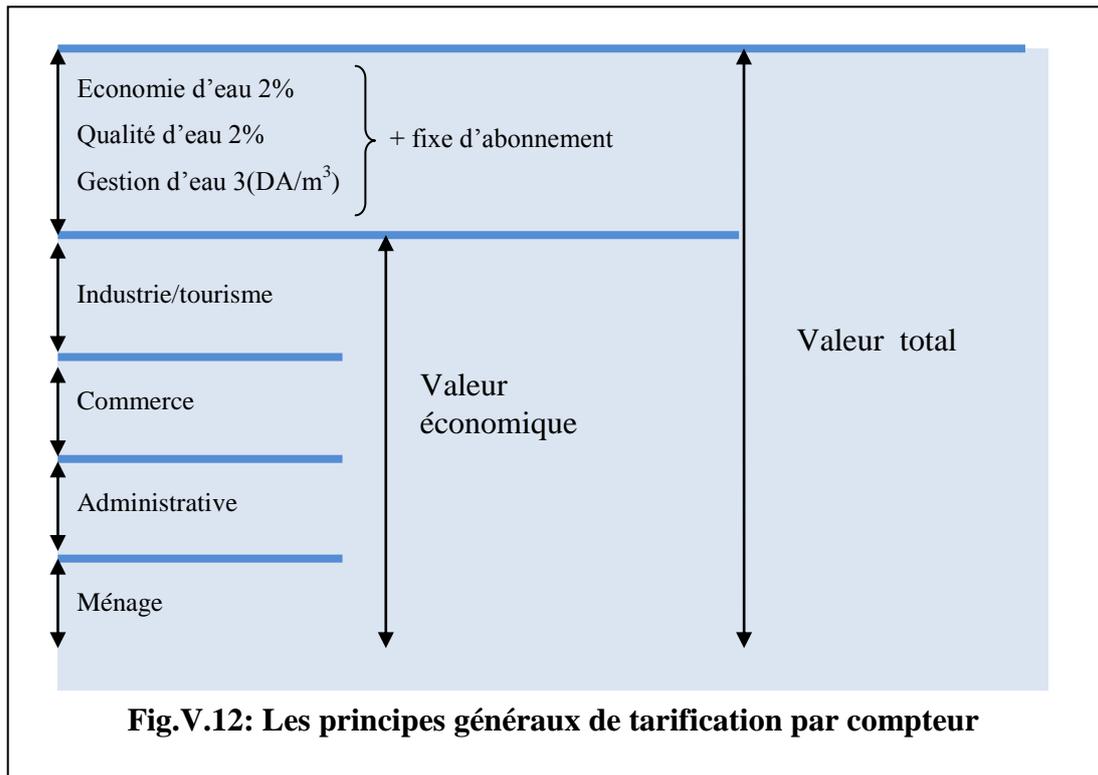
**Tab.V.7 : Mode de tarification par compteur (sans redevance)**

Classe	Tranche de consommateur (m ³)	Tarification EAU (DA/m ³)	Tarification ASS (DA/m ³)
Ménages			
Tranche 1	1 à 25	5.80	2.10
Tranche 2	26 à 55	18.85	6.83
Tranche 3	56 à 82	31.90	11.55
Tranche 4	> 82	37.70	13.65
Administration	-	31.90	11.55
Commerce	-	31.90	11.55
Industrie/tourisme	-	37.70	13.65

(ADE d'El-Oued, 2010)

- **Discussion et analyse :**

La tarification par compteur est bonne, surtout si nous savons qu'elle couvre environ 75% du coût de réseau de distribution. En ce qui concerne le système de tarification forfaitaire (fixe) est injuste dans la plupart des cas ne sert pas l'intérêt public et même pas l'utilisateur. Pour le secteur agricole, l'eau est considérée comme un bien privée, à l'exception de quelques palmiers situés dans ou près des maisons (environ 500 DA pour chaque palmier).



IV.4.2. Suggestions et recommandations :

Afin de développer un système intégré de tarification de l'eau, on devrait être prises les mesures suivantes :

- Mettre un programme pour l'installation du compteur d'eau dans toutes les communes ;
- Sensibilisation des usagers à la nécessité d'installation du compteur à celle de la première instance pour l'utilisateur ;
- Adoption des lois en ce qui concerne l'utilisation agricole, comme l'autorisation de création des nouveaux puits ou bien des forages ;
- Faire des études approfondies sur le système de prix, en tenant compte l'utilisateur et l'intérêt public.

V. CONCLUSION :

Au cours de ce chapitre, on a pu évaluer le système offre /demande en eau dans la vallée de Souf, il a paru que l'offre de ressources mobilisables couvre la demande croissante d'eau pour les différents secteurs (AEP-AEI-AEA).

L'établissement des scénarios de prévisions nous permis de constater que la demande en eau va s'augmenter jusqu'à atteint les ressources mobilisables en 2023, et comme l'eau est une ressource finie et vulnérable, essentielle au maintien de la vie, au développement et à l'environnement, c'est possible que nous sommes exposés à la rareté de cette ressource au-delà de cette année.

Pour éviter ce problème, nous avons développé une stratégie intégrée fondée sur :

- Institution de gestion d'eau : Elle constitue un cadre qui doit assurer la mise en œuvre et l'évaluation de la stratégie, cette institution a la décentralisation administrative.
- L'utilisation de l'eau ou plus précisément l'économie d'eau : Compte tenu de la différence entre la demande et les ressources mobilisables, on reconnaît l'importance de la rationalisation de la consommation, dans ce contexte, on a proposé plusieurs recommandations pour chaque secteur.
- Protection et développement de ressources : La protection des ressources est l'une des bases les plus importantes de la gestion de l'eau, particulièrement contre la pollution dont souffre la nappe phréatique de la zone d'étude, donc il doit y avoir un programme de protection et de traitement des eaux souterraines. Pour garder l'eau dans les réserves, on proposa la réutilisation des eaux usées et les eaux de drainage dans l'industrie et l'agriculture après le traitement approprié.
- Tarification de l'eau : Pour donner une dimension économique du système de gestion, on devra être élaboré une tarification appropriée et c'est ce que nous avons fait après l'étude de structure de tarification existant dans la vallée de Souf.

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

La vallée de Souf est une unité de ressource en eau située au Sud-Est algérien, occupe une superficie de 11738 km² qui représente 18 communes administrativement et englobe un nombre de population de plus de 500 milles habitants.

Dans l'étude géologique, nous avons identifié la stratigraphie régionale, la géomorphologie du sous-sol, les reliefs et la tectonique caractérisant l'aire d'étude. Le climat de la région est comme le climat saharien se caractérise par une température élevée (la moyenne est 21.51°C) et un faible taux de précipitation (72.04 mm), d'une évaporation importante et d'un rayonnement solaire excessif.

La région d'étude possède une réserve d'eau souterraine très importante : la nappe phréatique, la nappe du Complexe Terminal (CT) et l'Albien (Continental Intercalaire).

L'interprétation des essais de pompages effectués dans la nappe du CT par la méthode graphique nous permet de définir les différents paramètres hydrodynamiques. Dans cette étude, on a construite un diagnostic de la remontée des eaux en vue de décrit les causes et les solutions en cours de concrétisation.

L'interprétation des résultats des analyses chimiques montre que les eaux de la nappe du Complexe Terminal ne sont pas potables et sont impropres pour l'irrigation selon les normes de l'OMS. L'utilisation d'un système d'information géographique (SIG) pour cartographier la vulnérabilité des eaux souterraines indique que la vallée de Souf présente un degré de sensibilité à la pollution moyenne à élevée, sauf quelques zones où la vulnérabilité est très élevée comme il a paru que ces zones sont soit : des zones ont une recharge forte par les eaux domestiques et agricoles ou bien des zones ont une zone vadose mince.

La gestion intégrée et durable des ressources en eau requiert une bonne connaissance des systèmes naturels et les utilisations de l'eau. La confrontation entre ressources et besoins nous indique que le bilan actuel est excédentaire et sa projection au futur reste encore, jusqu'à l'an 2023 où il deviendra déficitaire. Ces scénarios sont établis sur la base d'une stabilité des ressources mobilisables, ce qui n'est pas le cas en réalité, vu l'engagement massif de l'Etat,

ces dernières années pour la mobilisation des ressources en eau dans l'ordre de subvenir aux besoins des différents secteurs. Mais les résultats obtenus nous indiquent que l'état de gestion des ressources en eau dans la région ouvre une situation alarmante.

Le plan de gestion proposé tient compte, en plus des aspects techniques, les aspects institutionnels et économiques. Sur le plan institutionnel, le "comité de vallée" est responsable de la coordination entre les différentes institutions locales (DRH, ADE, ONA, DSA....), de développement et de la recherche dans les divers domaines de l'eau (traitement, protection des ressources....). Pour parvenir à l'intégration de cette stratégie on doit activer l'aspect économique par la création du système de tarification spéciale pour chaque usager d'eau (AEP, AEA, AEI).

Recommandations :

- Création d'institution de gestion décentralisée est responsable de la coordination entre les différentes institutions de gestion de l'eau locale.
- Organisation des campagnes de sensibilisation sur l'économie de l'eau en première instance et la réduction des comportements illicites en matière d'accès à l'eau et est parrainé par une campagne médiatique Radio centrale.
- L'appui et soutien financier et institutionnel d'investissements dans le domaine de l'eau telle que le dessalement.
- Ouvrir un centre de recherche à l'université d'El-Oued chargé des études dans le domaine de l'eau.
- Organisation des Forums internationaux et des conférences en vue de développer le domaine de la gestion de l'eau auxquels participent tous les acteurs de l'eau de la région, y compris les Elus locaux, avec la participation des spécialistes étrangers.

**REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

Abdul Razzak M. J et Khan M. Z. A, 2003, « Domestic Water Conservation Potential in Saudi Arabia », *Journal of Environmental Management* 14 (2), p. 167–78.

ACDI (l'Agence Canadienne pour le Développement International), (2005) Plan de gestion intégrée des ressources en eaux, Manuel de formation et guide opérationnel.

Achour. S et Tabouche N, (2004), Etude de la qualité des eaux souterraines de la région orientale du Sahara Septentrionale Algérien ISSN1112-3680 n°03 pp99-113.

ADE (Algérienne Des Eaux Wilaya de El-Oued). (2008), Tarifs de facturation de Mai 2008.

ADE (2009), Fiche d'analyses physico-chimiques de 1^{ère} trimestre.

ADE (2010), circulaire n°01/2010 portant références réglementaire régissant la facturation de la consommation d'eau.

ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de la Wilaya de Ouargla). (2010), Note de synthèse des deux campagnes piézométriques et hydrochimie 2002-2003.

ANRH (2010), Note relative aux ressources en eau de la wilaya d'El-Oued, Mai 2007.

Baghli. N et Megnounif. A et Bouanani. A. (2008), Introduction de la modélisation systémique dans la gestion des ressources en eau. Département d'hydraulique, faculté des sciences de l'ingénieur. Université de Tlemcen Algérie.

Belguidoum S, (2002). Urbanisation et urbanité au Sahara revue méditerranée, tome 99, 2002.

Belloum. A (2003), structures institutionnelles de gestion des eaux dans le monde arabe. *Revus H.T.E.* N° :125 pages N° 37

Benchaiba L (2006). Condition d'écoulement et impact sur la mobilisation des ressources en eau. Bassin versant de l'Oued Bouhamdene (W. DE GUELMA EST ALGERIEN). Mémoire de

Magister en Hydraulique Option : Mobilisation des ressources hydriques. Université de Batna. 180 p.

Bousalsal B. (2007). Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique de la nappe libre de la vallée de Oued-Souf (sud-est algérien). Mémoire de Magister. Institut des sciences de la terre. Université de Annaba.

CALNO-MENDIETA, I, (2005), L'économie des ressources en eau de l'internalisation des externalités à la gestion intégrée l'exemple du bassin versant de l'Audomarois, mémoire de doctorat, université des sciences et techniques des LILLE, 345pages.

Chenini, F et al (2002), Une approche intégrée pour la gestion durable des ressources en eau dans le bassin méditerranéen

Castany G (1968) : Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Edition Dunod (1982). Université Pierre et Marie-Curie Paris VII.

Cretenet J N et al, (2003). Vallée du Souf : Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation, Mission IB : Schéma Directeur D'assainissement, 456p.

Daoud.A (2002). Les ressources en eaux en Tunisie. Bilan et perspective. Département de Géographie. Faculté des Lettres et Sciences Humaines de Sfax.

David Etcheverry (2001). Une approche déterministe des distributions des temps de transit de l'eau souterraine par la théorie des réservoirs. Thèse de Doctorat. Institut de Géologie Université de Neuchatel.

DE (Direction de l'Environnement d'El-Oued). Rapport sur les dégâts de la remontée des eaux dans la wilaya de Oued Souf. 13 p.

DHW (Direction d'hydraulique de la Wilaya d'El-Oued) (2010), Enquête sur les exploitations et les besoins en AEP dans la wilaya d'El-Oued.

Didier. B et Mamy. S (2004). Gestion spatiale de la diversité variétale en réponse à la diversité écosystémique : le cas du sorgho [*Sorghum bicolor* (L) Moench] au Mali. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, Institut d'économie rurale (IER), Bamako, Mali.

DSA (Direction Des Services Agricoles) (2010), Rapports et canevas (1999-2009). 07 p

DWAF (Département of Water Affaire and Forestry) (2004), Une stratégie Nationale des ressources en eau, 1^{er} édition. Département des affaires hydrauliques et forestières. Afrique du Sud.

George G. (2004). Gestion intégrée des l'eau par bassin versant : concepts et application.

Ghodbane. M, (2009), Etude de la contamination des eau souterraines de la zone nord de Chemora par les nitrates est-algérien, Mémoire de Magister en hydrogéologie. Option : mobilisation des ressources hydriques et leur impact sur l'environnement. Université de Batna ; 147p

Gilbert,castany, (1982). Principes et méthodes de l'hydrogéologie, BORDAS, Dunod Paris, ISBN : 2-04-01121-9.

Habaieb.H et Albergel.J, (1998), Vers une gestion optimal des ressources en eau exemple de la Tunisie.

Info ressources, (2003), gestion intégrée des ressources en eau (GIRE)-la voie du développement durable N°1/03.

ISESCO (Organisation Islamique pour l'éducation, les sciences et la culture), (2002), stratégie pour la gestion des ressources en eau dans le monde islamique p4-58

Kettab.A. Les ressources en eau en Algérie : stratégies, enjeux et vision (2001), Ecole Nationale Polytechnique (ENP)-Alger, Laboratoire de Recherche des sciences de l'eau (LRS-EAU).

Khechana.S, (2007), Etude de la gestion intégrée des ressources en eaux dans la vallée d'Oued-Souf, Mémoire de Magister en hydrogéologie. Université de Annaba, 133 p.

Khechana.S et al, (2010), la gestion intégrée des ressources en eau dans la vallée de oued-Souf ; enjeux d'adaptation d'une nouvelle stratégie, RSFA, ISSN 1112 9867 pp 22-36.

Khechana.S, (2008), ressources en eau et essai de gestion intégrée des ressources en eau dans la vallée de oued-Souf ; Colloque international Terre et Eau.

Khelef K (2006). Etude de la remontée des eaux de la nappe phréatique d'Oued-Souf (Sud-Est algérien). Thèse de Master d'école de Management EURO-MED. Université de Marseille. 108 p.

Khechana S., Derradji E.F. and N. Mega,. 2011. Hydrochemical characteristics of Groundwater From The Valley Of Oued Souf (SE Algerian) EJSR, Vol.62 No.2, ISSN 1450-216X.

Khechana S., and Derradji E.F., 2012. Management of water resource in hyper arid area (case of Oued Souf valley –SE Algerian)) JWARP, Vol.04 No.11, ISSN 1450-216X.

Khentouch A (2005). Contribution à l'étude quantitative et qualitative de l'érosion dans le bassin versant de Oued Nefla (W. de Batna). Mémoire de Magister en Aménagement en milieu physique.113 p. Université de Batna.

Laurent, F, (1996), Outils de modélisation spatiale pour la gestion intégrée des ressources en eau application aux SAGE, mémoire de doctorat, Ecole National Supérieur des MINES de PARIS et Saint-Atienne.N°d'ordre : 137GD, 357pages

Loïc Chauveau. (1998). Irrigation : le début de la sagesse. Courier de Ministère de l'environnement de France.

Loubier S. (2003). Gestion durable des aménagements hydraulique agricole : conséquences sur la tarification et les politiques publiques en hydraulique agricole. Thèse de Doctorat. Université de Montpellier.

- Mailhol.J.C. (2003) UR Irrigation Cemagref Montpellier Avril 2003 Quebec (Canada).
- Madjyara NGUETORA. (1999). Concept et méthode de gestion des eaux en milieu semi-aride à l'aide d'un système d'information géographique. Application au bassin versant du massili au burkina faso. Thèse de doctorat en Génie Rural école polytechnique fédérale de Lausanne.
- Marc C (2001). Cartes et rapports sur les effets de la remontée des eaux dans la région de Oued Souf.
- Mariam.S et al (2000), Gestion intégrée des ressources en eau. Partenariat mondial pour l'eau. Comité technique consultatif TAC N°4. ISSN : 1403-5324, ISBM : 91-631-0289-7
- M'BARK A, SAIDI M et Brahim I. (2004). Reconnaissance des ressources en eau du bassin d'Ouarzazate (Sud-Est marocain). Bulletin de l'Institut Scientifique, Université Cadi Ayyad, Rabat, section Sciences de la Terre. Laboratoire de Géosciences et Environnement.
- Mesbah, M et al, (2008), variographic analysis of water table data from the Oued-Souf phreatic aquifer, northeastern part of the Algerian Sahara, Lab. of Geothermics, dept. of Earth Resources Engineering, Faculty of Engineering, Kyushu University, Japan,11p, DOI10.1007/S12517-008-0021-1.
- Messekher, I (2009), Etude hydrogéologique de la vallée de Souf soumise à la remontée des eaux et perspective de solutions palliatives, Mémoire de Magister en géologie. Option : géologie du génie civil et des milieux aquifère. Université de Batna, 114 p.
- Moulla, A.S et al, (2002), Contribution des isotopes à l'étude des ressources en eaux souterraines transfrontalières en Algérie, centre de recherche Nucléaire d'Alger p55-66
- Nicolas F, (2004). Etude d'un périmètre irrigué en voie de réhabilitation dans la province de Beheira, Delta du Nil, Egypte. Institut de recherche et développement de Montpellier.
- ONM (Office National Météorologique) Station de Guemar, données climatiques, (1976-2008).

Oulemouhoub S (2005). Gestion multi usage et conservation du patrimoine forestier : Cas des subéraies du Parc National d'El Kala (Algérie). Thèse de Master. 106 p. Université de Montpellier.

Piper A. M., , 1944. "A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses". Transactions American Geophysical Union, 25: 914-928.

Pierre-Yves Jeannin (1996). Structure et comportement hydraulique des aquifères karstiques. Thèse de Doctorat. Institut De Géologie. Université De Neuchâtel.

Retima. N (2009), Gestion intégrée des ressources en eau du bassin versant de la Seybouse, mémoire de magister en hydrogéologie, option : hydrogéologie et ouvrage hydraulique. Université de Annaba, 125 pages.

Robert, P.chapuis, (2007), Guide des essais de pompage et leur interprétation, Dunod ISBN 978-2-550-50664-5

Rouabhia Abdelkader, (2006), Vulnérabilité et risques de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables Miocenes de la plaine d'El Ma El Abiod nord-est algérien. Thèse de Doctorat en hydrogéologie. Université de Annaba. 189p.

Richard L.A., 1954. "Diagnosis and improvement of saline and alkali soils". Agricultural handbook 60. Washington, DC: USDA, pp. 160.

Saibi. H (2003), Analyse qualitative des ressources en eau de la vallée du Souf et l'impact sur l'environnement, région aride à semi-aride d'El-Oued, Mémoire de Magister en hydrogéologie. Université d'Alger ; 177p

Stéphane DUPASQUIER (2000), Contribution à l'étude du comportement Thermo-hydraulique du stockage de chaleur En aquifère. Thèse de Doctorat de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. 119 p.

Tiri A. and Boudoukha A. ,2010. Hydrochemical Analysis and Assessment of Surface Water Quality in Koudiat Medouar Reservoir, Algeria EJSR, Vol.41 No.2, pp.273-285 ISSN 1450-216X.

Vasseur. P et Demandolx.D (2004). Contribution des chambres d'agriculture à la gestion durable de l'eau. Chambres d'Agriculture du Loir-et-Cher et des Bouches-du-Rhône.

WHO (World Health Organization)., 1993. "Guidelines for drinking water quality", (2nd edition), Volume 1, Geneva, WHO, pp. 130.

Wilcox L.V., 1948. "The quality of water for irrigation use". U.S. Department of Agriculture, Technical Bulletin 962.Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, , pp. 40.

Wilcox. L.V., 1955. "Classification and use of irrigation waters". U.S. Department of Agriculture Circular 969. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, pp. 19.

Zella L et SMADHI D, (2006), Gestion de l'eau dans les oasis algériennes, Larhyss Journal ISSN1112-3680, n°05 pp149-156.

د.حسن أبو سمور، د. حامد الخطيب، 1999، جغرافية الموارد المائية، الطبعة الأولى - دار صفاء للنشر والتوزيع - عمان -

المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (اكساد)، 2008، تطبيق الإدارة المتكاملة للموارد المائية لتحقيق تنمية مستدامة في المنطقة العربية .

ANNEXES

Annexe 01: L'essai définitif du pompage du forage d'El-Houd (Guemar)

FORAGE : ELHOUD		
PALIER : Constante		
DEBIT : Q (l/s) = 45		
Heures	Temps cumulé (min)	Nd = niveau dynamique (m)
H	0	23.96
	1	32.10
	2	32.50
	3	32.80
	5	32.88
	7	32.95
	9	33.02
	11	33.04
	13	33.06
	15	33.06
	20	33.10
	25	33.13
	30	33.15
	40	33.18
	50	33.19
H	60	33.21
	75	33.23
	90	33.25
	105	33.26
H	120	33.27
	135	33.28
	150	33.28
	165	33.29
H	180	33.29
	195	33.30
	210	33.30
	225	33.30
H	240	33.31
	270	33.31
H	300	33.32

FORAGE : El-Houd		
SUIITE		
DEBIT : Q (l/s) = 45		
Heures	Temps cumulé (min)	Nd =niveau dynamique (m)
	330	33.32
H	360	33.33
	390	33.33
H	420	33.34
	450	33.34
H	480	33.35
H	540	33.35
H	600	33.36
H	660	33.37
H	720	33.38
H	780	33.38
H	840	33.39
H	900	33.39
H	960	33.40
H	1020	33.40
H	1080	33.41
H	1140	33.41
H	1200	33.41
H	1260	33.41
H	1320	33.42
H	1440	33.42
H	1560	33.42
H	1680	33.42
H	1800	33.42
H	1920	33.43
H	2040	33.43
H	2160	33.44
H	2280	33.44
H	2400	33.44
H	2520	33.45

Annexe 02: L'essai définitif du pompage du forage Soualah (Bayadha)

FORAGE : Soualah PALIER : Constant DEBIT : Q (l/s) = 35		
Heures	Temps cumulé (min)	Nd = niveau dynamique (m)
H	0	30.00
	1	36.74
	2	38.30
	3	38.90
	5	39.32
	7	39.72
	9	40.04
	11	40.18
	13	40.29
	15	40.40
	20	40.51
	25	40.64
	30	40.75
	40	40.85
	50	40.95
H	60	41.04
	75	41.12
	90	41.20
	105	41.27
H	120	41.34
	135	41.40
	150	41.45
	165	41.50
H	180	41.53
	195	41.55
	210	41.61
	225	41.65
H	240	41.71
	270	41.76
H	300	41.80

FORAGE : Soualah SUITE DEBIT : Q (l/s) = 35		
Heures	Temps cumulé (min)	Nd =niveau dynamique (m)
	330	41.88
H	360	41.92
	390	41.95
H	420	41.98
	450	42.02
H	480	42.06
H	540	42.09
H	600	42.11
H	660	42.13
H	720	42.16
H	780	42.18
H	840	42.20
H	900	42.22
H	960	42.23
H	1020	42.26
H	1080	42.27
H	1140	42.27
H	1200	42.28
H	1260	42.29
H	1320	42.29
H	1440	42.30
H	1560	42.30
H	1680	42.30
H	1800	42.30
H	1920	42.30
H	2040	42.30
H	2160	42.30
H	2280	42.30
H	2400	42.30
H	2520	42.30

Annexe 03: L'essai définitif du pompage du forage Hammadine (Magrane)

FORAGE : Hammadine PALIER : Constant DEBIT : Q (l/s) = 37		
Heures	Temps cumulé (min)	Nd = niveau dynamique (m)
H	0	34.35
	1	37.84
	2	38.60
	3	39.50
	5	39.70
	7	39.70
	9	39.71
	11	39.71
	13	39.72
	15	39.75
	20	39.75
	25	39.77
	30	39.80
	40	39.85
	50	39.90
H	60	40.10
	75	40.12
	90	40.20
	105	40.20
H	120	40.24
	135	40.24
	150	40.25
	165	40.25
H	180	40.25
	195	40.25
	210	40.25
	225	40.25
H	240	40.25
	270	40.32
H	300	40.40

FORAGE : Hammadine SUIVE DEBIT : Q (l/s) = 37		
Heures	Temps cumulé (min)	Nd =niveau dynamique (m)
	330	40.40
H	360	40.40
	390	40.40
H	420	40.40
	450	40.40
H	480	40.40
H	540	40.45
H	600	40.45
H	660	40.45
H	720	40.45
H	780	40.45
H	840	40.45
H	900	40.45
H	960	40.45
H	1020	40.45
H	1080	40.45
H	1140	40.45
H	1200	40.45
H	1260	40.45
H	1320	40.45
H	1440	40.45
H	1560	40.45
H	1680	40.45
H	1800	40.45
H	1920	40.50
H	2040	40.60
H	2160	40.60
H	2280	40.60
H	2400	40.60
H	2520	40.60

Travaux scientifiques de l'auteur (2008-2013):

Nom et prénom : KHECHANA Salim

Fonction : enseignant chercheur, Faculté des sciences et technologie, univ. El Oued, Algérie.

Email : khechana-salim@univ-eloued.dz

khechana_salim@yahoo.fr

Mobile : (00213) 771591496

1. Publications :

- **KHECHANA Salim**, DERRADJI El-Fadel et DEROUICHE Abdelmalek, 2010, La gestion intégrée des ressources en eau dans la vallée d'Oued-Souf –SE algérien-: Enjeux d'adaptation d'une nouvelle stratégie, Revue des Sciences Fondamentales et Appliquées (RSFA), Vol 2 N 2.
- **KHECHANA Salim**, DERRADJI El-Fadel et MEGA Nabil, 2011, Hydro-chemical Characteristics Of Groundwater in Oued-Souf Valley (South East of Algeria), European Journal Of Scientific Research (EJSR), Vol 62 N 2.
- **KHECHANA Salim**, DERRADJI El-Fadel, 2012, Management of Water Resources in a Hyper-Arid Area: Strategy and Issues (Case of Oued-Souf Valley-South Eastern of Algeria), Journal of Water Resource and Protection (JWARP), Vol 4 N 11.
- **KHECHANA Salim**, DERRADJI El-Fadel, 2014, Qualité des eaux destinées à la consommation humaine et à l'utilisation agricole (Cas des eaux souterraines d'Oued-Souf -SE algérien-), Revue Synthèse, ISSN : 1111-4924, N° 28.

2. Communications:

- **S. KHECHANA** et F. DERRADJI, Problématique et vision historique de la remontée des eaux de la nappe phréatique d'Oued Souf, Journées d'étude sur la remontée des eaux de la nappe phréatique dans la région d'Oued Souf, El-Oued le 20-21 avril 2008.
- **S. KHECHANA** et F. DERRADJI, Ressources en eau et essai de gestion intégrée dans la vallée d'Oued-Souf (SE algérien), Colloque international terre et eau, Annaba le 18-19 novembre 2008.
- **S. KHECHANA** et F. DERRADJI, Ressources en eau et essai d'adaptation de la gestion intégrée dans la vallée d'Oued-Souf (SE algérien), 1^{er} Séminaire National sur : Les Ressources Hydriques Sahariennes, El-Oued le 11-12 mai 2009.

- **S. KHECHANA** et F. DERRADJI, Enjeux et stratégie de gestion intégrée des ressources en eau adaptée dans une zone hyper aride (cas de la vallée d'Oued-Souf), Colloque international sur la Gestion Intégrée des Ressources en Eaux (GIRE), Batna les 10,11 et 12 novembre 2009.
- **KHECHANA Salim**, DERRADJI El-Fadel et MEGA Nabil, La gestion intégrée des ressources en eau dans la vallée d'Oued-Souf –SE algérien-: Enjeux d'adaptation d'une nouvelle stratégie, Séminaire international sur : les ressources en eau au Sahara: Evaluation, Economie et protection, Janvier 2011 à Ouargla.
- **KHECHANA Salim**, BEN HAOUA Boubakar, MEGA Nabil et DERRADJI El-Fadel, Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution dans une zone hyper-aride. (Cas de la nappe libre de Oued-Souf -SE algérien-), Atelier International : Utilisation et Valorisation des Ressources en Eau pour le développement Durable des Ecosystèmes Arides, 13 et 14 novembre 2011 - (CRSTRA) Biskra.
- **KHECHANA Salim**, DERRADJI El-Fadel et MEGA Nabil, La gestion intégrée des ressources en eau dans la vallée d'Oued-Souf –SE algérien-: Enjeux et perspectives, Colloque International: Terre et Eau 2012, Novembre 2012 à Annaba.
- **KHECHANA Salim**, MEGA Nabil, DERRADJI El-Fadel et DEROUICHE Abdelmalek, Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution à l'aide d'un SIG dans la région d'El-Oued (SE algérien), Colloque International: Terre et Eau 2012, Novembre 2012 à Annaba.
- **KHECHANA Salim**, DERRADJI El-Fadel, Perspectives et enjeux de la gestion des ressources en eau dans la vallée d'Oued-Souf (SE algérien), colloque international sur "La Géologie du Sahara: Ressources minérales, en hydrocarbures et en eau, 03, 04 et 05 Décembre 2012 à l'université KASDI Merbah-Ouargla.
- **KHECHANA Salim**, MEGA Nabil, DERRADJI El-Fadel et DEROUICHE Abdelmalek, Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraine à la pollution à l'aide d'un SIG dans la région d'El-Oued (SE algérien), colloque international sur "La Géologie du Sahara: Ressources minérales, en hydrocarbures et en eau"03, 04 et 05 Décembre 2012 à l'université KASDI Merbah-Ouargla.
- **KHECHANA Salim**, DERRADJI El-Fadel et DEROUICHE Abdelmalek, Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraine à la pollution à l'aide d'un SIG dans la région d'El-Oued (SE algérien), colloque international sur "hydrogéologie et environnement" 05 et 07 novembre 2013 à l'université KASDI Merbah-Ouargla.

- **S. KHECHANA**, DERRADJI El-Fadel, MEGA Nabil, régime d'utilisation des ressources en eau et perspectives d'élaboration des scénarios de prévisions dans la vallée d'Oued-Souf », journée d'étude « Gestion Durable des ressources en eau souterraines dans la vallée d'oued-Souf : Aspect Quantitatif et qualitatif », El-Oued le 19 mars 2013.

3. Manifestations organisées :

- **S. KHECHANA** : Membre du comité d'organisation de la journée d'étude « Gestion Durable des ressources en eau souterraines dans la vallée d'oued-Souf : Aspect Quantitatif et qualitatif », El-Oued le 19 mars 2013.
- **S. KHECHANA** : Membre du comité d'organisation de la journée d'étude « Diagnostic des Systèmes d'AEP et d'Assainissement DIASSA 2012 », El-Oued le 14 mai 2012.
- **S. KHECHANA** : Membre du comité d'organisation du 1^{er} Workshop international en physique : Les énergies renouvelables, El-Oued le 28 Février – 2 mars 2010.
- **S. KHECHANA** : Membre du comité d'organisation du 1^{er} Séminaire National sur : Les Ressources Hydriques Sahariennes, université El-Oued le 11-12 mai 2009.